

# 4º CONGRESSO SUL-AMERICANO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO E MÁQUINAS PRECISAS

“Agricultura Digital: inovação  
para eficiência, preservação  
e produtividade.”

## Trabalhos Completos



**APSU**  
AMÉRICA

**26 e 27 de Setembro de 2017**  
**NÃO-ME-TOQUE - RS - BRASIL**

Editora CESPOL

ISBN 978-85-9274503-5

---

**PREFEITURA MUNICIPAL DE NÃO-ME-TOQUE, RS  
SINDICATO RURAL DE NÃO-ME-TOQUE  
SISTEMA FARSUL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
COTRIJAL**

**ISBN 978-85-9274503-5**

**CONGRESSO SUL AMERICANO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO E  
MÁQUINAS PRECISAS**  
Tema: "AGRICULTURA DIGITAL: inovação para eficiência, preservação  
e produtividade".

**4ª Edição**

**LIVRO DIGITAL**  
**TRABALHOS COMPLETOS DO IV CONGRESSO SULAMERICANO DE**  
**AGRICULTURA DE PRECISÃO E MÁQUINAS PRECISAS**  
**1ª Edição**

**Organização do Livro Digital Lúcio de Paula Amaral**

**26 a 27 de setembro de 2017**

**Não-Me-Toque – RS – Brasil**

**2018**

**Editora CESPOL**

---

## ORGANIZAÇÃO/REALIZAÇÃO DO EVENTO

### **Organizadores**

Prefeitura Municipal de Não-Me-Toque, RS

Sindicato Rural de Não-Me-Toque

Sistema FARSUL

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM (PPGAP; Projeto Aquarius)

Cotrijal

### **Patrocinadores Ouro**

Fertilaqua

Senar

Monsanto

### **Patrocinador Prata**

Stara

### **Patrocinador Bronze**

Jan

### **Apoiadores**

Bayer

Smart Sensing

Precision Planting

### **Comissão Organizadora**

**Presidente do APSUL:** Teodora Berta Souilljee Lütkemeyer (Sindicato Rural)

**Coordenador Técnico do Evento:** Prof. Dr. Telmo Amado (UFSM)

**Coordenador do Comitê Científico do Evento:** Prof. Dr. Lúcio de Paula Amaral (UFSM)

Alexandre Prado

Cintia Roberta dos Santos Dal Vesco

Cristina Napp

Jair Selomar Kilpp

Jacques Petry

João Augusto Telles

Leonardo Kerber

Lenise Schneider Hoffmann

Patrícia Kaiser

Ricardo Schwingel

Rosaura Allebrandt Kohlrausch

Tiago Silva

Thais da Silva de Quadros

Willibrordus Henricus Van Lieschout

William Wagner

---

**Membros do Comitê Científico (Lista de Revisores e Pareceristas *ad hoc*)**

Alessandro Carvalho Miola; Professor Colégio Politécnico da UFSM; UFSM  
Alexandre Russini; Professor UNIPAMPA, Professor PPGAP; UNIPAMPA  
Antoninho João Pegoraro; Professor Colégio Politécnico da UFSM; UFSM  
Cássio Thomas da Silveira; Mestrando em AP-PPGAP; UFSM  
Christian Bredemeier; Professor UFRGS, Professor PPGAP; UFRGS  
Claire Delfini Viana Cardoso; Professora PPGAP/Colégio Politécnico da UFSM; UFSM  
Damáris Gonçalves Padilha; Professora CCR-DER, UFSM; UFSM  
Daniely Vaz Rodrigues da Silva; Mestranda em AP-PPGAP; UFSM  
Deivid Araujo Magano; Professor Faculdades Ideau, Faculdades IDEAU  
Dejales Fioresi; Mestrando em AP-PPGAP; UFSM  
Edgar Salis Brasil Neto; Mestrando em AP-PPGAP; UFSM  
Eduardo Leonel Bottega; Professor UFSM, Campus Cachoeira do Sul; UFSM  
Edvaldo Faour Coutinho da Silva; Mestrando em AP-PPGAP; UFSM  
Elisiane Alba; Doutoranda em EF-PPGEF; UFSM  
Elódio Sebem; Professor PPGAP/Colégio Politécnico da UFSM; UFSM  
Felipe Arthur Baron; Mestrando em AP-PPGAP; UFSM  
Felipe Pesini; Mestrando em AP-PPGAP; UFSM  
Fernanda Crestani da Silva; Mestranda em AP-PPGAP; UFSM  
Geovane Boschmann Reimche; Pós-doutorado-PPGCS/ Projeto Aquarius; UFSM  
Indiara Vâussa Cáceres Jacques; Mestranda em AP-PPGAP; UFSM  
Jackson Ernani Fiorin; Professor UNICRUZ, Colaborador PPGAP-UFSM; UNICRUZ  
Jaime Freiburger Júnior; Professor CCR-DER, UFSM; UFSM  
José Augusto Spiazzi Favarin; Mestrando EF-PPGEF; UFSM  
Juliana Marchesan; Doutoranda em EF-PPGEF; UFSM; UFSM  
Júlio Cesar Wincher Soares; Professor URI; URI  
Leandro de Mello Pinto; Professor CCR-DER, UFSM; UFSM  
Leandro Rampim; Professor UNICENTRO; UNICENTRO  
Luan Pierre Pott; Graduando em Agronomia/Projeto Aquarius; UFSM  
Luciano Zucuni Pes; Professor PPGAP/Colégio Politécnico da UFSM; UFSM  
Lúcio de Paula Amaral; Professor DER-CCR/UFSM, Professor PPGAP; UFSM  
Luiz Felipe Diaz de Carvalho; Professor Colégio Politécnico da UFSM; UFSM  
Maicon Roberto Ribeiro Machado; Mestrando-PPGF; UFPEL  
Marcieli Piccin; Mestranda-PPGCS/ Projeto Aquarius; UFSM  
Márcio da Silva Santos; Mestrando em AP-PPGAP; UFSM  
Marco Ivan Rodrigues Sampaio; Professor UNICRUZ, Colégio Politécnico da UFSM; UNICRUZ  
Mario Sasaki Hideo; Mestrando em AP-PPGAP; UFSM  
Mauricio Paulo Batistella Pasini; Professor no Curso de Agronomia; UNICRUZ  
Pablo Fernandes; Egresso PPGAP; Base Precisão na Agricultura  
Paulo Roberto Machado; Mestrando em AP-PPGAP; UFSM  
Rafael Motta; Mestrando em AP-PPGAP; UFSM  
Ravel Feron Dagios; Mestrando em AP-PPGAP; UFSM  
Roger Bohn; Mestrando em AP-PPGAP; UFSM  
Ropson Delavi Jendrzikowski; Mestrando em AP-PPGAP; UFSM  
Telmo Jorge Carneiro Amado; Professor PPGEA e PPGAP/CCR-DCS, UFSM  
Tiago De Gregori Teixeira; Doutorando-PPGCS/ Projeto Aquarius; UFSM  
Valdecir André Kirch; Mestrando em AP-PPGAP; UFSM  
Valmir Werner Professor; DER, CCR,NEMA, UFSM; UFSM  
Zanandra Boff de Oliveira; Professora Campus Cachoeira do Sul UFSM; UFSM

**“Os trabalhos aqui transcritos, bem como os conceitos emitidos, são de inteira responsabilidade de seus autores”.**

---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO (PPGAP)  
MESTRADO PROFISSIONAL  
COLÉGIO POLITÉCNICO DA UFSM  
PROJETO AQUARIUS  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL**

**Responsabilidade pela edição do Livro Digital:**

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão – PPGAP  
Prof. Dr. Telmo Jorge Carneiro Amado  
Prof. Dr. Lúcio de Paula Amaral

Organização do Livro Digital  
Prof. Dr. Lúcio de Paula Amaral

Diagramação do Livro Digital  
Prof. Dr. Lúcio de Paula Amaral  
Vilmar Fernando Kunz de Santana  
Ricardo Schwingel

Arte da Capa do Livro Digital  
Ricardo Schwingel

Ano da Publicação 2018

**Endereço:**

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM  
Colégio Politécnico da UFSM  
Cidade Universitária – Camobi  
Prédio 70, Bloco F, Sala 211-A  
Santa Maria, RS, Brasil, CEP 97.105-900  
Telefone: (55) 3220 9419 (ramal 253)  
e-mail: ppgap@politecnico.ufsm.br

C749t Congresso Sul-Americano de Agricultura de Precisão e Máquinas  
Precisas (4. : 2017 : Não-Me-Toque, RS)  
Trabalhos completos [recurso eletrônico] / IV Congresso Sul-  
Americano de Agricultura de Precisão e Máquinas Precisas, 26 a  
27 de setembro de 2017 ; organização Lúcio de Paula Amaral. –  
Não-Me-Toque, RS : Prefeitura Municipal ; Santa Maria, RS : UFSM,  
PPGAP, 2018.  
1 e-book : il.

Tema: Agricultura digital : inovação para eficiência, preservação  
e produtividade

1. Agricultura de precisão – Geotecnologias aplicadas – Eventos  
2. Agricultura de precisão – Mecanização – Eventos 3. Sítio  
específico – Manejo – Eventos I. Amaral, Lúcio de Paula II. Título.

CDU 631.15(063)  
631.4:004(063)

---

## PREFÁCIO

A **Agricultura de Precisão (AP)** é uma constante tecnologia que já está presente no Mundo, e que todos os agricultores devem ter acesso para ter economia nas aplicações e incremento de produtividade com sustentabilidade.

A **4ª edição do Congresso Sul Americano de Agricultura de Precisão e Máquinas Precisas** tem por objetivo tornar a Agricultura de Precisão uma ferramenta ao alcance de todos os produtores rurais, desde os pequenos até os grandes, foi o principal motivo que impulsionou **Não-Me-Toque, a Capital Nacional da Agricultura de Precisão, bem como seus parceiros, patrocinadores e apoiadores**, a apostar em um grande desafio, a realização da 4ª edição do Apsul América, um congresso voltado para Agricultura de Precisão e Máquinas Precisas, que rompe as fronteiras brasileiras e propicia o intercâmbio de conhecimento e interação entre participantes da América do Sul.

Através do Congresso que acontece a cada dois anos, trazendo palestrantes e renomados especialistas nas mais diversas áreas de pesquisa, o APSUL América **oportuniza** aos produtores rurais o **conhecimento** das recentes tecnologias em nível de pesquisa e aplicação da Agricultura de Precisão com eficiência e sustentabilidade, promovendo a **integração** entre instituições governamentais, instituições de ensino, pesquisa e extensão, empresas fabricantes de máquinas e *softwares*, prestadores de serviços, produtores rurais e demais interessados tudo isso, visando à **modernização e gerenciamento agrícola detalhado nas unidades de produção**.

O tema escolhido neste ano "**Agricultura Digital: Inovação para Eficiência, Preservação e Produtividade**" a fim de oportunizar aos produtores rurais o conhecimento das recentes tecnologias em nível de pesquisa e aplicação da Agricultura de Precisão com **eficiência e sustentabilidade**, através de palestras e oficinas com as melhores práticas agrícolas por meio do avanço das mais diversas tecnologias em AP.

Nesta obra apresentamos o **Livro Digital** do 4º Congresso Sul Americano de Agricultura de Precisão e Máquinas Precisas, disponibilizando os trabalhos científicos completos, aceitos e apresentados no evento na forma de pôster, organizados em três áreas temáticas, **Geotecnologias Aplicadas à Agricultura de Precisão, Manejo Específico de Solo e Planta, e Sistemas Mecanizados em Agricultura de Precisão**.

Não-Me-Toque, RS, Brasil, 26 de setembro de 2017.

**Lúcio de Paula Amaral**  
**Coordenador do Comitê Científico**  
**Representando a Organização do 4º APSUL AMÉRICA**

---

## PREFACE

The **Precision Agriculture (PA)** is a constant technology that is already present in the world, and that all farmers must have access to economize applications and increase productivity with sustainability.

The **4<sup>th</sup> edition of the South American Congress of Precision Agriculture and Precision Machinery** aims to make Precision Agriculture a tool that is accessible to all rural producers, from small to large, and was the main motive that drove **Não-Me-Toque, the National Capital of Precision Agriculture, as well as its partners, sponsors and supporters**, to bet on a great challenge, to hold the 4<sup>th</sup> edition of Apsul America, a congress focused on Precision Agriculture and Precision Machinery, which breaks Brazil's borders and facilitates the exchange of knowledge and interaction among participants from South America.

Through Congress that takes place every two years, bringing in speakers and renowned specialists in various areas of research, the APSUL America **backed** the farmers the **knowledge** of recent technologies research level and application of precision agriculture with efficiency and sustainability, promoting **integration** among government institutions, educational institutions, research and extension, machines and software companies, service providers, farmers and other interested all of this aimed at **modernizing and managing detailed agricultural production units**.

The theme chosen this year "**Digital Agriculture: Innovation for Efficiency, Preservation and Productivity**" in order to give rural producers the knowledge of the latest technologies in research and application of Precision Agriculture with **efficiency and sustainability**, through lectures and workshops with the best agricultural practices through the advancement of the most diverse technologies in PA.

In this work we present the **Digital Book** of the 4<sup>th</sup> South American Congress of Precision Agriculture and Precision Machinery, offering the complete papers, accepted and presented at the event in the form of posters, organized in three thematic areas, **Geotechnology Applied to Precision Agriculture, Specific Soil and Plant Management, and Mechanized Systems in Precision Agriculture**.

Não-Me-Toque, RS, Brazil, september 26, 2017.

**Lúcio de Paula Amaral**  
**Coordinator of the Scientific Committee**  
**Representing the Organization of the 4<sup>th</sup> APSUL AMERICA**

## SUMÁRIO

<b>ÁREA TEMÁTICA: GEOTECNOLOGIAS APLICADAS Á AGRICULTURA DE PRECISÃO.....</b>	<b>10</b>
ANÁLISE COMPARATIVA DE ÁREAS MENSURADAS COM O USO DE SMARTPHONES .....	11
ANÁLISE ESPACIAL ATRAVÉS DO USO DA GEOTECNOLOGIA EM UMA UNIDADE AMOSTRAL NO PARQUE ESTADUAL DO ESPINILHO .....	21
APICULTURA DIGITAL, A TRANSFORMAÇÃO TECNOLÓGICA DA APICULTURA .....	27
CORRELAÇÃO DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS PROVENIENTES DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA COM DADOS DA PRODUTIVIDADE DE MILHO ( <i>ZEA MAYS</i> L.)	34
ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DO ALGODOEIRO POR MEIO DO PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS .....	44
GERAÇÃO DE UM BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS EM SISTEMA AGROFLORESTAL SILVIBANANEIRO NO LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL .....	52
INTERPOLADORES NA PREDIÇÃO DA DENSIDADE POPULACIONAL DE <i>TIBRACA</i> <i>LIMBATIVENTRIS</i> .....	62
MAPAS TEMÁTICOS PARA O ÍNDICE DE CONE EM FUNÇÃO DA PRODUTIVIDADE .....	73
MAPEAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL DE PLANTAS DE SOJA EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA .....	79
RELAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO OBTIDOS POR SENSORIAMENTO ORBITAL E ESPECTRORRADIOMETRIA DE CAMPO EM CULTIVO DE SOJA.....	88
SENSORES ÓPTICOS NA AVALIAÇÃO DA RESPOSTA FENOLÓGICA DO ALGODOEIRO EM FUNÇÃO DE DOSES DE REGULADOR DE CRESCIMENTO .....	97
SENSORES PARA DETECÇÃO DE PLANTAS DANINHAS EM PÓS-EMERGÊNCIA NA CULTURA DA SOJA .....	107
UTILIZAÇÃO DE REFLECTÂNCIA DE ALVOS PARA DETECÇÃO DE PLANTAS DANINHAS EM PRÉ-SEMEADURA.....	112
USO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (ARP) PARA OBTENÇÃO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS E GERAÇÃO DE ORTOMOSAICO PARA A SILVICULTURA .....	116
USO DE CÂMERA DIGITAL RGB EM SUBSTITUIÇÃO AO CLOROFILÔMETRO NA RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO NITROGENADA A TAXA VARIADA EM PASTAGENS ...	127
USO DO SIMULADOR PHOENIX RC PARA NOÇÕES BÁSICAS DE PILOTAGEM PARA ARP QUADRICÓPTERO (MULTIROTOR).....	134
UTILIZAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE PARA DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO .....	144
UTILIZAÇÃO DE IMAGENS PARA DETERMINAÇÃO DE GNDVI NA CULTURA DO TRIGO ..	153
VARIABILIDADE ESPACIAL DE <i>EUSCHISTUS HEROS</i> NA CULTURA DA SOJA .....	158
VARIABILIDADE ESPACIAL DE MACRONUTRIENTES E RECOMENDAÇÃO A TAXA VARIADA EM UM GRAMADO DE FUTEBOL .....	169
VARIABILIDADE ESPACIAL DO ÍNDICE DE TEMPERATURA E UMIDADE EM CENÁRIOS DE MUDANÇA CLIMÁTICA NO RS .....	178
VARIABILIDADE TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL DO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO – PE, ATRAVÉS DE DADOS NDVI DO LANDSAT - 8 .....	189
<b>ÁREA TEMÁTICA: MANEJO ESPECÍFICO DE SOLO E PLANTA.....</b>	<b>194</b>
ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE SOLO E DE PLANTAS.....	195
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA NA PREDIÇÃO DA DENSIDADE DO SOLO .....	203
COMPARAÇÃO DE TAXA FIXA E VARIÁVEL NAS APLICAÇÕES DE $\text{CaCO}_3$ E KCL EM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO NA REGIÃO CENTRO-SUL DE MG.....	214
COMPARAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO NA TRANSIÇÃO DO SISTEMA DE CAMPO NATIVO PARA O PLANTIO CONVENCIONAL.....	221
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM A	



PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO .....	231
CORRELAÇÃO E VARIABILIDADE ESPACIAL DA ESTRUTURA DE NEOSSOLOS, SOB CULTIVO DE SOJA EM PLANTIO CONVENCIONAL E SISTEMA DE PLANTIO DIRETO.....	237
CORRELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE E ATRIBUTOS DE UM LATOSSOLO BRUNO.....	246
DIFERENTES NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO NA INCIDÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS E NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA ( <i>GLYCINE MAX</i> L.) .....	255
IMPLICAÇÃO DO USO DE DIFERENTES GRADES AMOSTRAIS PARA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO .....	261
DESEMPENHO DA SOJA SOB DIFERENTES DOSES DE GESSO NA REGIÃO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL.....	271
INFLUÊNCIA DA ESCARIFICAÇÃO DO SOLO NA PRODUTIVIDADE DE SOJA ( <i>GLYCINE MAX</i> (L.) MERR) E TRIGO ( <i>TRITICUM AESTIVUM</i> L.) NA REGIÃO DE CRUZÁLIA-SP, ESTUDO DE CASO .....	277
INFLUÊNCIA DE DIFERENTES PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO NA PRODUTIVIDADE DA SOJA ( <i>GLYCINE MAX</i> ) EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO.....	285
INFLUÊNCIA NA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO NO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO ( <i>ZEA MAYS</i> L.) EM RELAÇÃO A VARIABILIDADE ESPACIAL DA ATIVIDADE MICORRÍZICA .....	291
MAPEAMENTO DA PRODUTIVIDADE DO MILHO ( <i>ZEA MAYS</i> L.) E NÍVEIS DE CLOROFILA EM DIFERENTES DOSAGENS DE FERTILIZANTE EM NITOSSOLO VERMELHO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO.....	300
PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE FEIJÃO SAFRINHA SOB PALHADA DE MILHO COM INFLUÊNCIA DE PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO .....	305
QUALIDADE DE FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA PARA A PREDIÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO .....	309
RELAÇÃO DA INCIDÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS COM A RESISTÊNCIA DE UM NITOSSOLO VERMELHO.....	320
VARIABILIDADE DA PRODUÇÃO DE PALHA E SEU EFEITOS NA PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS.....	326
VARIABILIDADE ESPACIAL DA ACIDEZ POTENCIAL ESTIMADA PELO PH SMP EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO .....	332
VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO E SUAS CORRELAÇÕES COM DIFERENTES PROPRIEDADES FÍSICAS DE NEOSSOLOS, SOB CULTIVO CONVENCIONAL .....	341
VARIABILIDADE ESPACIAL DOS TEORES DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL, POTÁSSIO E FÓSFORO DISPONÍVEIS EM NEOSSOLOS E SUAS CORRELAÇÕES ESPACIAIS NUMA ENCOSTA.....	349
VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DAS FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO PÓS-INSERÇÃO DA CULTURA DA SOJA COM PLANTIO CONVENCIONAL SOB CAMPO NATIVO.....	356
VARIABILIDADE VERTICAL DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO EM DIFERENTES AMBIENTES DE PRODUTIVIDADE .....	367
<b>ÁREA TEMÁTICA: SISTEMAS MECANIZADOS EM AGRICULTURA DE PRECISÃO .....</b>	<b>373</b>
ADOÇÃO DO TRÁFEGO CONTROLADO AGRÍCOLA E RESULTADOS PARA SOJA NO RS.	374
AVALIAÇÃO DA VIDA ÚTIL E DOS EFEITOS DO DESGASTE DAS PONTAS HIDRÁULICAS COM INDUÇÃO DE AR SOBRE A PULVERIZAÇÃO AGRÍCOLA.....	382
MECANISMOS DOSADORES E SEU EFEITO SOBRE FERTILIZANTES SÓLIDOS .....	390
PLANTABILIDADE DE MILHO SUBMETIDA A DIFERENTES COEFICIENTES DE VARIAÇÃO NA LINHA DE SEMEADURA.....	397
PROGRESSO DA FROTA BRASILEIRA DE TRATORES COM ATÉ 20 ANOS DE USO, DESDE A INSTALAÇÃO DA INDÚSTRIA LOCAL .....	402
QUALIDADE DE SEMEADURA DE UMA SEMEADORA PNEUMÁTICA EM FUNÇÃO DA	

DECLIVIDADE DO TERRENO.....	408
QUALIDADE DE SEMEADURA DE UMA SEMEADORA PNEUMÁTICA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO.....	415
QUALIDADE DO CORTE DE BASE UMA COLHEDORA MULTILINHAS DE CANA-DE-AÇÚCAR EM RELAÇÃO À DECLIVIDADE DO TERRENO.....	422
RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DO SOLO NO SISTEMA DE TRÁFEGO CONTROLADO DE MÁQUINAS NA CULTURA DA SOJA.....	431
TEMPOS E MOVIMENTOS NO ARRANQUIO MECANIZADO DE AMENDOIM EM FORMATOS DE TALHÕES DISTINTOS.....	439
VARIABILIDADE DA ALTURA DO CORTE DE BASE UMA COLHEDORA MULTILINHAS DE CANA-DE-AÇÚCAR EM RELAÇÃO À DECLIVIDADE DO TERRENO.....	446
VELOCIDADE DE SEMEADURA E SUA INFLUÊNCIA SOBRE A PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO.....	452

## **Área Temática: Geotecnologias Aplicadas á Agricultura de Precisão**

# ANÁLISE COMPARATIVA DE ÁREAS MENSURADAS COM O USO DE SMARTPHONES

## *Comparative analysis of areas measured with the use of smartphones*

Tiago Gonçalves Lopes<sup>1</sup>, Lissara Polano Ody<sup>2</sup>, Alcionei Brutti Dallaporta<sup>3</sup>, Gessiele Possebom<sup>4</sup>,  
Bruno Zart<sup>5</sup>, Airton dos Santos Alonço<sup>6</sup>, Vilnei de Oliveira Dias<sup>7</sup>

1,4,5,6

Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000, CEP 97105-900, Santa Maria - RS, Brasil,  
**tiagoglopes@yahoo.com.br**

2,3,7

Universidade Federal do Pampa, Av. Tiarajú nº 810, CEP 97546-550, Alegrete - RS, Brasil.

### RESUMO

O presente trabalho objetiva avaliar a precisão de dispositivos móveis equipados com sistema de GPS assistido (A-GPS), como possível ferramenta alternativa para a realização de levantamentos planimétricos com finalidades agrícolas. Para isso, foram conduzidos experimentos de estimativa de áreas com distintas dimensões, avaliando quatro tipos de dispositivos para levantamento planimétrico: receptor GNSS L1 geodésico, receptor GNSS código C/A de navegação, *smartphone* com plataforma Android e *smartphone* com plataforma iOS, estes dois últimos equipados com aplicativo Planimeter GPS Area Measure e *internet* 3G. Com delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 4x5 (4 dispositivos x 5 áreas), com três repetições, totalizando 60 combinações de tratamento. Obtiveram-se resultados satisfatórios, alcançando precisões mínimas acima dos 98% em área total comparada, validando o uso dos *smartphones* avaliados como ferramenta para coleta de dados planimétricos em diversas atividades agrícolas do dia-a-dia do agricultor.

**Palavras-chave:** A-GPS. Agricultura. Planimetria.

### ABSTRACT

The present work aims to evaluate the precision of mobile devices equipped with assisted GPS system (A-GPS), as a possible alternative tool for carrying out planimetric surveys with agricultural purposes. For this, experiments were performed to estimate areas with different dimensions, evaluating four types of planimetric survey devices: GNSS L1 geodetic receiver, GNSS receiver C/A navigation code, smartphone with Android platform and smartphone with iOS platform, the latter two equipped with Planimeter GPS Area Measure application and 3G internet. With a completely randomized design (CRD) in a 4x5 factorial scheme (4 devices x 5 areas), with three replications, totaling 60 treatment combinations. Satisfactory results were obtained, reaching minimum precision above 98% in total area compared, validating the use of smartphones evaluated as planimetric data collection tool in various agricultural activities of the farmer's daily life.

**Keywords:** A-GPS. Agriculture. Planimetry.

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão é um conjunto de ferramentas que possibilitam fazer a gestão e incrementação da produção agrícola, melhorar o retorno econômico e reduzir os impactos ambientais (ANSELM, 2012). Muitos acreditam que os benefícios desse conjunto de ferramentas, só podem ser obtidos em grandes propriedades agrícolas que dispõem de alta tecnologia de informação. Mas essa crença reduz-se a cada dia, pois o avanço e acessibilidade de métodos e técnicas de baixo custo e facilidade de uso, vêm sendo constantemente desenvolvidos para o agricultor, possibilitando a aplicação dos recursos disponíveis de forma eficiente, tornando-as ferramentas indispensáveis para a garantia de sucesso na produção agrícola (PIRES et al., 2004).

Embora o termo agricultura de precisão ainda soe com carácter proibitivo para pequenos agricultores, já pode-se observar que este cenário está mudando. Schrammel (2011), avaliando o possível emprego dos princípios de agricultura de precisão a pequenas propriedades, concluiu que os custos não são mais um fator limitante, e sim, que a grande

dificuldade está na falta de planejamento e de costume do agricultor armazenar seus dados. Para Naime (2011), o nível de adoção de agricultura de precisão no Brasil ainda é relativamente baixo devido também a características culturais, e diz que é necessário adaptar essas ferramentas às diferentes realidades e níveis de tecnificação dos produtores, para que assim se reverta essa situação.

A oferta de sinal do Sistema de Posicionamento Global (GPS) para uso civil, em meados de 1990, foi indiscutivelmente um dos principais fatores determinantes para a implementação da agricultura de precisão no Brasil, contudo, demandando inicialmente altos investimentos em sistemas de correções de erro do sinal GPS, que era intencionalmente provocado pelo governo norte-americano até o ano 2000 (MOLIN et al., 2015). A partir daí, houve uma grande popularização e desenvolvimento de receptores GPS de baixo custo, bem como suas derivações, como o "GPS assistido" (A-GPS), que foi criado para acelerar a fixação da localização em Sistemas de Navegação Global por Satélites (GNSS), e equipa a maioria dos *smartphones*.

Neste sistema a conexão inicial não é feita diretamente com os satélites, mas sim com auxílio de uma antena de telefonia celular, que previamente armazenou a localização destes satélites e as transmite para o receptor com uma velocidade até 40 vezes maior (DJUKNIC & RICTHON, 2001). O sistema A-GPS não foi desenvolvido para incrementar a precisão de sistemas GNSS convencionais, mas sim sua disponibilidade (BROERING, 2010), pois pode alcançar lugares em que o GNSS se mostra muito suscetível à indisponibilidade (ambientes urbanos, condições atmosféricas adversas, cobertura vegetal densa ou interior de casas e automóveis), dando assistência ao receptor que recebe o sinal muito baixo, chegando assim rapidamente a posição esperada, economizando conseqüentemente tempo e energia do dispositivo móvel.

Com o constante surgimento de tecnologias, como o A-GPS, o *smartphone* se destaca atualmente como um de seus maiores difusores, deixando de ser apenas um celular multifuncional, com aplicações básicas, passando agora a ser uma ferramenta inteligente, que permite ser adaptada a rotina de seus usuários, estando sempre ao alcance das mãos, onde quer que o usuário esteja. Os sistemas operacionais que os equipam, agregados a interfaces visuais, sensores GNSS (A-GPS) e inúmeras outras aplicações, propiciam um ambiente de desenvolvimento bastante poderoso (RÉQUIA, 2013), permitindo a criação de uma vasta gama de aplicativos móveis integrados a serviços de localização, que poderiam perfeitamente ser adequados as necessidades de agricultores, permitindo seu uso sem a contratação de serviço especializado ou altos investimentos em equipamentos, caso fosse comprovada sua eficiência a campo.

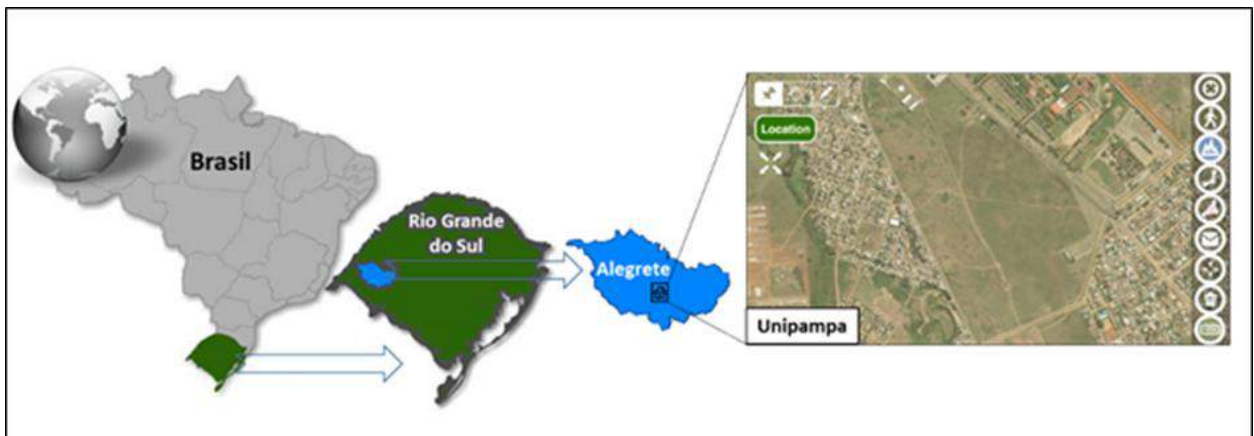
Em pequenas propriedades rurais, são comuns situações em que é necessário realizar a estimativa de áreas, seja para estimar a quantidade de insumos a ser comprada, ou até mesmo determinar a carga animal de uma pastagem, e dependendo do método utilizado para a aferição, poderá haver grande demanda em tempo e em mão de obra. A mobilidade de um *smartphone*, aliada à praticidade de um aplicativo para levantamento planimétrico, adaptar-se-iam perfeitamente a esta rotina, considerando que o aplicativo gerasse realmente resultados confiáveis. Neste contexto, torna-se necessário ampliar a divulgação das novas tecnologias, bem como, testá-las e avaliá-las quanto ao seu desempenho, pois novidades comumente geram controvérsia, e a falta de informação e pesquisas à cerca destas as tornam improdutíveis, ao passo em que não são explorados a fundo seus reais potenciais. Logo, encorajando a execução do presente estudo.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 LOCAL

Os experimentos foram conduzidos no município de Alegrete - RS, em um área localizada entre os limites do campus da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), cujas coordenadas geográficas são: Latitude 29°47'26" S e Longitude 55°46'1" W (Figura 1).

Figura 1 – Localização da área experimental.



Fonte: O autor.

## 2.2 EQUIPAMENTOS

Ao longo da execução experimental foram utilizados os seguintes equipamentos: estação total; receptores GNSS L1 e código C/A; *smartphones* equipados com plano de *internet* 3G e aplicativo Planimeter GPS Area Measure; diastímetro (trena); balizas e programas computacionais (GNSS Solutions, ProGrid, AutoCAD, Microsoft Office Excel e ASSISTAT).

## 2.3 TRATAMENTOS

Para compor os tratamentos, foram avaliados: diferentes dispositivos, para avaliar a realidade de cada modelo de *smartphone* utilizado, comparando-os com equipamentos desenvolvidos propriamente para esta atividade; e distintas dimensões de área, de modo a simular diferentes atribuições e observar se há existência de variabilidade no comportamento dos dispositivos ao passo em que muda-se sua extensão.

## 2.4 EXECUÇÃO EXPERIMENTAL

Foram avaliados cinco dispositivos de levantamento planimétrico: estação total com precisão angular de 7", e linear de 1,5 mm + 2 ppm (testemunha); receptor GNSS L1 geodésico com precisão horizontal de 0,005 m + 1 ppm (receptor A); receptor GNSS código C/A de navegação com precisão < 15 metros RMSm 95% (receptor B); *smartphone* com plataforma Android™ versão 5.0.2 Lollipop (receptor C) e *smartphone* com plataforma iOS versão 10.0.2 (receptor D), em cinco dimensões arbitrárias de área, formuladas no entorno da área experimental. Com delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 4x5 (4 dispositivos x 5 áreas), com três repetições, totalizando 60 observações.

Os levantamentos planimétricos realizados para a aquisição das testemunhas foram executados conforme os critérios descritos na norma regulamentadora NBR 13133 (1994), para a execução de levantamentos topográficos.

### 2.4.1 Obtenção das testemunhas

Previamente às avaliações, foi realizado o reconhecimento do terreno, levando em consideração a melhor possibilidade de locação dos vértices, de modo que fossem atendidas condições semelhantes de geometria para as cinco dimensões de área que compõe os tratamentos. Neste sentido, optou-se pelo uso de superfícies com forma trapezoidal, no intuito de acompanhar o alinhamento dos limites da área do campus, permitindo usar a maior área possível, com o mínimo de impedimentos para o caminhamento perimétrico da poligonal ao

longo da realização dos levantamentos (Figura 2).

Figura 2 – Croqui experimental dos vértices para a concepção das testemunhas.



Fonte: O autor.

Definida a geometria das superfícies, fez-se a demarcação arbitrária dos vértices, materializando-os provisoriamente no solo, demarcando também dois pontos adicionais dentro da área, tais que pudessem ser visualizados todos os vértices materializados e identificados anteriormente. Estes pontos foram determinados como “pontos de apoio planimétrico”, para constituir a linha poligonal de referência. Neste sentido, tornou-se necessário tomar conhecimento das coordenadas destes dois pontos de controle, para assim orientar a estação total. Logo, com o auxílio do receptor A (L1 – precisão horizontal de 0,005 m + 1ppm), fez-se o rastreamento dos pontos, por posicionamento relativo estático, com sessão de rastreamento de 60 minutos (INCRA, 2013), pré-configurado de modo a atender às características da região e do tipo de levantamento (Tabela 1).

Tabela 1 – Pré-configurações para o levantamento.

Receptor A	
Tipo de antena	NAP100
Orientação da carta	Norte cima
Utilização	Terrestre
Sistema de coordenadas	UTM
Datum	WGS84
Sistema de unidades	km/m/kph/hectares
Norte referência	Real

Fonte: O autor.

Para dar confiabilidade e maior aderência dos pontos de controle às suas coordenadas verdadeiras, foi realizado o pós-processamento dos dados brutos, utilizando como base para os levantamentos a estação da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo de Alegrete/RS (RSAL), localizada a aproximadamente 700 metros dos pontos. O processamento das observações GNSS foi realizado com o programa GNSS Solutions, onde obtiveram-se os resultados descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Visão geral de levantamento e pós-processamento dos pontos de controle.

Identificação do vetor	Satélites Visíveis	PDOP	Solução da Ambiguidade	Coordenadas (UTM)	Erro 95%
RSAL - PC A	8	1,7	Fixo	E 619377,714	0,002
				N 6703075,117	0,002
RSAL - PC B	9	1,8	Fixo	E 619302,721	0,002
				N 6703297,100	0,002

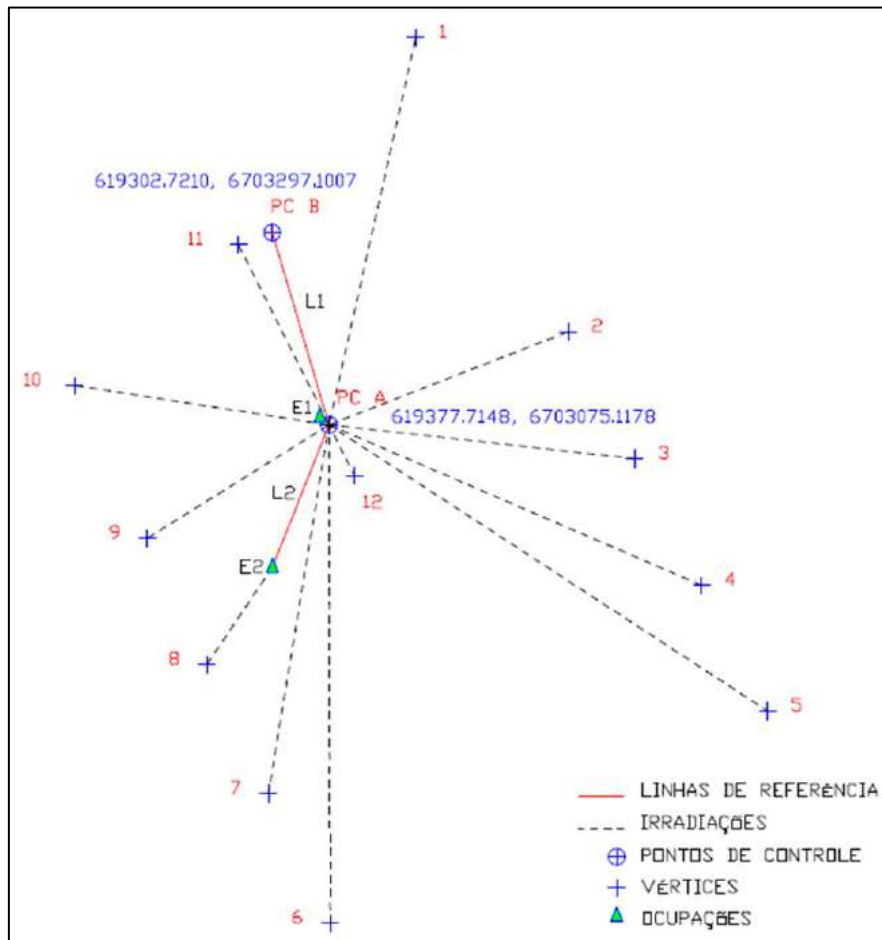
Fonte: O autor.

Conhecidas as coordenadas, importou-se para a estação total os pontos de apoio, logo,

realizou-se a varredura dos vértices com a estação instalada sobre o ponto com coordenadas de partida conhecidas (PC A), irradiando, com o auxílio de prismas, primeiramente o ponto de referência (PC B), partindo posteriormente para o levantamento dos doze (12) vértices que compunham o croqui experimental, obtendo assim suas coordenadas.

Durante as coletas foi necessário realizar apenas um transporte de estação, em virtude da indisponibilidade de visada para um dos vértices (Vértice 8). O detalhamento dos levantamentos pode ser verificado na Figura 3.

Figura 3 – Levantamento planimétrico dos vértices testemunha.



Fonte: O autor.

Após levantamento dos vértices das testemunhas, foram descarregados os dados da estação total em um computador e calculadas as áreas testemunhas com emprego do programa AutoCAD, obtendo assim suas respectivas dimensões, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Composições e dimensões das áreas testemunhas.



Identificação da Área	Vértices	Área	
		m <sup>2</sup>	ha
A1	1, 5, 6 e 10	267.363,92	26,74
A2	1, 4, 7 e 10	209.797,17	20,98
A3	1, 3, 8 e 10	152.775,52	15,28
A4	1, 2, 9 e 10	97.036,24	9,70
A5	1, 2, 12 e 11	62.476,35	6,25

Fonte: O autor.

## 2.4.2 Levantamentos com receptores GNSS e A-GPS

Para dar início aos levantamentos com os receptores, inicialmente foram realizadas as configurações básicas dos dispositivos (B, C e D), de modo a garantir a comparabilidade das observáveis, ou mesmo, facilitar suas conversões nas etapas seguintes do trabalho. As predefinições usadas nos dispositivos são observadas na Tabela 4, a seguir.

Tabela 4 – Predefinições adotadas para os levantamentos.

Configurações		
Receptor B	Formato de hora	24 horas
	Formato de posição	UTM
	Datum do mapa	WGS84
	Unidade	Metros
	Norte de referência	Verdadeiro
Receptor C e D	Formato de coordenadas	Graus decimais
	Precisão da localização	5 metros
	Unidade	Metros

Fonte: O autor.

Com o receptor A (geodésico) utilizou-se posicionamento relativo estático rápido, ocupando cada vértice com um tempo de rastreamento de cinco (5) minutos, este suficiente para atingir precisões entre 5 e 10 mm + 1ppm no pós-processamento (IBGE, 2008). Para os demais receptores, utilizou-se posicionamento por ponto simples, ocupando cada vértice durante um intervalo de dois (2) minutos antes de registrar seu posicionamento instantâneo (em tempo real). Arbitrou-se este intervalo com o intuito de promover melhor estabilidade na aquisição da localização, pois observa-se que após alguns segundos de rastreamento o marcador estabiliza sua posição na tela dos dispositivos. Os levantamentos das distintas áreas foram executados aleatoriamente, durante três (3) dias. Retomando por três vezes consecutivas o circuito de vértices descritos na Tabela 3, de modo a atender as três repetições.

Nos receptores A e B, os dados foram salvos após a coleta de cada vértice, nomeando-os de acordo com a área, vértice e repetição. Para os receptores C e D, equipados com aplicativo Planimeter GPS Area Measure, o salvamento foi feito ao final do levantamento do último vértice, resultando em um arquivo único, armazenado para cada repetição de área. Ao finalizar as coletas de todos os tratamentos experimentais, fez-se a importação dos dados brutos para um computador, para posterior processamento.

## 2.4.3 Processamento e Análise dos dados

Nesta etapa foram tratados os dados de modo a obter coordenadas finais no sistema métrico, na projeção UTM (*Universal Transversa de Mercator*). Para isso, inicialmente fez-se o

processamento dos dados brutos do receptor A, com software GNSS Solutions, utilizando novamente como base para os levantamentos, a estação RBMC Alegrete (RSAL). Para os demais receptores fez-se apenas a conversão das coordenadas geográficas (grau decimal) para UTM (metro), utilizando o programa ProGrid. Logo, todos os dados tratados foram tabulados, com o auxílio do programa Microsoft Office Excel, e calculadas suas áreas no programa AutoCAD.

Os valores de áreas obtidos nos levantamentos foram submetidos a cálculos para a obtenção das médias de precisão dos receptores, levando em consideração as variações das áreas obtidas, quando comparadas às testemunhas, calculadas conforme a Equação 1, descrita por Silva Junior et al. (2009):

$$A_T \% = \frac{A_g \cdot 100}{A_{tt}} \quad (1)$$

em que:

$A_T \%$  = área total comparada, em %;

$A_g$  = área medida pelos dispositivos;

$A_{tt}$  = área definida pela testemunha.

Os valores de área total comparada foram submetidos a análise da variância (ANOVA) e suas médias comparadas utilizando o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, com o auxílio do programa estatístico ASSISTAT (SILVA & AZEVEDO, 2009).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 5, tomaram-se como precisões, as variações entre as áreas médias coletadas e as tomadas como testemunhas, expressando este valor em percentual.

Tabela 5 – Cálculo das médias de precisão percentual para os levantamentos de área.

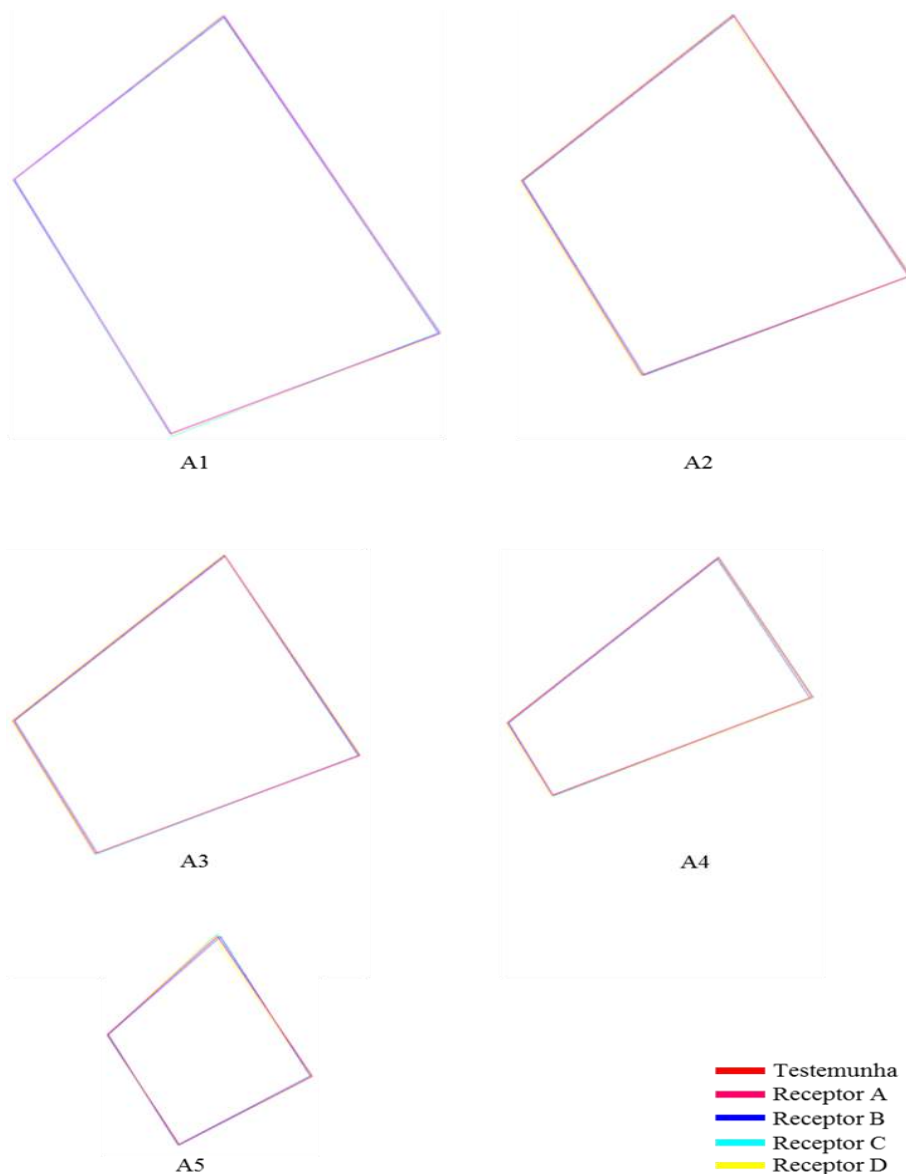
Receptor	Comparação de Áreas						
	Área coletada (m <sup>2</sup> )	Testemunha		Δ Área (m <sup>2</sup> )	Erro (%)	Precisão (%)	
		(m <sup>2</sup> )	(ha)				
A (geodésico)	A1	267245,6	267363,9	26,7	118,2	0,044	99,95
	A2	209721,9	209797,1	21,0	75,2	0,036	99,96
	A3	152777,1	152775,5	15,3	1,6	0,001	99,99
	A4	97022,3	97036,2	9,7	13,9	0,014	99,98
	A5	62475,4	62476,3	6,2	0,91	0,001	99,99
B (navegação)	A1	264971,3	267363,9	26,7	2392,5	0,895	99,10
	A2	207730,4	209797,1	21,0	2066,7	0,985	99,01
	A3	150812,5	152775,5	15,3	1962,9	1,285	98,71
	A4	95267,8	97036,2	9,7	1768,4	1,822	98,17
	A5	61786,8	62476,3	6,2	689,4	1,104	98,89
C (Android)	A1	267976,7	267363,9	26,7	612,8	0,229	99,77
	A2	209939,0	209797,1	21,0	141,9	0,068	99,93
	A3	153134,2	152775,5	15,3	358,6	0,235	99,76
	A4	98200,1	97036,2	9,7	1163,9	1,199	98,80
	A5	63435,7	62476,3	6,2	959,3	1,536	98,46
D (iOS)	A1	267677,3	267363,9	26,7	313,4	0,117	99,88
	A2	210709,7	209797,1	21,0	912,6	0,435	99,56
	A3	154343,2	152775,5	15,3	1567,7	1,026	98,97
	A4	98072,1	97036,2	9,7	1035,9	1,068	98,93
	A5	62060,6	62476,3	6,2	415,7	0,665	99,33

Fonte: O autor.

Nota-se ao observar os valores, desempenhos muito bons em todas as dimensões de área, bem como em todos os receptores, com precisões mínimas acima dos 98%, superando as expectativas para este trabalho.

Na Figura 4, foram sobrepostas as médias de cada dimensão de área obtidas pelos levantamentos dos distintos receptores e pelas testemunhas, ficando evidente a proximidade dos resultados.

Figura 4 – Projeção e sobreposição dos tratamentos no programa AutoCAD (Escala 1:11400).



Fonte: O autor.

Contudo, para verificar se há contraste estatístico entre os tratamentos, os valores calculados para precisão percentual, foram submetidos a análise da variância, e de acordo com o teste F, foram encontradas diferenças significativas, ao nível de 1% de probabilidade, entre os receptores, com  $F=12,0$ .

Logo, para avaliar a magnitude destas diferenças foi utilizado o teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro, conforme mostra a Tabela 6.

Tabela 6 – Médias de precisão percentual para a interação entre os receptores.

Precisão percentual					
Área	Precisão (%)		Receptor	Precisão (%)	
A1	99,59	a*	A (topográfico)	99,97	a**
A2	99,45	a	B (navegação)	98,72	b
A3	99,12	a	C (Android)	99,06	b
A4	98,97	a	D (iOS)	99,20	b
A5	99,06	a	-	-	-
CV <sub>Área</sub>	0,64%				
CV <sub>Receptor</sub>	0,60%				

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a nível de 5% e 1%\*\* de probabilidade de erro.

Fonte: O autor.

Ao analisar o teste de médias, verifica-se para o fator área, que não houve diferença significativa de precisão para as suas distintas dimensões, podendo observar-se que as maiores precisões foram obtidas nas maiores áreas, apresentando a área A4 o pior desempenho (98,97%).

Verifica-se para o fator receptor, que a maior precisão média obtida ocorreu para o receptor A (99,97%), neste caso, diferindo estatisticamente das demais. Mostrando-se com o pior desempenho o receptor B (98,72%). Os bons resultados obtidos pelo receptor A, evidenciam o benefício concebido pelo pós-processamento das observáveis, quando se utiliza posicionamento relativo, mostrando desempenho superior aos levantamentos realizados por posicionamento absoluto. Contudo, os demais receptores mostraram desempenhos interessantes, ao passo em que, atingiu-se precisões médias de até 99,20% em comparação de áreas com o receptor D.

No art. 500, § 1º, do Código Civil (BRASIL, 2002), está previsto um limite aceitável para discordâncias em extensão de áreas para imóveis rurais, considerando toleráveis erros de até 1/20 da extensão total, ou seja, até 5%. Tomando este, como um parâmetro de comparação, nota-se que os valores de precisão apresentados por todos os receptores, satisfazem com uma margem de no mínimo 3% para mais, a essa condição, prevista em lei.

## 4 CONCLUSÃO

Ao final das avaliações, chega-se às seguintes considerações finais sobre o uso de dispositivos móveis com sistema A-GPS:

- ✓ O sistema A-GPS permite seu uso em atividades diversas de estimativa de áreas, com exigências de precisão de até 98%.
- ✓ Não houve distinção estatística quanto ao uso do aplicativo Planimeter GPS Area Measure em dispositivos com distintas plataformas (Android e iOS).
- ✓ Os *smartphones* tem autonomia de bateria suficiente para jornadas de até 10 horas de coleta com rastreamento constante, e mostra um irrelevante consumo de dados de *internet* móvel, para efetuar levantamentos.

Assim sendo, valida-se o uso dos receptores testados (equipados com sistema A-GPS) como técnica de coleta de dados planimétricos em algumas atividades agrícolas, mostrando-se estes, tão úteis quanto os receptores GNSS de navegação convencionais, pois possibilitam sua utilização, vinculados a múltiplas ferramentas gerenciais de fácil acesso, já disponíveis para *smartphones*, permitindo ao pequeno produtor, enriquecer os registros de sua propriedade, agregando detalhes às suas informações, imergindo deste modo, às técnicas de agricultura de precisão a custo reduzido.

## REFERÊNCIAS

- ANSELMI, A. A. **Adoção da agricultura de precisão no Rio Grande do Sul**. 2012. 104 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro de estudos e Pesquisas em Agronegócios, Programa de Pós-graduação em Agronegócios, Porto Alegre, BR-RS, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13133/1994. Execução de levantam'ento topográfico**. Rio de Janeiro, 1994.
- BRASIL. **Código Civil. Lei nº 10.406**, de 10 de Janeiro de 2002.
- BROERING, A. W. **Localização de estações móveis praticada sob gsm e gps**. 2010. Conclusão de curso (Tecnólogo em Sistemas de Telecomunicações) - Instituto Federal de Santa Catarina, São José, SC, 2013.
- DJUKNIC, G. M.; RICTHON, R. E. Geolocation and Assisted GPS. **IEEE Computer Society**, v.34, n.2, p.123-125, fevereiro, 2001.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Recomendações para levantamentos relativos estáticos - GPS**. Abril, 2008. 35 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA - INCRA. **Norma Técnica Para Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. 3ª ed, 4 p. Brasília, 2013.
- PIRES, J. L. F.; CUNHA, G. R. da; PASINATO, A.; FRANÇA, S.; RAMBO, L. **Discutindo Agricultura de Precisão – aspectos gerais**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 18p. html. (Embrapa Trigo. Documento Online; 42). Disponível: [http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p\\_do42.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do42.htm).
- MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R. do; COLAÇO, A. F. **Agricultura de Precisão**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 238 p.
- NAIME, J. M. Avaliação geral, resultados, perspectivas e uso de ferramentas de agricultura de precisão. **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2011. p.69-72.
- RÉQUIA, G. H. **Desenvolvimento de aplicativos CR Campeiro MóBILE - Caso de teste: Sistema Operacional Android**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico da UFSM, Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, RS, 2013.
- SCHRAMMEL, B. M. Utilização de ferramentas de SIG para Agricultura de Precisão no planejamento ambiental de uma pequena propriedade rural produtora de maçãs. **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2011. p.222-226.
- SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. Principal Components Analysis in the Software Assisat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, **Anais...** Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.
- SILVA JUNIOR, C. A. da; MEURER, I.; CARVALHO, L. A. de. **Análise da precisão de receptores GPS de navegação em planimetria territorial**. Agrarian, v.2, n.5, p.21-31, jul./set. Aquidauana, MS, 2009. . .

## ANÁLISE ESPACIAL ATRAVÉS DO USO DA GEOTECNOLOGIA EM UMA UNIDADE AMOSTRAL NO PARQUE ESTADUAL DO ESPINILHO

*Space analysis through the use of geotechnology in a sample unit in  
the Parque Estadual do Espinilho*

Cássio Thomas da Silveira <sup>1</sup>, Lucio de Paula Amaral <sup>2</sup>, Luciano Farinha Watzlawick <sup>3</sup>

<sup>1</sup> UFSM/PPGAP, Av. Roraima, 1000 - Camobi, 97000-000, Santa Maria – RS, Brasil,

**eng.flor.cassio@gmail.com**

<sup>2</sup> DER/CCR/UFSM, Campus Sede - Prédio 44J - 2º piso, 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil,

**amaralufsm@gmail.com**

<sup>3</sup> PGA, UNICENTRO, Guarapuava, PR, Brasil, **farinha@unicentro.br**

### RESUMO

O trabalho tem como objetivo, analisar espacialmente a distribuição de árvores nativas em uma unidade amostral permanente, através de um levantamento fitossociológico já realizado na Unidade de Conservação Parque Estadual do Espinilho, localizada no município de Barra do Quaraí, no extremo sudoeste do Rio Grande do Sul. Utilizando-se da geotecnologia como ferramenta principal de estudo, através da geração de mapas de densidade de Kernel. Obtiveram-se como resultado, mapas da distribuição espacial dos indivíduos florestais presentes no estudo e demonstrou-se o comportamento de padrões no levantamento, tanto das duas espécies mais ocorrentes, como do total de indivíduos arbóreos. Os resultados mostraram que este tipo de estudo é de extrema importância, pois permite identificar, através do levantamento fitossociológico e da geotecnologia, a distribuição espacial das árvores, gerando ainda, uma base de dados geográficos que poderão auxiliar futuros estudos, configurando o que hoje é conhecido como Floresta de Precisão, de maneira análoga à Agricultura de Precisão.

**Palavras-chave:** Distribuição espacial. Floresta de precisão. Geotecnologia.

### ABSTRACT

The objective of this work is to analyze spatially the distribution of native trees in a permanent sampling unit, through a phytosociological survey already carried out at the Conservation Unit Parque Estadual do Espinilho, located in the municipality of Barra do Quaraí, at the extreme southwest of Rio Grande do Sul. Using geotechnology as the main study tool through the generation of kernel density maps. As a result, maps of the spatial distribution of the forest individuals present in the study were obtained and the behavior of patterns in the survey of both the most occurring species and the total number of arboreal individuals was demonstrated. The results showed that this type of study is extremely important because it allows to identify, through phytosociological and geotechnology surveys, the spatial distribution of trees, generating a geographic database that may help future studies, configuring what is now known as Precision Forest, in a manner analogous to Precision Agriculture.

**Keywords:** Spatial distribution. Precision forest. Geotechnology.

## 1 INTRODUÇÃO

Através de levantamentos fitossociológicos, é possível classificar relações e demonstrar distribuições de associações de espécies vegetais em uma determinada área ocupada com vegetação natural. Este tipo de estudo é de extrema importância, pois permite analisar a distribuição espacial das árvores de uma determinada formação vegetacional, o que pode permitir um melhor entendimento das relações ali existentes a partir da análise do comportamento espacial das espécies, obtida pela utilização de um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Conforme Davis e Câmara (2016), o SIG é um sistema que recupera informações tomando como base as características alfanuméricas e sua localização espacial realizando o tratamento computacional de dados geográficos. Com este sistema é possível ter uma visão ampla do ambiente de trabalho para quem está manipulando, permitindo fácil acesso a todas as informações disponíveis referentes a um determinado assunto com base na localização geográfica. Por isso a geometria e

os atributos dos dados de um SIG devem estar georreferenciados, ou seja, representados em uma projeção cartográfica a partir de sua localização na superfície terrestre.

Segundo Longley (2013), a capacidade de calcular e manipular distâncias estão por trás de muitas formas de análise espacial dentro de um SIG. Dentro dessa análise espacial, podem ser utilizadas técnicas de interpolação visando através do processamento dos dados, buscar uma estimativa razoável dos valores de campo em locais onde não foram feitas medidas. Segundo o mesmo autor, a interpolação pela densidade de Kernel, diz respeito a atribuição de cada ponto amostrado, uma "função Kernel", e o conjunto dessas funções, são reunidas para obter uma superfície, assim cada ponto é substituído pela sua função Kernel, sendo várias funções Kernel reunidas para se obter uma superfície agregada, ou seja, agregam-se os pontos amostrais e gera-se um campo contínuo através de suas densidades.

Através do levantamento fitossociológico, juntamente com a utilização da geotecnologia, buscou-se realizar a análise espacial das espécies mais encontradas em uma unidade amostral no Parque Estadual do Espinilho (PESP), localizado no município de Barra do Quaraí, Rio Grande do Sul, através da interpolação por densidade de Kernel. Demonstrando assim, através do uso de mapas gerados, distribuições das espécies predominantes no local do estudo.

Segundo o plano de manejo do Parque Estadual do Espinilho (PESP), a implementação do Parque teve como principal justificativa a conservação da formação que dá nome ao Parque. A formação vegetal característica, é composta por *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron. (algarrobo) e *Acacia caven* (Molina) Molina (espinilho), únicas no estado e país, motivo que justificaria a criação de uma Unidade de Conservação (UC) na Categoria Parque. Além da formação vegetal única, o Parque abriga espécies raras da fauna de felinos como o gato palheiro (*Leopardus pajeros*), canídeos como o lobo guará (*Chrysocyon brachyurus*), cervídeos, representados pelo veado campeiro (*Ozotoceros bezoarticus*), aves como o cardeal amarelo (*Gubernatrix cristata*), e a formiga cortadeira (*Atta vollenweideri*). Desta forma, o Parque Estadual do Espinilho não só justifica a sua implantação, como passa a fazer parte das principais Unidades de Conservação (UC's) do país.

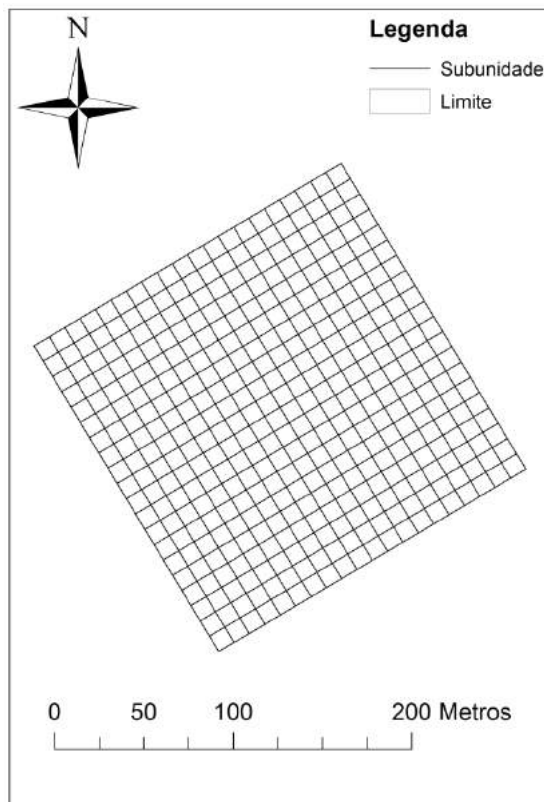
Segundo GALVANI (2003), a área delimitada pelo decreto de criação do Parque Estadual, no que diz respeito à vegetação, percebe-se uma visível distinção de duas áreas: uma formação típica de Parque, com vegetação bastante singular, e uma mata ciliar, com espécies de ocorrência frequente em outros ambientes semelhantes na região. Para Marchiori et al (2014, p.06) na área do PESP encontram-se três tipologias básicas de vegetação (mata ciliar, parque de inhanduva e parque de algarrobo), além de uma diversificada comunidade de macrófitas aquáticas.

Em vista disso, é de extrema importância o estudo dessa tipologia na UC presente no estado, a qual se obtém pouquíssimos trabalhos a respeito. Também está vista a necessidade de mais publicações e estudos referente a essa vegetação rara no estado e não encontrada no resto do país. Pode-se assim, através da obtenção de um banco de dados geográficos, possibilitar futuros estudos e interação com pesquisadores da área.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado na Unidade de Conservação Parque Estadual do Espinilho (PESP), localizado no município brasileiro de Barra do Quaraí, no extremo sudoeste do Rio Grande do Sul. A coleta de dados na área do estudo foi obtida por uma pesquisa realizada no local em 2009 por Watzlawick et al. (2014), que consistiu em um levantamento florístico e análise fitossociológica a partir da instalação de uma parcela amostral permanente, com dimensão de 4 ha (200 x 200 m), subdividida em 400 subunidades de 100 m<sup>2</sup> (10 x 10 m) como pode-se observar o croqui, conforme Figura 1.

Figura 1 – Croqui da Unidade Amostral, PESP, 2017.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Watzlawick et al. (2014, p. 26) O clima da região, é Cfa conforme classificação de Köppen, com médias anuais de temperatura de 23,5 °C, tendo a temperatura do mês mais quente em torno de 22 °C e a do mês mais frio em média 3 °C, com formação de geadas frequentes. O solo do Parque do Espinilho está classificado como Chernossolo, moderadamente drenado, de coloração bruno-escura a bruno-acinzentada muito escura, proveniente de diferentes tipos de rochas e sob vegetação de Savana e Estepe. Segundo o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), a unidade de conservação possui área decretada de 1.617,14 ha e foi criada através do Decreto N° 23.798, de 12 de março de 1975 que Cria Parques Estaduais e Reservas Biológicas e dá outras providências, conforme Plano de Manejo do PESP.

Os dados dendrométricos levantados foram (circunferência e altura) medidos com *fitá métrica* e o *hipsômetro Vertex III* respectivamente, de todos os indivíduos arbóreos com circunferência (C)  $\geq 15,7$  cm, a 30 cm do nível do solo devido a dificuldade de se tomar a medida do diâmetro a altura do peito (DAP), a 1,30m do solo; medida padrão adotada na mensuração florestal, devido a presença de espinhos, galhada e possível tortuosidade das espécies estudadas. A identificação botânica foi realizada inicialmente *in loco*, bem como consultas ao Herbário do Departamento de Ciências Florestais (HDCF) da Universidade Federal de Santa Maria, RS. A elaboração da lista da composição florística foi organizada de acordo com o Sistema do APG, *Angiosperm Phylogeny Group III* (APG-III, 2009) (WATZLAWICK et al., 2014). Além das medições citadas anteriormente, aferiu-se a observação pontual, a qual foi feita a partir da coleta das distâncias das árvores presentes em cada sub amostra, transcritas na planilha de campo, onde registrou-se os dados do levantamento. Foi utilizado um receptor GPS de navegação para o georreferenciamento do canto de origem da unidade amostral.

Foram encontradas na unidade amostral, 3 (três) espécies de plantas arbóreas: *Acacia cavendishii* (Molina) Molina, conhecida como Espinilho; *Prosopis affinis* Spreng. conhecida como Inhanduva e *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron. conhecida como Algarroba. No presente estudo, os dados de campo do levantamento foram tabulados utilizando o editor de planilhas Excel, para transcrição total dos dados e elaboração de tabelas dinâmicas separando os indivíduos por



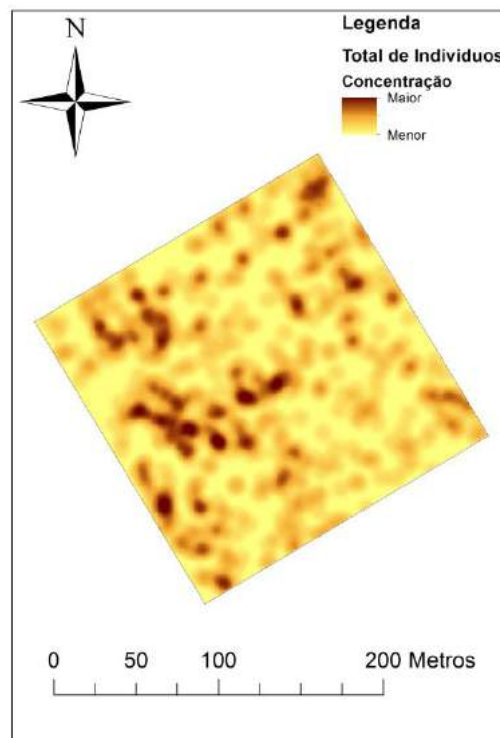
espécie. A partir da coordenada dos pontos das extremidades de cada unidade amostral, realizou-se a divisão das 400(quatrocentas) subunidades através do software livre GstarCAD 2017. Posteriormente, novamente no editor de planilhas, realizou-se cálculos para adicionar ou subtrair as medidas das coordenadas de cada árvore em relação à observação pontual anteriormente realizada no estudo. Após esses passos, os dados das tabelas do levantamento fitossociológico, juntamente com o posicionamento de cada árvore do estudo foram importados para o programa ArcGIS®, convertidos em shapefile de feição pontual e geraram-se mapas da distribuição espacial dos indivíduos totais e das duas espécies mais abundantes, utilizando a técnica de interpolação da densidade de Kernel, afim de gerar superfícies que descreveram a variabilidade espacial das espécies encontradas na unidade amostral do PESP.

Após o processamento dos dados, interpolação e geração dos mapas pelo programa ArcGIS®, observou-se os mapas de densidade de Kernel, e organizou-os em uma figura de fácil visibilidade da distribuição espacial das espécies arbóreas encontradas, podendo assim, inferir em relação a essa distribuição.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pode-se observar, através do mapa gerado pela interpolação da densidade de Kernel realizada com o programa ArcGis®, a distribuição total dos indivíduos florestais presentes na amostragem realizada no Parque Estadual do Espinilho, conforme Figura 2.

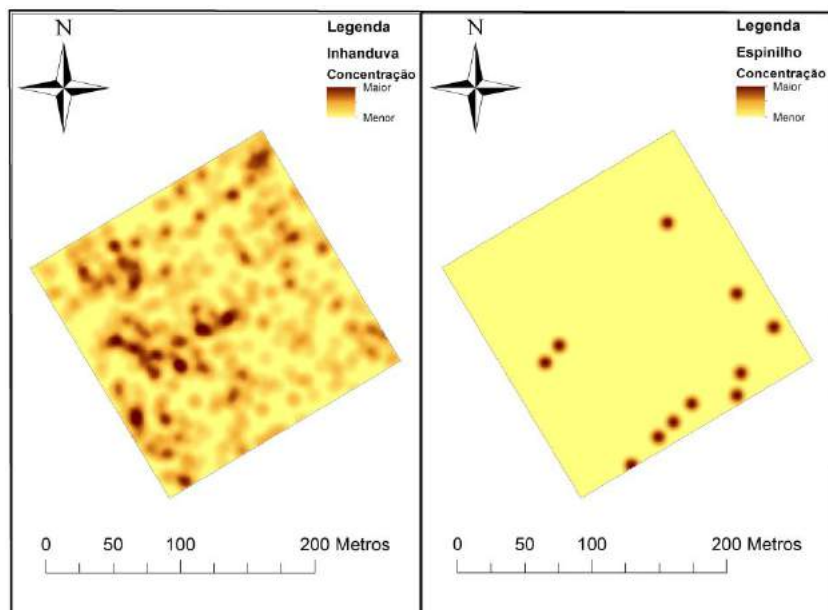
Figura 2 – Distribuição total de indivíduos arbóreos, PESP, 2017.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Pode-se constatar também, dentre os indivíduos existentes na amostragem realizada, que as espécies *Prosopis affinis* Spreng. – Inhanduvá e *Acacia caven* (Molina) Molina – Espinilho, mostraram uma distribuição espacial diferenciada entre si, possivelmente devido ao fato da busca por luminosidade e possível competição inter-específica, apesar da grande diferença entre número de indivíduos, como pode-se observar no mapa gerado através da densidade de Kernel conforme Figura 3.

Figura 3 – Distribuição Espacial das espécies mais encontradas, PESP, 2017.



Fonte:Do Autor.

A espécie *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron – Algarroba, por apresentar apenas um indivíduo, não foi feita a geração do mapa pelo interpolador da densidade de Kernel.

Ao analisar os mapas de interpolação, aparentemente, as espécies *Prosopis affinis* (Inhanduva) e *Acacia caven* (Molina) Molina (Espinilho), ocorrem em zonas diferentes dentro da unidade amostral permanente. A primeira ocorre em sua maior parte, na porção oeste da parcela com maior predominância por toda a amostra, e a segunda na porção leste. Seria indicado ainda realizar coletas de amostras de solo, para fins de análise dos atributos de fertilidade e físicos, para correlacionar o comportamento destas espécies com a variabilidade do solo. Estas correlações espaciais podem dar mais subsídios para explicar o comportamento da vegetação arbórea, apesar de ser nítida sua distribuição.

## 4 CONCLUSÃO

Após a realização deste trabalho, foi possível concluir que o levantamento fitossociológico, juntamente com a utilização da geotecnologia, aliado ao uso de técnicas e softwares de geoprocessamento, formam uma ferramenta de alta funcionalidade, visibilidade e confiabilidade, devido ao banco de dados gerado pelo programa ArcGis® e a segurança dos dados contidos no mesmo. Ressalta-se, também que a metodologia utilizada, respondeu ao esperado devido aos resultados por ela obtidos e indica-se a futuras pesquisas do gênero, não só na área do presente estudo como em outras formações vegetacionais. Enfatiza-se o fato da importância deste tipo de estudo para avaliação comportamental de espécies florestais nativas, demonstrando através da sua distribuição espacial no terreno, a diferenciação de extratos em um Parque Estadual com vegetação arbórea nativa no estado do Rio Grande do Sul.

## REFERÊNCIAS

APG - III. Angiosperm Phylogeny Group. An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 161, p.105-121, 2009.

DAVIS, Clodoveu. & CAMÂRA, Gilberto. **Arquitetura de sistemas de informação geográfica.**

Divisão de Processamento de Imagens/Inpe. Editorado pelos próprios autores. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap3-arquitetura.pdf>>. Acesso em: 08 set 2017.

GALVANI, F. R. **Vegetação e Aspectos Ecológicos do Parque Estadual do Espinilho, Barra do Quaraí, RS**. 2003. 132 f. Tese (Doutorado em Botânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul. 2003.

ICMBIO [online]. Disponível em: <[http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Decretos/1975/dec\\_23798\\_1975\\_criapa\\_rquesestaduais\\_reservasbiologicas\\_rs.pdf](http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Decretos/1975/dec_23798_1975_criapa_rquesestaduais_reservasbiologicas_rs.pdf)>, Acesso em: 08 set 2017.

LONGLEY, P. A., et al. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. 3. Ed. – Porto Alegre: Bookman, 2013. 540p.

MARCHIORI, J. N. C. et al. **A vegetação do Parque Estadual do Espinilho. 2 – Origem do nome e considerações fitogeográficas**. *Balduinia*, Santa Maria, n. 44, p. 01-16, 2014.

SEMA. **Plano de Manejo do Parque Estadual do Espinilho**. 2009. Pdf.

WATZLAWICK, Luciano Farinha et al. **Aspectos da Vegetação Arbórea em Fragmento de Estepe Estacional Savanícola, Barra do Quaraí-RS, Brasil**. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.24, n. 1, p. 23-36, jan.-mar., 2014. ISBN 0103-9954.

# APICULTURA DIGITAL, A TRANSFORMAÇÃO TECNOLÓGICA DA APICULTURA

## *Digital Apiculture, the digital transformations of beekeeping*

David Ferreira Mojaravski <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000, 97105-900, Santa Maria - RS, Brasil,  
[david\\_mojaravski@outlook.com](mailto:david_mojaravski@outlook.com)

### RESUMO

Para alimentar 9 bilhões de pessoas em 2050, serão precisas ações que visem mais do que apenas minimizar a extinção das abelhas, será preciso aliar a tecnologia à apicultura, a apicultura digital, dentre outras ações. Com o sucesso da agricultura de precisão como referência, a apicultura de precisão e a apicultura digital surgem como novos modelos para redefinir os novos desafios para planejamento, gestão e controle no apiário com adoção de inovações tecnológicas, aplicada a coleta, processamento e envio de dados, que representam um papel fundamental da democratização da informação. A outra grande barreira será como essa transformação trará o apicultor para esta possível nova realidade.

**Palavras-chave:** Extinção de abelhas. Controle da produção de mel. Apiários.

### ABSTRACT

Feed 9 billion people by 2050, more needs to be done with bee extinguishing, technology is required for beekeeping, beekeeping digital. With the success of precision farming as a benchmark, beekeeping and digital precision beekeeping as the new models to redefine how new frontiers of technology in the apiary, through date, play a key role in the democratization of information and how this transformation will bring the beekeeper to a new reality.

**Keywords:** Extinction of bees. Control of honey production. Apiary.

## 1 INTRODUÇÃO

As abelhas têm uma conexão com os humanos, diferente de qualquer outro inseto, isso porque elas produzem mel e prestam o serviço de polinização, colaborando com a produção segura e saudável dos alimentos (TENNANT; CHADWICK, 2016). O desaparecimento inexplicado das abelhas tem preocupado os apicultores e cientistas, uma vez que elas exercem um importante papel para a vida do planeta, sendo assim, a apicultura deixa de ser subestimada (FAO, 2011) e passa para o primeiro plano, assim como a agricultura e pecuária.

A agricultura de precisão, nos últimos 20 anos, tem exercido um importante papel no campo e no cenário mundial do agronegócio, com o melhor uso dos recursos, provendo uma gestão eficiente para os agricultores. A tecnologia ganhou espaço, através da agricultura de precisão, agregando valor, segurança e previsibilidade para a produção agrícola. O caminho para apicultura, não é diferente, é preciso usar da vanguarda da tecnologia, para transformar, através da informação a gestão apícola. Diferentemente de agricultura, a apicultura tem uma vantagem em particular, a colmeia pode ser monitorada continuamente (MEIKLE; HOLST, 2015).

A internet das coisas ou Internet das Abelhas, tem como plano de fundo, a computação em nuvem, que facilita a abordagem tecnológica nos apiários, reduzindo as fronteiras entre os apicultores e tecnologia, e como resultado dessa combinação, teremos acessos aos históricos das colmeias, alertas para os apicultores, possibilidade de rastreabilidade da produção e de material genético dos apiários e prover ferramentas para compreender os motivos da variabilidade da produção.

Portanto, essa revisão foi elaborada para descrever como a internet, a computação em nuvem, os dados e a apicultura digital poderão transformar os apiários nos próximos anos.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

No texto a seguir, foram descritos os principais conceitos, que servem para contextualizar o funcionamento e necessidade da transformação tecnológica nos apiários.

A apicultura, é a criação racional de abelhas, é uma das atividades agropecuárias com grande potencial de gerar impactos sociais, econômicos e ecológicos no Brasil (EMBRAPA, 2010). A apicultura é uma das atividades mais antigas e importantes do mundo, pois a abelha contribui com a vida do homem na produção do mel, geleia real, própolis, apitoxina, cera e pólen, bem como à agricultura e ao meio ambiente, pelos serviços de polinização (WEISE, 2005), que possibilitam a reprodução de um grande número de espécies vegetais no planeta, uma das bases para o funcionamento de nossos ecossistemas.

Para as plantas, o pólen representa o gameta masculino, dessa forma, para a vida das plantas, o pólen tem uma função semelhante ao espermatozoide de reprodução animal. Esse serviço de fecundação, ou seja, facilitar o contato do pólen com o óvulo para fecundação é auxiliado ou exercido pelas abelhas, é chamado de polinização (WEISE, 2015). As abelhas são sem dúvidas, os polinizadores mais importantes, sendo que 75% das culturas alimentares do mundo dependem em parte da polinização (FAO, 2016). Nesse ponto, nota-se o papel fundamental das abelhas e seus serviços de polinização para o homem, e, portanto, é possível dizer que na ausência de polinização significaria um planeta sem sementes, sem frutos e um colapso na agricultura. Os produtos químicos e pesticidas usados para as sementes, plantas e gado, invariavelmente acabam agindo em áreas e organismos, que não eram seus alvos originais, através da chuva, solo e ar. Nesse momento estamos em uma encruzilhada, com essa rápida transformação, as abelhas não estão conseguindo se adequar à nova realidade de pesticidas e zonas temperadas (FAO, 2016), portanto ainda existe muito estudo a ser realizado e acredita-se que os químicos são um dos principais fatores para o DCC (Desordem do Colapso da Colônia).

Em 2006, um fenômeno desconhecido até o momento, ocorreu nos Estados Unidos, os apicultores relataram uma perda alarmante de colmeias de abelhas, e até o final desse mesmo ano mais apicultores relataram prejuízos sem precedentes. No ano seguinte, 2007, na Europa, identificaram um fenômeno semelhante, por exemplo, na Irlanda do Norte, foi relatada uma diminuição superior a 50% no número de colmeias (IBAMA, 2012). Esse fenômeno passou a ser chamado como Desordem do Colapso da Colônia (DCC) (*Colony Collapse Disorder – CCD*) (RATNIEKS; CARRECK, 2010), e é caracterizado pela perda rápida e inexplicada da população adulta de uma colmeia (UNDERWOOD; VANENGELSDORP, 2007).

As principais causas do declínio estão relacionadas a alguns prováveis fatores, citados a seguir. A apicultura migratória, na qual a polinização comercial é um grande negócio no mundo, esse modelo é suportado para polinizar as lavouras, e para isso as colmeias são movidas de colheita em colheita entre diferentes culturas agrícolas e florestais, dessa forma, o transporte em massa pode contribuir para o DCC. Outros fatores seriam grandes cultivos (*mega farming*), que é a prática de colheita em grandes áreas de monocultura, que impactou na vida selvagem negativamente. Um terceiro possível fator é o uso dos pesticidas. Quando usado adequadamente o pesticida é eficaz, mas se usado de forma incorreta, pode ter consequências devastadoras para os serviços dos ecossistemas em geral, como a polinização e para o homem, tais como a presença de resíduos de pesticidas no leite materno (TENNANT; CHADWICK, 2016; PALMA, 2011) Uma das formas de reduzir o ritmo do declínio são os *health checks* (validação de saúde): verificar se as abelhas estão saudáveis e reportar qualquer incidente de doença para ajudar a proteger o grupo (TENNANT; CHADWICK, 2016).

Em um levantamento realizado em 2015, a população mundial foi estimada em 7,3 bilhões de pessoas. Há 10 anos, a taxa de crescimento era de 1,24 % ao ano e nos dias atuais a taxa de crescimento é de 1,18 % por ano, ou aproximadamente 83 milhões de pessoas anualmente. A projeção é que haja um aumento de um bilhão de pessoas nos próximos 15 anos, atingindo 8,5 bilhões em 2030, indo além, em 2050 para 9,6 bilhões de pessoas (ONU, 2015). A produção de alimentos difere de qualquer outro segmento ou ramo de atividade econômica, isso porque as pessoas precisam se alimentar todos os dias, mais de uma vez por dia. Para atender essa demanda que está por vir, ou até mesmo essa demanda atual, alimentar todos os dias 7,3 bilhões

de pessoas, é preciso ter uma organização, por parte do homem, para manter o equilíbrio no ecossistema. Como observado, o alimento tem um papel fundamental na vida do homem, e as abelhas com a polinização, um papel fundamental no funcionamento dos ecossistemas. Com o declínio em soma do crescimento populacional desgovernado, vivemos em um momento de muita atenção, e que é preciso agir imediatamente através da tecnologia e da análise de dados em prol da sobrevivência e qualidade da vida do homem e do meio ambiente.

O modelo de sucesso tecnológico conhecido na atualidade aplicado ao agronegócio, é a Agricultura de Precisão (AP), que pode ser definida como um conjunto de ferramentas e tecnologias aplicadas para permitir um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variabilidade espacial e temporal da unidade produtiva, visando ao aumento de retorno econômico e a redução do impacto no ambiente (MOLIN, 2015), em outras palavras, utilizar melhor o campo com suporte da associação das tecnologias já existentes na agricultura com as geotecnologias, tais como estatística espacial, uso de sistemas de navegação por satélite (GNSS), sensores remotos e não remotos, e os conhecimentos das áreas de topografia e geodésica (GIOTTO, et al. 2016). Permitir que os agricultores realizem uma gestão sob medida e um uso eficiente de água, impulsiona a produção, melhora a eficiência econômica, e minimiza os desperdícios e o impacto ambiental (MAGNIN, 2016). A agricultura de precisão, no momento é uma das maiores tendências para a alimentação e para o agronegócio (GOEDDE; HORII; SANGHVI, 2015), e é possível dizer que os dados da agricultura serão moldados para um novo modelo de uso de recursos e ciência através de duas tendências tecnológicas, o *big data* e análise avançada dos dados (MAGNIN, 2016).

Existem outras variações para a agricultura de precisão, como a viticultura de precisão, esse termo indica a prática de reunir todos os tipos de dados sobre uma vinha que são, depois, mapeados e analisados. Um exemplo de aplicação para a viticultura de precisão ocorreu na Califórnia com o uso de *drone*, onde o mesmo fez um voo de uma hora na propriedade, e através de um *software*, organizou as imagens obtidas para montar um mapa do vinhedo. O diagnóstico resultante destas imagens mostrou que os topos das montanhas tinham as vinhas mais escuras, indicando mais umidade e melhor solo do que em baixas altitudes. Com essas informações, o proprietário conseguiu amostras do crescimento das uvas e poderá decidir por quais partes começar a colheita, de forma a ganhar não apenas tempo, mas principalmente uvas com mais qualidade para fazer bons vinhos (TONON, 2014). Uma outra variação da agricultura de precisão que colabora com a agricultura, e que terá uma grande demanda nos próximos anos é a Apicultura de Precisão e sua transformação digital.

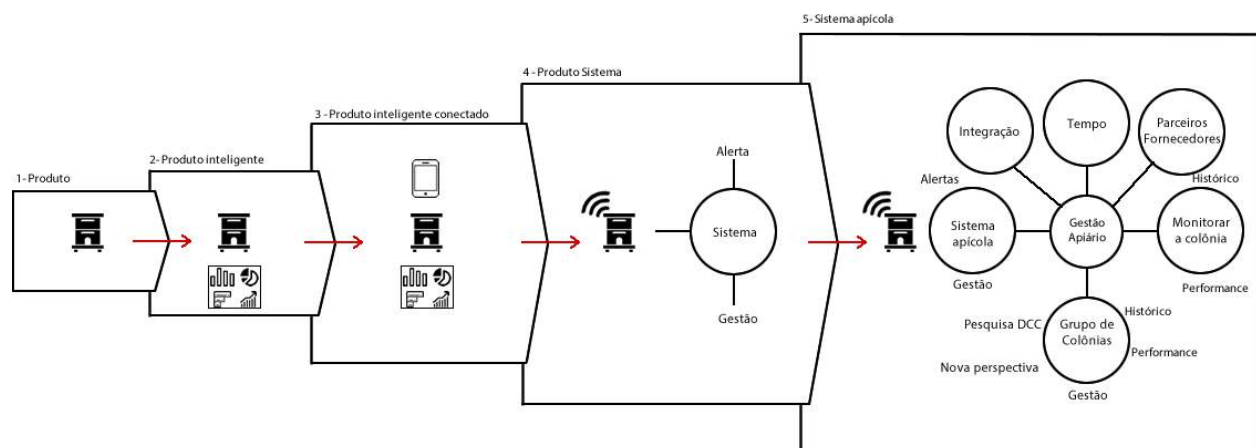
A Apicultura de precisão é um subcampo da agricultura de precisão, e tem por objetivo monitorar e controlar o comportamento das atividades das abelhas e também do apiário. Como as abelhas são insetos sociais, isso quer dizer que, o comportamento de uma colmeia é equivalente à de um indivíduo. Por esse motivo as colmeias são consideradas os objetos ou alvos da apicultura de precisão. Os apicultores executam tratamento médico e as demais práticas de manejo na colmeia e não em uma única abelha. Isso pode ser comparado aos objetos da agricultura de precisão quando especialistas da área ao invés de observarem cada planta, observam uma área. Portanto, a apicultura de precisão é uma estratégia baseada no monitoramento de cada colmeia para minimizar recursos e maximizar a produtividade das abelhas (ZACEPINS; STALIDZANS, 2012). A importância da polinização fortifica a necessidade da Apicultura de Precisão, onde podem ser aplicadas as melhores práticas voltadas (manejo adequado e gestão) para maximizar a produção, reduzir custos, aperfeiçoar a mão-de-obra (trabalho do apicultor em si), e ainda proporcionar a conservação do meio ambiente, para obter um ecossistema sustentável para o bem-estar das abelhas.

Nos dias atuais muito se fala de transformação digital, onde o produto inteligente e conectado não apenas transforma o produto, mas também expande os limites da indústria (PORTER, 2014). A transformação digital pode ser definida como a aplicação da tecnologia digital para fundamentalmente impactar todos os aspectos dos negócios e da sociedade (GRUMAN, 2016), portanto, não é apenas sobre Tecnologia, é sobre tudo, o valor e os dados fornecidos pela tecnologia para aumentar o alcance de clientes e parceiros a fim de fomentar novos modelos de negócios (BOKM; IANSITI; LAKHANI, 2017) Como referência, a Agricultura digital é uma nova

indústria que combina grandes fontes de dados com análise avançada da colheita e meio ambiente, modelos para prover plano de ações para o campo, e tem como objetivo ajudar os produtores a acelerar a adoção de novas práticas culturais e tecnológicas para produzir benefícios mais valiosos para a agricultura e como resultado, seu negócio.

Dado o cenário apresentando, e como plano de fundo a Agricultura digital, ofertamos a introdução do termo Apicultura Digital (*Digital beekeeping*). Apicultura Digital é uma coleção de atividades tecnológicas relacionadas a apicultura que tem como objetivo expandir os limites do negócio, através de extração do valor de múltiplas fontes de dados para otimizar a produção, prover rastreabilidade, reduzir a invasão durante o manejo, conhecer o entorno do apiário, criar históricos das colmeias e apiários para colaborar na tomada de decisão e utilizar esses dados para pesquisas (principalmente o DCC), sustentabilidade das operações agrícolas, redução das fronteiras sociais através de inovação tecnológica, e por fim, prover uma gestão integrada do apiário onde clientes, fornecedores e parceiros fazem parte de todo o ciclo produtivo. A figura 1 (adaptado de Porter e Heppelman 2014) descreve essa transformação digital da apicultura, fica evidente que é uma plataforma sistêmica que não termina, esse é apenas o primeiro passo para mais ferramentas que podem ser agregadas com facilidade a esse sistema ou através de integração de ferramentas de terceiros ou prover informações para alimentar outro sistema. Por esse motivo, esse modelo é uma ruptura a ser seguida em outros ramos como a suinocultura, avicultura, bovinocultura e equinocultura, com precisão e transformação digital.

Figura 1, Transformação Digital da Apicultura



Os principais componentes que colaboram para a transformação digital da apicultura, é a internet das coisas (CALLAHAN, D.; KAPLAN, J.; MEHTA, A., 2016) ou internet das Abelhas (*internet of bees*), a computação em nuvem, big data e análise, automação, tecnologia móvel, aprendizagem de máquina, inteligência artificial e apicultura de precisão.

A Internet das Coisas (Internet of Things - IoT), é um termo multi-referencial, IoT é uma rede de objetos físicos que contém tecnologia incorporada para comunicar, sentir e interagir com os seus estados internos ou o ambiente externo (GARTNER, 2015). A IoT é composta por três componentes, sendo, o hardware, constituído de sensores, atuadores e hardware de sistema embarcado; o *middleware*, *storage* sobre demanda e ferramentas computacionais para análise de dados; e a apresentação, uma forma fácil e multiplataforma para fácil visualização e interpretação dos dados (JAYAVARDHANA et al., 2013). Conectar as operações da apicultura através da internet das coisas abrirá ainda mais possibilidades do que apenas aumentar o rendimento ou manter as colmeias (CARMEN, 2015). Através dessa linha de pensamento, é preciso utilizar sensores, sistemas embarcados, meios de comunicação sem fio e computação em nuvem, para obter informações de forma remota, reduzir a invasão na colmeia, e aplicar uma gestão técnica e científica de cada colmeia como um modelo de gestão apropriado às demandas do apicultor.

A Computação na Nuvem é um estilo de computação no qual as capacidades da Tecnologia da Informação (TI) são escaláveis e elásticas, e são disponibilizadas como um serviço usando tecnologias de internet (GARTNER, 2015). A computação em nuvem é um modelo que permite um acesso, sob demanda, a um grupo de recursos compartilhados e configuráveis (por exemplo, redes, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços) que podem ser rapidamente provisionados e lançados com esforço de gerenciamento mínimo ou interação do provedor de serviços (NIST, 2011). A computação em nuvem tem duas características fundamentais, a escalabilidade e elasticidade: Na escalabilidade os recursos de infraestrutura podem ser alterados conforme a demanda, para isso as aplicações e seus dados devem ser flexíveis. Na elasticidade, tem-se o conceito de crescimento elástico virtual, é o que permite tornar dinâmico e automático o dimensionamento dos servidores onde rodam as aplicações e dos links de comunicação, e tem por objetivo ser rápido. Dessa forma, uma aplicação pode começar com uma quantidade mínima de recursos e, durante sua execução, novos recursos podem ser requisitados (GALANTE, 2014).

Esses dois principais conceitos são os pilares da Apicultura Digital, portanto, podemos dizer que o sensoriamento remoto do apiário, é realizado através de IoT, onde, de forma remota/telemetria, os dados são coletados sem intervenção humana, de forma automatizada, armazenados e enviados para servidores da computação em nuvem. Com os dados na "nuvem" os servidores fazem o processamento utilizando técnicas de modelagem de dados através de big data, aprendizado de máquina e inteligência artificial considerando não apenas os dados coletados, mas também as integrações com canais de tempo e serviços como o NOAA (previsão de terremotos e tempestades), e então o processamento transforma os dados em *Insights*, que são as sugestões de manejo e ações que o apicultor pode realizar. Esse novo modelo, expõem o apicultor para uma tomada de decisões fundamentalmente baseada em dados. Essa tecnologia de fácil acesso atinge uma lacuna no manejo, e busca uma padronização, ou uma eficiência e o ponto ótimo da criação de abelhas. Existem diferentes caminhos para a apicultura, "faça uma pergunta a três apicultores, e você terá três respostas diferentes" (TENNANT; CHADWICK, 2016).

O propósito dessa transformação digital na apicultura, é centrada no apicultor, isso porque se baseia em algumas iniciativas. As iniciativas são: o histórico, através de dados coletados por sensores, alimentar uma base de dados para formar um histórico; a análise, no sentido de quais mecanismos empregar para analisar os dados do histórico e criar modelos para prover um mercado competitivo; a tecnologia sob demanda, na qual os dados e a tecnologia direcionam para novos produtos e necessidades; e a pesquisa, para desenvolver e indicar quais os novos métodos tecnológicos aplicados para a apicultura irão colaborar para que os apicultores alcancem a vanguarda da tecnologia para as gerações que estão por vir.

O grande avanço tecnológico do início do século XXI não consiste em novos objetos, mas em objetos antigos tornados inteligentes. O conteúdo de conhecimento dos produtos está se tornando mais valioso que os elementos físicos usados para produzi-los (MASON, 2015).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No clímax da necessidade do alimento, dos serviços de polinização prestados pelas abelhas, crise do crescimento populacional e o desaparecimento das abelhas, associado com a era dos dados, computação em nuvem, e a urgência de transformar-se, a Apicultura Digital exercerá um importante papel na sociedade e nos negócios. Nesse mesmo sentido, a democratização, que significa fazer-se acessível para todas as classes de pessoas, torna-se popular, ficando fácil de conectar a democracia e internet. Isso quer dizer, que os dados, dia após dia, estão sendo democratizados. A informação, que antes era disponível apenas para uns seletos poucos, está agora disponível para todos. Logo, a informática não tem mais nada a ver com computadores, tem a ver com a vida das pessoas. Portanto, a tecnologia aplicada para o bem-estar da sociedade, faz com que deixemos de usar a tecnologia como adolescentes e sim a termos como uma importante ferramenta de transformação social e econômica.



## REFERÊNCIAS

- CARMEN P. Saving Bees With the Internet of things. Disponível em: <<http://www.forbes.com/sites/sap/2016/07/07/saving-bees-with-the-internet-of-things/#6e69be8f1acc>> Acesso em: 19 agosto. 2016 às 21:00
- CALLAHAN, D.; KAPLAN, J.; MEHTA, A. Rewiring Citi for the digital age. US: Mckinsey, Dezembro. 2016
- EMBRAPA. 2010. Disponível em: <<http://www.cpamn.embrapa.br/apicultura/desordemColapso.php>> Acesso em: 1 Abril. 2017 às 15:30
- EMBRAPA. Apicultura. Disponível em: <<http://www.cpamn.embrapa.br/publicacoes/folders/2001/apicultura.pdf>> Acesso em: 20 agosto. 2015 às 20:00
- FAO. Beekeeping and sustainable livelihoods - Second edition. 2011. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i2462e.pdf>> Acesso em: 1 Abril. 2017 às 15:30
- FAO. Pollinators vital to our food supply under threat. 2016. Disponível em: <<http://www.fao.org/news/story/en/item/384726/icode/>> Acesso em: 1 Abril. 2017 às 15:30
- FERRARI, F.. Big Data ou Big Problems. Revista ESPM, São Paulo, n. 5, pg. 49. Set/out. 2014.
- GALANTE, G. Explorando a elasticidade em nível de programação no desenvolvimento e na execução de aplicações científicas. 2014. 115 f. Tese (Doutorado em Ciências Exatas) - Universidade Federal do Paraná.
- GIOTTO, E et al.. Agricultura de Precisão no Sistema CR Campeiro 7. 1º ed. Santa Maria: CESPOL, 2016.
- GOEDDE, L.; HORII, M.; SANGHVI, S. Pursuing the global opportunity in food and agribusiness. US: Mckinsey, Julho. 2015.
- GRUMAN, G. What digital transformation really means. Junho. 2014. Disponível em: <<http://www.infoworld.com/article/3080644/it-management/what-digital-transformation-really-means.html>> Acesso em: 30 março. 2016 às 19:00.
- IBAMA. Efeitos dos Agrotóxicos sobre as abelhas silvestres no Brasil. 2012. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/livros/efeitosdosagrototoxicossobreabelhassilvestresnobrasil.pdf>> Acesso em: 2 setembro. 2017 às 15:00
- LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. Sistemas e ciência da informação geográfica. 3 ed., Porto Alegre: Bookman, 2013, 540 p.
- MAGNIN, C. How big data will revolutionize the global food chain. Paris: Mckinsey, Agosto. 2016. Disponível em: <<http://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/how-big-data-will-revolutionize-the-global-food-chain>> Acesso em: 30 março. 2016 às 19:00.
- MASON, P. Pós Capitalismo: Um guia para o nosso futuro. Tradução de José Geraldo Couto. 1º ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2017.

MEIKLE, W. G; HOLST, N. Application of continuous monitoring of honeybee colonies. *Apidologie* 46.1 (2015): 10-22.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F.. *Agricultura de Precisão*. 1 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2015.

NIST. The NIST Definition of Cloud Computing. 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.800-145>> Acesso em: 1 Abril. 2017 às 16:30

ONU. World Population Prospects The 2015 Revision. 2015. Disponível em: <[https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/key\\_findings\\_wpp\\_2015.pdf](https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/key_findings_wpp_2015.pdf)> Acesso em: 1 Abril. 2017 às 15:30

PALMA, D. C. de A. Agrotóxicos em leite humano de mães residentes em Lucas do Rio Verde – MT. 2011. 103 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Coletiva)- Instituto de Saúde Coletiva, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiába.

PORTER, M. E.; HEPPELMANN, J. E. How smart, connected products are transforming companies. *Revista Harvard Business Review*, n. 93.10. p. 96-114. 2015.

RATNIEKS, F. L. W.; CARRECK, N. L. Clarity on Honey Bee Collapse. *Science*, v. 327, n. 5962, p. 152-153, 2010.

TENNANT, E.; CHADWICK, F. *The Bee Book*. 1 ed. United Kingdom: Dorling Kindersley, 2016.

TONON, R. Campo Hackeado. *Revista Galileu*, São Paulo, n. 242, p. 43, Mar. 2014.

UNDERWOOD, R. B; VANENGELSDORP, D. Colony Collapse Disorder. Have we Seen this before? 2007. Disponível em: < <http://www.beeeculture.com/colony-development-part-i/> > Acesso em 14 Abril. 2015 às 15:30

WEISE, H. *Apicultura: Novos tempos*. 2 ed. Guaíba: Agrolivros, 2005.

ZACEPINS, A.; STALIDZANS, E. 2012. Architecture of automatized control system for honey bee indoor wintering process monitoring and control. In 13th International Carpathian Control Conference (ICCC).

ZACEPINS, A.; STALIDZANS, E. *Application of Information's Technologies in Precision Apiculture*. Letônia: Departamento de Sistema de Computadores. 2012.

# CORRELAÇÃO DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS PROVENIENTES DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA COM DADOS DA PRODUTIVIDADE DE MILHO (*ZEAMAYS* L.)

*Correlation of multispectral images from aircraft remotely piloted with corn productivity (zeamays l.)*

Pablo Fernandes<sup>1</sup>, Vinicius Henrique Fernandes<sup>2</sup>, Jessica Hoch Boelter<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Base Precisão na Agricultura, Osvaldo Zambonato, 623 – Centro, 97195-000, Silveira Martins – RS, Brasil, [pablofernandes30@yahoo.com.br](mailto:pablofernandes30@yahoo.com.br); [viniciusfernandes2007@hotmail.com](mailto:viniciusfernandes2007@hotmail.com); [je\\_boelter@hotmail.com](mailto:je_boelter@hotmail.com)

## RESUMO

A agricultura de precisão tem buscado novas técnicas para aumentar a eficiência no sistema produtivo de grãos e, neste cenário, tecnologias como a RPA (Aeronave Remotamente Pilotada) tornam-se ferramentas com potencial para determinação da variabilidade espacial das lavouras. O estudo teve como objetivo avaliar a correlação da utilização de imagens multiespectrais provenientes de RPA para estimar a produtividade da cultura de milho (*Zea mays* L.). A pesquisa foi realizada em um talhão de 51,6 ha, localizado em São Martinho da Serra, Rio Grande do Sul. A cultura utilizada foi o híbrido de milho Pioneer 1630 hx, semeadura em 20/08/2014 e colheita em 20/01/2015. A captura de imagens do talhão ocorreu com a RPA modelo El Asesor/5 equipado com dois sensores multiespectrais modelo Teracam ACD Micro e Flir Tau 2. Os dados de produtividade foram obtidos através do registro dos sensores de colheita da colhedora John Deere 9670. A banda do Infravermelho termal obteve maior correlação com os dados de produtividade de milho com  $R^2 = 0,68$ .

**Palavras-chave:** RPA. Milho. Agricultura de Precisão.

## ABSTRACT

Precision farming has sought new techniques to increase efficiency in the grain production system and, in this scenario, technologies such as the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) become tools with potential for determining the spatial variability of crops. The objective of this study was to evaluate the correlation of the use of multispectral images from UAVs to estimate maize crop productivity (*Zea mays* L.). The research was carried out in a field of 51.6 ha, located in São Martinho da Serra, Rio Grande do Sul. The crop used was the corn hybrid Pioneer 1630 hx, sown on 08/20/2014 and harvested on 01/20 / 2015. The image capture of the field occurred with the UAV Assesor El Asesor / 5 equipped with two multispectral sensors model Teracam ACD Micro and Flir Tau 2. Productivity data were obtained through the harvest sensors register of the John Deere 9670 harvester. The thermal infrared obtained a higher correlation with the yield data of corn with  $R^2 = 0.68$ .

**Keywords:** UAV. Mays. Precision Agriculture.

## 1 INTRODUÇÃO

O milho tem como centro de origem o México e a Guatemala, sendo a terceira cultura mais cultivada no mundo (CIB, 2006). No Brasil, na primeira safra 2016/2017 foram colhidos em torno de 5,5 milhões de hectares, totalizando 30,5 milhões de toneladas de grãos (CONAB, 2017). Diante de uma pesquisa realizada pelo Ministério da Agricultura (2010), a safra de milho no Brasil atende a necessidade do interno para fins de consumo dos brasileiros e da indústria de ração para animais e afins.

Neste âmbito, a agricultura de precisão tornou-se uma das grandes ferramentas para obtenção de ganhos de produtividade e conservação do ecossistema através da sua capacidade de gerenciar e intervir de forma perspicaz na lavoura. Visto que toda técnica e ciência requer constante avaliação e atualização em suas aplicações, com a agricultura de precisão não é diferente.

Tal ciência tem seus princípios no mapeamento da produtividade, sendo essa uma das

primeiras e mais importantes ferramentas para a tomada de decisão e intervenção na agricultura de precisão, embora atualmente ainda tenha seu uso restrito pelos agricultores. Este refreamento deve-se, principalmente, pela dificuldade que os operadores de máquinas colhedoras têm encontrado no uso da ferramenta e pela maneira destrutiva da coleta de dados, não permitindo que haja possibilidade de uma nova leitura.

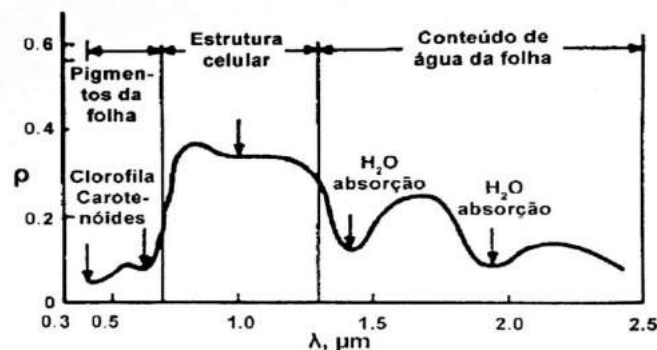
Uma das técnicas na agricultura de precisão é o sensoriamento remoto, que consiste na captação de informações da lavoura de forma não destrutiva, ágil e a distância, e tem se tornado imprescindível por ser capaz de realizar os diagnósticos como a estimativa da produtividade, a avaliação nutricional, a detecção de pragas e doenças e a avaliação de necessidades hídricas de plantas a partir de zonas de manejo (SHIRATSUCHI et al., 2014).

As delimitações do espectro eletromagnético utilizadas pelo sensoriamento remoto para estudo da vegetação, segundo Moreira (2005), são compreendidas na região do visível e infravermelho. A região que é visível aos olhos humanos consiste no intervalo de radiações de 0,4  $\mu\text{m}$  a 0,5  $\mu\text{m}$  que representa o azul, de 0,5 a 0,6  $\mu\text{m}$  que representa o verde, e o vermelho de 0,6  $\mu\text{m}$  a 0,7  $\mu\text{m}$ , e a região do infravermelho, não visível aos olhos humanos, é dividida em 3 faixas espectrais: infravermelho próximo (0,7 a 1,1  $\mu\text{m}$ ), infravermelho médio (1,1 a 3,0  $\mu\text{m}$ ) e o infravermelho termal (0,3 a 1.000 $\mu\text{m}$ ).

Florenzano (2007) explica que, na faixa do visível, a vegetação com característica sadia reflete mais na cor verde, onde o ser humano define a cor representativa do alvo. Sendo assim, o infravermelho próximo é onde a vegetação reflete maior quantidade de energia.

A presença de água na folha (Figura 1) é determinada na banda do infravermelho próximo, onde absorve consideravelmente a radiação incidente em 1,3 a 2,0  $\mu\text{m}$  e com mais intensidade nos pontos de 1,1  $\mu\text{m}$ , 1,45  $\mu\text{m}$ , 1,95 e 2,7  $\mu\text{m}$  (PONZONI E SHIMABUKURO, 2007).

Figura 1 – Curva do Fator de Refletância Direcional-Hemisférico típica de uma folha verde.



Fonte: Adaptação de Ponzoni e Shimabukuro (2007, p. 18).

As Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA's) são aeronaves de pequeno porte que são capazes de executar tarefas como monitorar e mapear sem que exista um contato físico (DECEA, 2016). Blyenburgh (1999) classifica RPA's de acordo com características de peso, alcance, altitude e autonomia de voo, características estas que concorrem, de maneira geral, para o bom funcionamento do sistema. Esta classificação refere-se apenas às aplicações civis pois, para fins militares, a classificação apresenta capacidades superiores em termos de altitude de voo e autonomia.

As RPA's para a agricultura são ferramentas de grande importância por diversos motivos, principalmente devido à sua alta capacidade de monitoramento, com facilidade de obter imagens de alta resolução espacial, espectral e radiométrica. Sendo assim, como vantagens das RPA's para o agronegócio podemos citar o manejo de culturas, acompanhamento de estresse hídrico, estimativas de produtividade, bem como no plantio e mapeamento de áreas para aplicação de defensivos ou adubação.

Jorge e Inamasu (2014) descrevem que os sensores utilizados em RPA's normalmente são: câmeras RGB para identificar falha no plantio, representados na região do visível do espectro

eletromagnético; câmeras térmicas, que demonstram o estresse hídrico; câmeras multiespectrais, que detectam o comportamento nutricional da planta para determinação de índices fisiológicos e estrutura da copa, como o índice de vegetação NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada); câmeras hiperespectrais para desenvolvimento de novos índices, visualização da assinatura espectral e composição de índices; sensores ativos para registro de refletância do alvo.

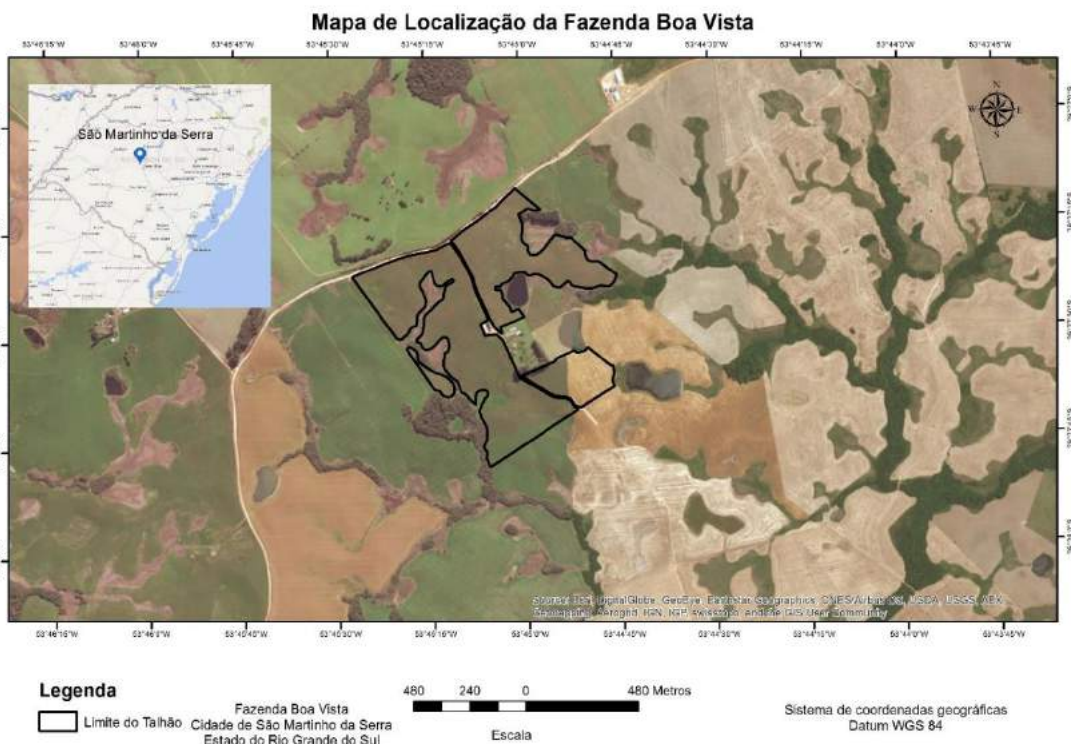
Sendo assim, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a correlação de imagens multiespectrais proveniente de RPA com a produtividade da cultura de milho (*Zea Mays L.*). Para isto, serão relacionados os dados de produtividade com as bandas do visível, infravermelho próximo e termal das imagens.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a execução deste trabalho foram desenvolvidas e seguidas algumas etapas. A primeira foi destinada à implantação do experimento, a segunda à coleta dos dados, a terceira ao processamento destes dados, a quarta ao cruzamento das informações e, por fim, na quinta a análise estatística.

A área experimental está localizada no município de São Martinho da Serra, Rio Grande do Sul, sendo que o talhão em que foi realizado o experimento pertence à Fazenda Boa Vista. Tal área possui 51,6 ha, com coordenadas central de latitude- 29°27'28.20" e longitude -53°45'4.89", Datum WGS 84 e aproximadamente 500 metros de altitude, conforme Figura 2.

Figura 2 – Mapa de localização da área experimental.



Fonte: Autores.

O clima da região do município de São Martinho da Serra é classificado como Cfa, segundo Köppen (1931) e, de acordo com a plataforma de coleta de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) de Santa Maria, RS, no período compreendido entre 20 de agosto de 2014 e 20 de janeiro de 2015, a temperatura mínima foi 9,2°C, a média 21,3 °C, a máxima 32,6°C, e a precipitação acumulada nesse período foi de 1.206,5 mm.

O solo da área experimental é classificado como Neossolo Litólico Eutrófico típico (STRECK, 2008). Conforme a Embrapa (1999), essa classificação apresenta horizonte A ou O hístico com espessura inferior a 40 cm, assentado sobre rocha ou horizonte C ou Cr, constituído por fragmentos de rocha com diâmetro superior a 2 mm.

Para compor a primeira fase do experimento, foi necessário compreender o histórico do talhão, constatando o uso de plantio direto e agricultura de precisão no auxílio à rotação de culturas (milho e soja). Ainda nesta fase foi semeada, em 20 de agosto de 2014, a cultura do milho (*Zea mays L*), utilizando a variedade Pioneer 1630 HX, com espaçamento entre linhas de semeadura de 0,5 metros e população de 70 mil plantas por hectare, sendo realizada a colheita em 20 de janeiro de 2015.

A coleta de dados pertencente à segunda fase da metodologia e ocorre em duas etapas. A primeira etapa contemplou a obtenção da imagem aérea realizada em 19 de novembro de 2014, as 10 horas da manhã, por uma empresa especializada em levantamento de imagens aéreas, a qual fez uso da aeronave modelo El Asesor/5, com envergadura de 1 metro, peso total de 1,5 kg, velocidade máxima de operação de 75 km/h e autonomia de 50 minutos. O voo foi realizado aproximadamente 250 metros de altura em relação ao solo, com sobreposições de imagens laterais e frontais de 30 por cento.

A RPA utilizada estava equipada com dois sensores, o primeiro deles é o CMOS multiespectral modelo Tetracam ADC Micro, que possui resolução de 3,2 megapixel (armazenamento de 2048 x 1536 pixel) com resolução radiométrica de 8 bits e resolução espectral de 3 bandas, com os intervalos de comprimentos de onda de 0,52 a 0,60  $\mu\text{m}$  correspondendo a banda do verde; 0,63 a 0,69  $\mu\text{m}$  que corresponde a banda do vermelho e 0,76 a 0,92  $\mu\text{m}$  correspondendo a banda do infravermelho próximo. O segundo possui resolução de 0,3 megapixel (armazenamento de 640 x 512 pixel) com resolução radiométrica de 8 bits e resolução espectral de uma banda, com o intervalo de comprimento de onda de 7,5 a 13,5  $\mu\text{m}$  compreendendo a banda do infravermelho termal, sensor CMOS modelo Flir Tau2.

A segunda etapa compreende a obtenção de dados de colheita do talhão, onde contamos com colhedora John Deere 9670, embarcada com o kit de monitor e sensores de colheita da marca e modelo Trimble FMX, com correção diferencial de GNSS (*Global Navigation Satellite System*) chamado RTX, sendo que o kit utilizado teve como objetivo armazenar e mapear em tempo real a produtividade do milho colhida.

A terceira fase do trabalho compreende o processamento das imagens aéreas e processamento dos dados da produtividade do talhão, ambos georreferenciados em Datum WGS84. O processamento para gerar a imagem do talhão foi segmentado em gerar o mosaico das imagens multiespectrais, que serviram de subsídio para gerar as informações das bandas. Para o processamento do mosaico foi utilizado o software Agi Photoscan Pro, que resultou na imagem ortorretificada multiespectral, com resolução espacial de 0,7 m, com as bandas: 2, 3, 4 e 5, sem a utilização de pontos de controle a campo, apenas com posicionamento das imagens do GNSS da RPA.

Ainda nesta fase, o processamento de dados compreende a filtragem dos dados de colheita, realizada no software SMS 15.5, no qual foram utilizados parâmetros para excluir os dados que não representam informações reais, sendo eles a velocidade da colhedora inferior a 1 km/h e superior a 10 km/h e produtividade menor que 2.000 kg/ha e superior a 20.000 kg/ha. Então, a confecção do mapa final de produtividade é realizada através dos dados filtrados, composto pelos dados reais das células registradas no monitor de colheita. Para cruzar os dados de produtividade com os demais não ocorreu a interpolação dos dados no mapa final, a fim de não estimar áreas não amostradas.

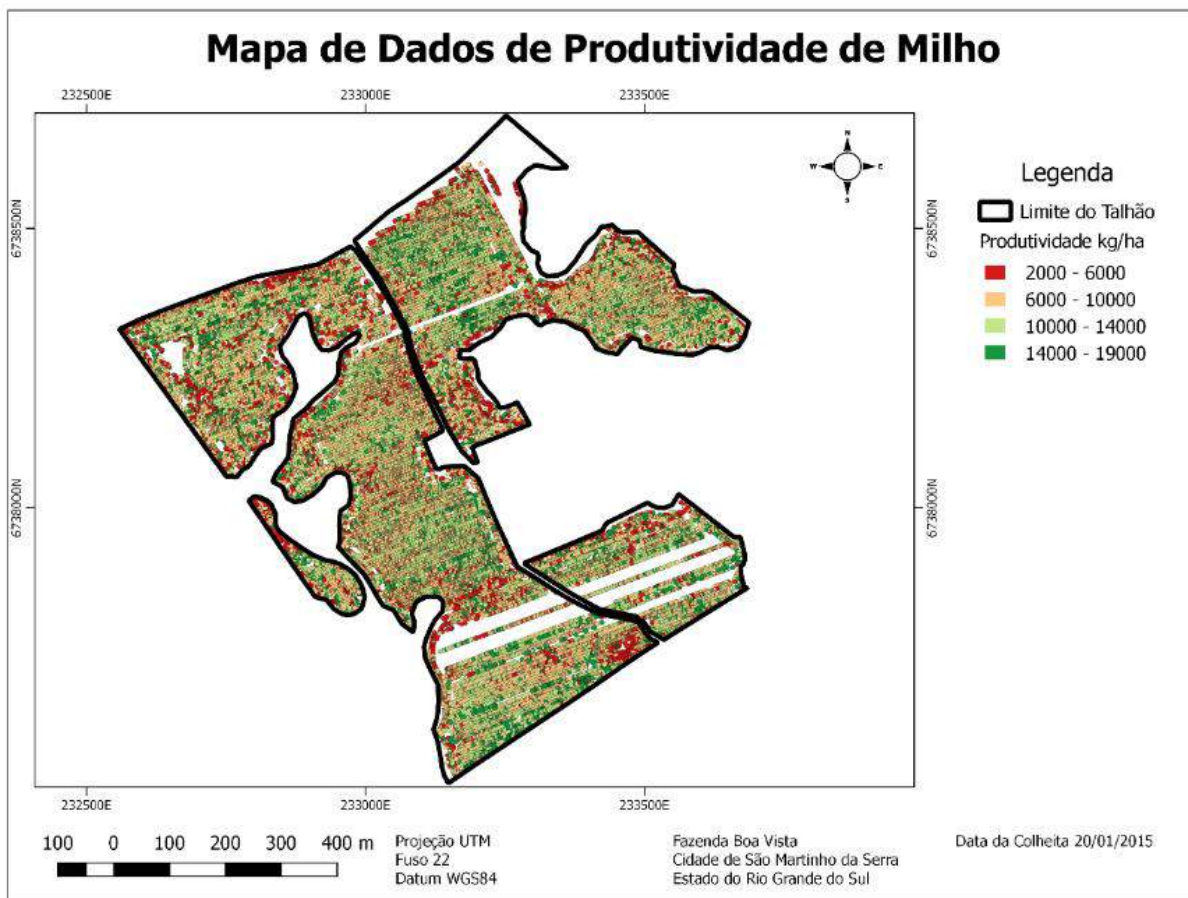
Foram realizadas as análises estatísticas de correlação dos dados de produtividade com os dados provenientes da RPA. Os dados registrados no DBF dos arquivos *shapefile* foram observados no software *Excel 2016*, onde foram obtidos os gráficos de regressão contendo a linha de tendência, o  $R^2$  e a equação. Tais análises foram correlacionadas com os dados de produtividade para cada banda da imagem multiespectral.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De posse dos resultados de colheita, conforme Figura 3, realizou-se o cruzamento destes dados com algumas bandas do espectro eletromagnético do mosaico de imagens da Figura 4. Do cruzamento das informações da produtividade com a banda do verde obtivemos resultados  $R^2 = 0,05$ , não apresentando correlação, conforme é apresentado no gráfico da Figura 5 – A. A não correlação é explicada por Florenzano (2007), o qual afirma que na região do visível a banda que mais reflete é o verde, mas é na região do infravermelho próximo que a vegetação reflete maior quantidade de energia, e por Fernandes, Wendling e Bona (2015), os quais encontraram baixa correlação dos dados de produtividade de milho com a banda do verde, com  $R^2 = 0,02$ .

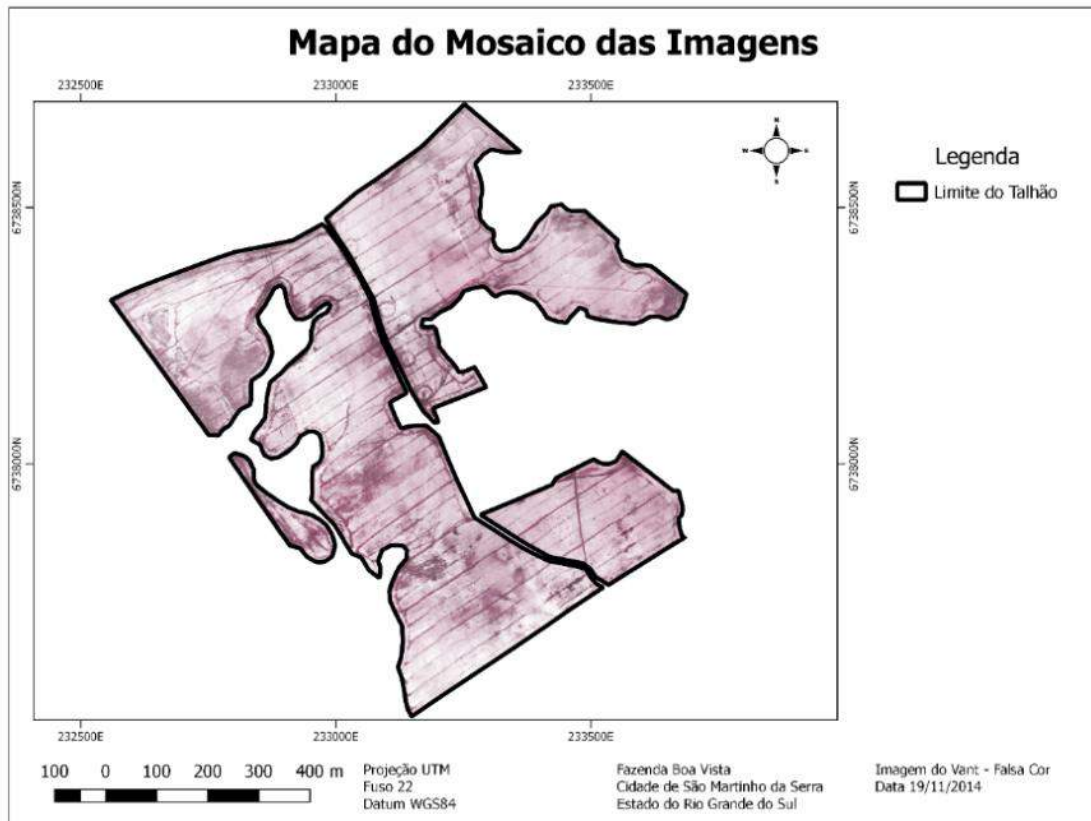
Na literatura encontramos outra referência que explica que na região do verde a vegetação, através de pigmentos e clorofilas, absorve quase 90% da radiação incidente, contra 10% de absorção na região do infravermelho próximo (LIU, 2007).

Figura 31 – Mapa de dados de produtividade de milho de 20/01/2015.



Fonte: Autores.

Figura 4 – Mosaico das imagens levantadas pela RPA em falsa cor de 19/11/2014.



Fonte: Autores.

Conforme é apresentado no gráfico da Figura 5 - B, o cruzamento da produtividade com a banda do vermelho resultou em  $R^2 = 0,37$ , apresentando média correlação. Tal resultado é observado devido aos dados de baixa produtividade (2.000 a 6.000 kg/ha) ficarem mais dispersos da linha de tendência e os dados de alta produtividade não serem estimados com precisão. A vegetação absorve o comprimento de onda do vermelho e, devido a isso, é que os dados de maior produtividade (que possuem maior índice de área foliar) possuem registro de refletância baixo (JENSEN, 2009).

Visto que a tomada de imagens ocorreu 91 dias após a data do plantio é possível concluir que o milho se encontrava no estágio fenológico entre VT e R1 (RITCHIE, S.W., HANWAY, J.J. e BENSON, G.O., 1993). A dispersão dos dados no gráfico em altas produtividades é explicada já que este estágio fenológico é iniciado quando os estilos-estigmas estão visíveis, para fora das espigas (EMBRAPA, 2006). Assim, sua coloração pode interferir diretamente na refletância da região do vermelho, diminuindo seus valores e não condizendo com a baixa produtividade da planta.

Também apresentou média correlação o cruzamento da produtividade com a banda do infravermelho próximo, que resultou em  $R^2 = 0,38$ , como visto na Figura 5 - C. O resultado apresentado ficou abaixo do previsto na revisão bibliográfica. Para Jorge e Inamasu (2014), o infravermelho próximo é a banda mais sensível para identificar o estresse nutricional, os indicadores fisiológicos e a estrutura do dossel com imagens.

O resultado encontrado não foi ao encontro do apresentado por Fernandes, Wendling e Bona (2015), que obtiveram um índice de correlação da banda do infravermelho próximo do satélite Landsat 8 com a produtividade de milho de  $R^2 = 0,80$ . Uma causa para esta distinção pode ser a diferença de resolução espacial dos sensores com influência direta da estrutura do dossel da



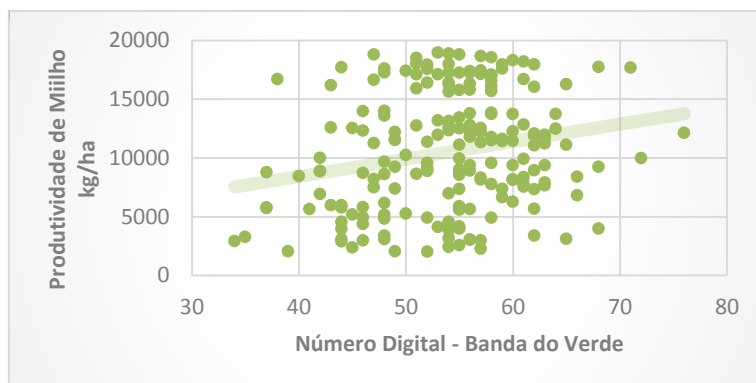
planta, sendo que a resolução espacial do Landsat 8 é de 30 m, e a resolução espacial do sensor da RPA é de 0,7 m.

O cruzamento dos resultados de produtividade com a banda do infravermelho termal resultou em  $R^2 = 0,68$  (Figura 5 - D), significando alta correlação. Analisando tal gráfico podemos perceber que a equação subestima os dados de alta produtividade, enquanto que nos dados de média produtividade os números digitais foram mais dispersos da linha de tendência. Fernandes, Wendling e Bona (2015), obtiveram alta correlação dos dados de produtividade de milho com a banda 11 do infravermelho termal do satélite Landsat 8, com  $R^2 = 0,73$ .

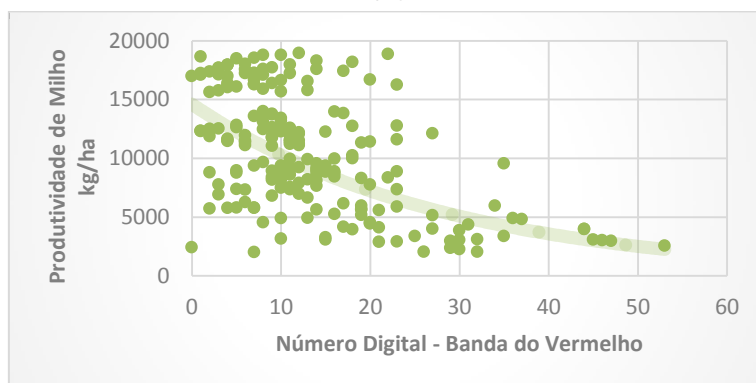
Jorge e Inamasu (2014) mencionam que os indicadores de estresse da planta podem ser detectados pelas câmeras termais, visto que estas registram o aumento de temperatura da planta conforme a condição de estresse hídrico. A avaliação dos dados de alta refletância no gráfico da Figura 5 - D da banda do termal no experimento, em que se observa baixa produtividade, vai ao encontro da tese dos autores, segundo a qual o aumento de temperatura e estresse da planta aumentam a refletância.

Observando-se também o resumo estatístico apresentado na Tabela 1, verifica-se que a banda do infravermelho termal é a que possui maior índice de correlação com os dados de produtividade de milho, sendo capaz de estimar a produtividade de forma adequada. Araújo, Vettorazzi e Molin (2005) utilizaram videografia aérea multiespectral para estimar a produtividade das culturas de trigo e soja e encontraram maior correlação da banda do infravermelho próximo e da banda do vermelho.

Figura 52 – Gráfico de dispersão dos dados de produtividade de milho cruzados com as bandas do mosaico das imagens da RPA.

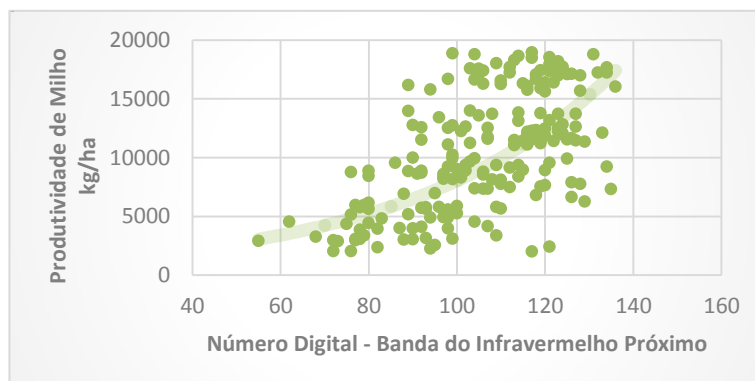


(A)

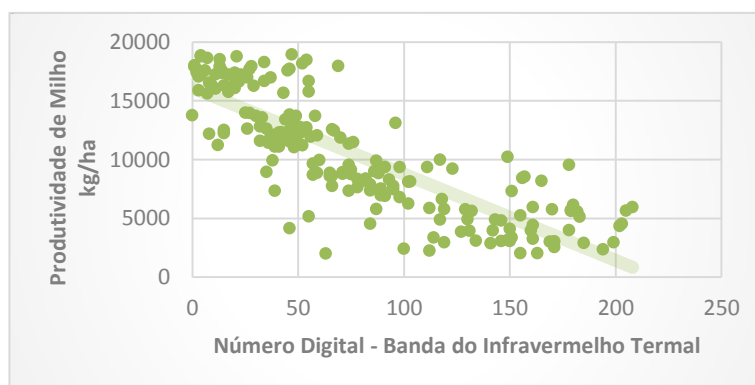


(B)

Continua na próxima página



(C)



(D)

(A) Banda do Verde; (B) Banda do Vermelho; (C) Banda do Infravermelho Próximo; (D) Banda do Infravermelho Termal.

Fonte: Autores.

Tabela 1 – Resumo das equações de análise de regressão geradas e índices de correlação de Pearson

Variável	Equação	R <sup>2</sup>
Banda do Verde	$y = 148,5134x + 2490,8246$	0,05
Banda do Vermelho	$y = 14607,5507e^{-0,0352x}$	0,37
Banda do Infravermelho Próximo	$y = 941,4351e^{0,0215x}$	0,38
Banda do Infravermelho Termal	$y = -73,4170x + 16099,7610$	0,68

Fonte: Autores.

## 4 CONCLUSÃO

Realizado o presente trabalho, conclui-se que é possível estimar a produtividade de milho através da utilização de imagens multiespectrais de aeronave remotamente pilotada, com ênfase para a alta correlação da banda do infravermelho termal, quando comparada com as bandas da região do visível. Além disso, a utilização de tais imagens proporciona o monitoramento da produtividade de milho antecipadamente a sua colheita, tornando-se uma importante ferramenta para a agricultura de precisão.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. C.; VETTORAZI, C. A.; MOLIN, J. P. **Estimativa da produtividade e determinação de zonas de manejo, em culturas de grãos, por meio de videografia aérea multiespectral.** Maringá. 2005. Acta Scientiarum Agronomy, v. 27, n. 3, p. 437-447.

BLYENBURGH, P. V. **VANTs: an Overview.** Air and Space Europe Vol. I no 5/6. 1999.

CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA – CIB. Guia Do Milho: **Tecnologia do campo à mesa.** 2006. Disponível em: [http://www.cib.org.br/pdf/guia\\_do\\_milho\\_CIB.pdf](http://www.cib.org.br/pdf/guia_do_milho_CIB.pdf). Acesso em 26 de Agosto de 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Observatório Agrícola. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Grãos.** V.4 Safra 2016/2017. nº 11 – Décimo primeiro levantamento: Agosto 2017. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_08\\_10\\_11\\_27\\_12\\_boletim\\_graos\\_agosto\\_2017.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_08_10_11_27_12_boletim_graos_agosto_2017.pdf).

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO – DECEA. Portaria DECEA no 282/DGCEA, de 22 de dezembro de 2016. Disponível em: [https://www.cobra.org.br/banco\\_imagens/arquivos/publica%C3%A7%C3%A3o\\_decea\\_ica\\_100-40.pdf](https://www.cobra.org.br/banco_imagens/arquivos/publica%C3%A7%C3%A3o_decea_ica_100-40.pdf). Acesso em: 19 de setembro de 2017

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro: 1999. 412p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Milho e Sorgo. **Fisiologia da Produção de Milho.** Circular Técnica 76. Sete Lagoas, MG. 2006. 10 p. Disponível em: [http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2006/circular/Circ\\_76.pdf](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2006/circular/Circ_76.pdf). Acesso em 10 jun. 2016.

FERNANDES, P.; WENDLING, A.; BONA, S. D. **Correlação Da Produtividade De Milho Em Pivô Com As Bandas Do Satélite Landsat 8.** 3º Congresso Sul-Americano de Agricultura de Precisão e Máquinas precisas. Não-Me-Toque. 2015.

FLORENZANO, T. G. Iniciação em Sensoriamento Remoto. 2 ed. São Paulo: Ed. Oficina de Texto. 2007. 101 p.

FLORENZANO, T. G. Iniciação em Sensoriamento Remoto. 3 ed. São Paulo: Ed. Oficina de Texto. 2011. 128 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Estações e Dados.** Brasília, 2016. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/>. Acesso em 10 jul. 2016.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** Tradução de J. C. N. Epiphany. São José dos Campos, SP. Parênteses: 2009. 598 p. (Prentice Hall Series in Geographic Information Science). Tradução de: Remote Sensing of the environment: na earth resource perspective. 2. ed.

JORGE, L. A. C., INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em Agricultura de Precisão. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Agricultura**

**de Precisão:** resultado de um novo olhar. Brasília, DF 2014. 596 p. Disponível em <https://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/redeap2>. Acesso em 05 set. 2017.

KÖPPEN, W. **Climatologia**. México, Fundo de Cultura Econômica. 1931.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Uniderp, 2007. p. 881

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Milho**. 2010. Disponível em:  
<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/milho>. Acesso em 16 de Agosto de 2017.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 3. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2005. 320 p.

PONZONI, F. J., SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos, SP: Ed. A. Silva Vieira, 2007. 135 p.

RITCHIE, S.W., HANWAY, J.J., BENSON, G.O. **How a corn plant develops**. Iowa State University of Science and Technology Cooperative Extension Service, Ames, 1993.

SHIRATSUCHI, S. S. et al. Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Agricultura de Precisão:** resultado de um novo olhar. Brasília, DF 2014. 596 p. Disponível em <https://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/redeap2>. Acesso em 10 jan. 2016.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. p. 222

## ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DO ALGODOEIRO POR MEIO DO PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS

### *Cotton yield estimation by digital image processing*

Danilo Tedesco de Oliveira<sup>1</sup>, Rouverson Pereira da Silva<sup>1</sup>, Edson Massao Tanaka<sup>2</sup>, Marco José Bueno de Oliveira<sup>2</sup>, Rafael de Graaf Correa<sup>1</sup>, Marco Antônio Vrech<sup>1</sup>, Luan Pereira de Oliveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola – LAMMA, UNESP/FCAV, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, 14.884-900, Jaboticabal – SP, Brasil, [danielotedesco@outlook.com](mailto:danielotedesco@outlook.com); [rouverson@gmail.com](mailto:rouverson@gmail.com); [rafadegraaf@gmail.com](mailto:rafadegraaf@gmail.com); [marcovrech@gmail.com](mailto:marcovrech@gmail.com); [luanoliveirax@gmail.com](mailto:luanoliveirax@gmail.com)

<sup>2</sup> Grupo de Estudos de Colheita Mecanizada – FATEC Pompeia, Av. Shunji Nishimura, 605, 17.580-000, Pompeia – SP, Brasil, [tanaka@fatecpompeia.edu.br](mailto:tanaka@fatecpompeia.edu.br); [marcos.bueno@fcbempresas.com.br](mailto:marcos.bueno@fcbempresas.com.br)

## RESUMO

As colhedoras de algodão cada vez mais estão com tecnologias embarcadas para automação da máquina e aquisição de dados, porém a máquina ainda não realiza uma colheita inteligente realizando regulagens de acordo com a produtividade da cultura, para isso seria necessário estimar a produtividade da cultura. Com base nesse contexto, teve por objetivo nesse trabalho utilizar técnicas de processamento de imagens digitais, para realizar contagem de capulhos de algodão e assim estimar a produtividade da cultura. As amostras de produtividade foram coletadas em 20 pontos amostrais, cada ponto foi composto por uma linha de 5 metros. As produtividades foram estimadas por três metodologias: direta, indireta e automatizada. Os resultados apresentaram que a metodologia automatizada pelo processamento de imagens digitais é tão eficiente quanto a metodologia indireta, onde foi possível realizar a contagem de capulhos de algodão e estimar a produtividade da cultura.

**Palavras-chave:** Reconhecimento de Padrões. Colheita de Precisão.

## ABSTRACT

As cotton harvesters increasingly are with embedded machines for machine automation and data acquisition, but a machine is not yet a company that works with a crop yield, for this it is necessary to estimate a crop yield. Based on the context, the objective was to work using digital image processing techniques to perform counting of cotton chapters and thus estimate crop yield. As yield samples were collected at 20 points, each point was composed of a 5-meter line. As yield were estimated by three methodologies: direct, indirect and automated. The results presented an automated methodology for digital image processing and as efficient as an indirect methodology, where it was possible to count cotton chapters and estimate crop yield.

**Keywords:** Pattern Recognition. Precision Harvesting.

## 1 INTRODUÇÃO

A colheita é a última etapa do processo de produção no campo, é o momento em que o produtor aguarda o retorno de seus investimentos e trabalho, porém em muitos casos não se obtém maiores rendimentos por falta de condições adequadas para operação (Silva, Ferreira e Cassia, 2011).

Alguns fatores estão relacionados diretamente com redução da produtividade na operação da colheita, como o treinamento de operadores e demais funcionários, condições de colheita, regulagens da máquina e fatores climáticos (Santos et al., 2005).

O monitoramento da colheita por meio de sensores instalados nos órgãos ativos da máquina permite o agricultor ter uma visualização espacial e temporal de alguns problemas relacionados a diretamente a colheita, entre eles podemos citar a velocidade de operação da máquina, consumo de combustível, rotação do motor, temperatura do motor, umidade e produtividade da cultura, porém essas informações são geradas posteriormente da realização da

colheita e esses dados serão analisados apenas depois do processo ser realizado para a correção em uma futura safra.

As condições de colheita que se encontra uma lavoura é um dos fatores mais difíceis de se ter uma visualização espacial previamente em uma lavoura, para garantir o sucesso em uma colheita o ideal seria obter um mapa de produtividade antes que a colheita fosse realizada, para que a máquina realizasse a colheita de acordo com essa produtividade.

Uma forma de se obter o mapa de colheita previamente, consiste em estimar a produtividade da lavoura algodoeira ponto a ponto, com o georreferenciamento e análises geoestatísticas. Trabalhos realizados demonstram a importância de se estimar a produtividade de uma cultura e os benefícios que podem ser obtidos na operação de colheita e pós-colheita.

Maldonado Jr. e Barbosa (2016) desenvolveram um algoritmo para realizar a contagem automática de frutos verdes por meio do processamento de imagens digitais de laranjeiras de diversas variedades e idades, com esses resultados é foi possível definir um melhor planejamento para colheita e pós-colheita obtendo um grande potencial de ganho econômico e operacional.

Nessa mesma linha Payne et al. (2013), desenvolverão um algoritmo para identificação de frutas dentro de imagens de um dossel de manga, com base na utilização RGB em condições da luz do dia nublado e no uso de filtros na forma, textura e cor para frutos. No entanto, este estudo tratou de frutas próximas à maturidade da colheita e, conseqüentemente, com mais, e consistente, "corar" (coloração vermelha) no fruto do que é encontrado no estágio de endurecimento de pedra. Ao endurecimento de pedra, as frutas podem ser meio verde e com cor prateada de cor laranja ou verde.

Em 2014 os mesmos autores repetirão o experimento, porém desta vez tomando imagens durante a noite sob iluminação artificial, e obteve o resultado que a iluminação artificial durante a noite proporciona condições de iluminação mais consistentes do que a luz do dia para a aplicação da contagem de frutas usando o algoritmo.

Neste contexto, as imagens digitais têm sido incorporadas com sucesso nesse campo, em que o processamento de imagens se torna uma ferramenta fundamental para realizar essa estimativa. Com base nesse contexto, teve por objetivo nesse trabalho utilizar técnicas de processamento de imagens digitais, para realizar contagem de capulhos de algodão e assim estimar a produtividade da cultura.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em uma lavoura de algodão, em uma área de 8,7 hectares, pertencente à Fazenda Campo Bom, no município de Chapadão do Céu localizado no estado de Goiás, próximo as coordenadas 18°36'55.8"S, 52°38'11.6"W. As amostras de produtividade foram coletadas em 21 pontos amostrais, cada ponto foi composto por uma linha de 5 metros.

Para cálculo e estimativa da produtividade foram utilizadas duas metodologias normalmente utilizadas por agricultores, direta (MD) e indireta (MI) que são vastamente utilizadas por produtores. Na metodologia MD, onde se obtém a produtividade real do campo, foi realizada a colheita manual das plumas do algodoeiro e posteriormente calculado a produtividade em kg ha<sup>-1</sup> por meio da Equação 1.

$$MD = PTPL(5m) \times \left( \frac{10.000}{E} \right) \text{ Eq. 1}$$

Onde: PTPL = Peso total das plumas na linha;  
E = Espaçamento entre linhas de semeadura

Para a metodologia MI, nos mesmos pontos foram coletadas as plumas de 4 capulhos do terço médio da planta para obter o valor médio de peso da pluma e o número de capulhos

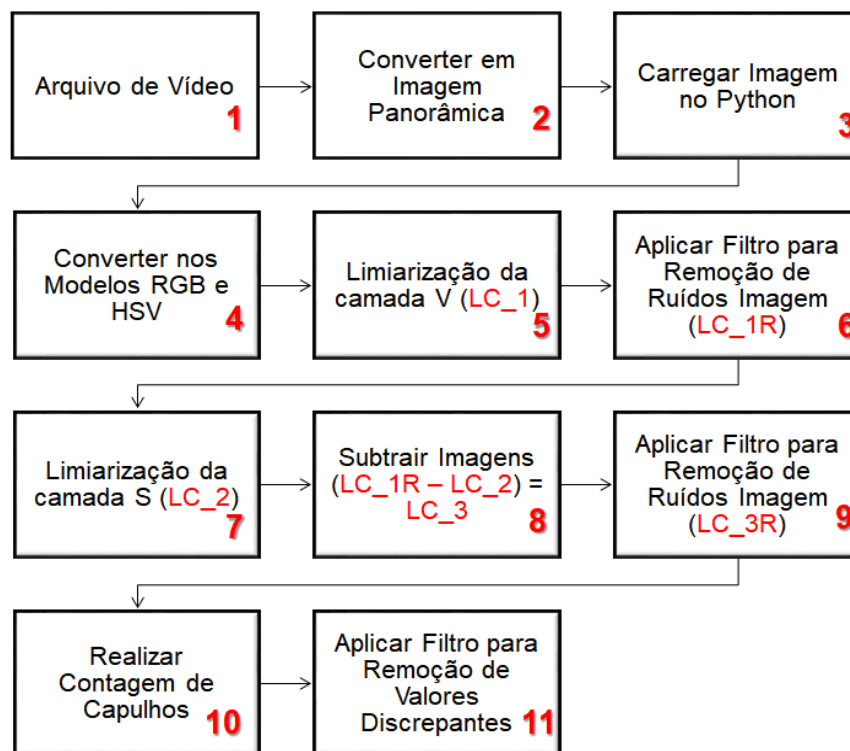
presente nos 5 metros. A partir da Equação 2 foi possível estimar a produtividade do algodoeiro sem remover uma grande quantidade de pluma da planta.

$$MI = PMC(5m) \times \left( \frac{10.000}{E} \right) \text{ Eq. 2}$$

Onde: PMC = Peso médio das plumas de 4 capulhos  
E = Espaçamento entre linhas de semeadura

Uma nova metodologia foi desenvolvida chamada T-HARVEST (MTH), sendo essa automatizada, exemplificada pela Figura 1. A produtividade é calculada e estimada semelhante a MI, porém nessa metodologia são utilizadas imagens digitais para realizar essa estimativa, a qual será descrita nos próximos tópicos.

Figura 1 - Diagrama de fluxo do processamento de imagem para contagem de capulhos.



## 2.1 AQUISIÇÃO DE IMAGENS

Para aquisição das imagens, em cada ponto amostral foi realizado uma filmagem com auxílio de uma câmera de 8Mp na resolução 1080P a 30 FPS em uma altura padronizada de 1,50 (m), com intuito de visualizar todas plantas que estavam no comprimento dos 5 metros. Os arquivos foram salvos na memória do celular que, por sua vez, foi conectado ao computador onde as imagens foram salvas, para dar continuidade ao processamento.

## 2.2 PRÉ-PROCESSAMENTO

A primeira etapa foi converter o arquivo de vídeo em uma imagem panorâmica (Figura 2) nas etapas (1 e 2 da Figura 1), para isso utilizou-se o programa Image Composite Editor (ICE) no qual foi importado o arquivo de vídeo e convertido em imagem panorâmica no formato JPG.

Figura 2 – Imagem panorâmica pronta para o processamento.



### 2.3 PROCESSAMENTO

Posteriormente a imagem foi carregada no programa PyCharm linguagem de programação em Python e dado início ao processamento, começando pela conversão da imagem original nos modelos de cores RGB e HSV (etapas 3 e 4 da Figura 1). Esses modelos de cores têm como propósito facilitar a exibição ou especificação de cores de acordo com um determinado padrão.

Sendo assim, um modelo de cores é uma especificação de um sistema de coordenadas tridimensionais e um subespaço dentro desse sistema, onde cada cor é representada por um único ponto (GONZALEZ e WOODS, 2000). O modelo padrão em que imagens digitais são tomadas e armazenadas é o RGB (*Red, Green, Blue*). Neste trabalho será utilizada a conversão para o modelo HSV (*Hue, Saturation, Value*, ou Matiz, Saturação e Valor).

Nesse modelo, o primeiro valor descreve uma cor pura, o segundo uma medida do grau de pureza dessa cor (variando de totalmente preto a totalmente pura) e o terceiro representa o brilho daquele ponto. Os valores de H, S e V foram obtidos por meio da conversão do modelo RGB, dada por:

$$\begin{aligned}
 R' &= R/255 \\
 G' &= G/255 \\
 B' &= B/255 \\
 C_{max} &= \max(R', G', B') \\
 C_{min} &= \min(R', G', B') \\
 \Delta &= C_{max} - C_{min}
 \end{aligned}
 \quad
 H = \begin{cases}
 0^\circ, & \text{se } \Delta = 0 \\
 60^\circ \times \left( \frac{G' - B'}{\Delta} \bmod 6 \right), & \text{se } C_{max} = R' \\
 60^\circ \times \left( \frac{B' - R'}{\Delta} + 2 \right), & \text{se } C_{max} = G' \\
 60^\circ \times \left( \frac{R' - G'}{\Delta} + 4 \right), & \text{se } C_{max} = B'
 \end{cases}$$

$$S = \begin{cases}
 0, & \text{se } C_{max} = 0 \\
 \frac{\Delta}{C_{max}}, & \text{se } C_{max} \neq 0
 \end{cases}$$

$$V = C_{max}$$

#### 2.3.1 LIMIAZIZAÇÃO DAS CAMADAS V E S

Assumindo-se que a cada pixel da imagem é atribuído um valor numérico inteiro (valor do nível de cinza), é possível elaborar um histograma de níveis de cinza, indicando as frequências em que cada valor ocorre. A limiarização global simples consiste no particionamento do histograma por um limiar arbitrário.

A segmentação é então efetuada, varrendo-se a imagem pixel a pixel e rotulando-se cada



um como pertencente a uma das duas classes obtidas no particionamento do histograma (GONZALEZ e WOODS, 2000). De uma maneira mais abrangente, a limiarização pode ser definida como uma operação que testa uma função T da forma:

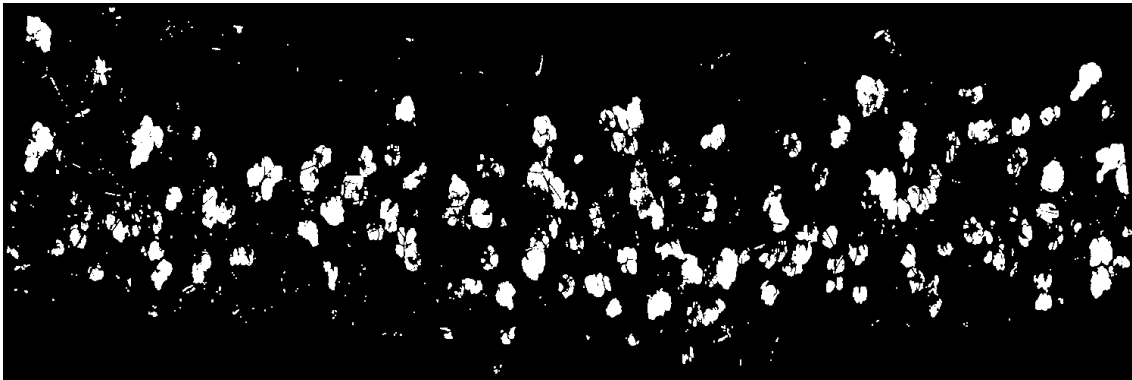
$$T = T[x, y, p(x, y), f(x, y)]$$

Onde  $f(x, y)$  é o nível de cinza do ponto  $(x, y)$  e  $p(x, y)$  se refere a uma propriedade local desse ponto, como o nível de cinza médio de uma vizinhança com centro em  $(x, y)$ . A imagem limiarizada  $g(x, y)$  é então:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{se } f(x, y) > T \\ 0, & \text{se } f(x, y) \leq T. \end{cases}$$

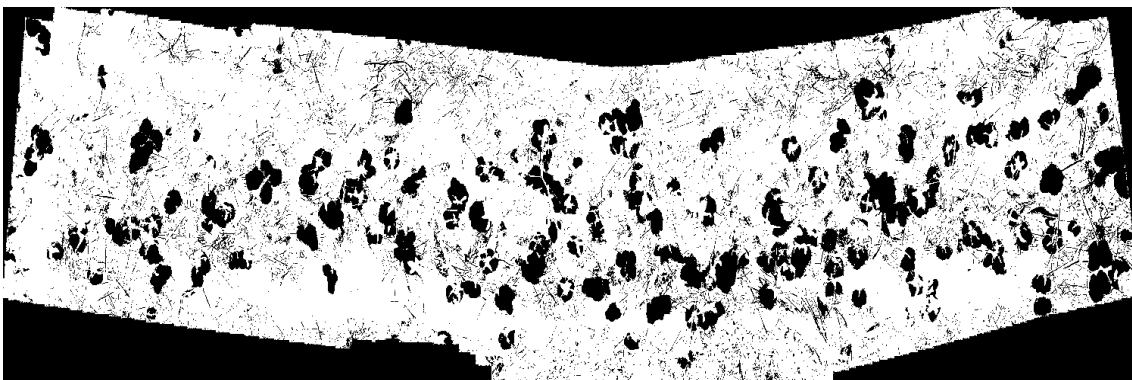
Após a conversão para o modelo de cores HSV, o segundo canal do modelo (Value, ou brilho da imagem) foi utilizado para a limiarização, removendo-se as faixas de valores referentes aos tons cinzas escuro das imagens, responsáveis por representar solo, galhos e planta. Após essa limiarização foi aplicado um filtro para remoção de ruídos da imagem capaz de remover pequenos objetos da imagem (etapas 5 e 6 da Figura 1), representada pela Figura 3.

Figura 3 - Imagem modelo V limiarizada e aplicado filtro para remoção de ruído (LC\_1R).



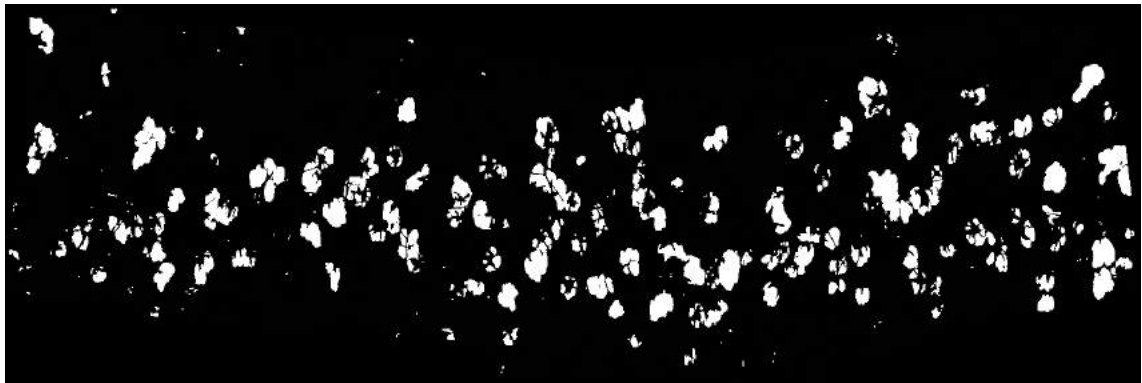
O terceiro canal do modelo (S, Saturação ou cores fortes da imagem) foi aplicado a limiarização (etapa 7 Figura 2), para remover o fundo da imagem e dar destaque aos capulhos do algodão, representado pela Figura 4.

Figura 4 - Imagem modelo S limiarizada e aplicado filtro para remoção de ruído (LC\_2).



Após a limiarização foi realizado uma subtração da imagem LC\_1R pela imagem LC\_2, gerando uma nova imagem LC\_3 e em sequência aplicado um filtro para remoção do ruído da imagem (etapas 8 e 9 da Figura 1), representado na Figura 5.

Figura 5 - Imagem processada pronta para realizar a contagem de capulhos.

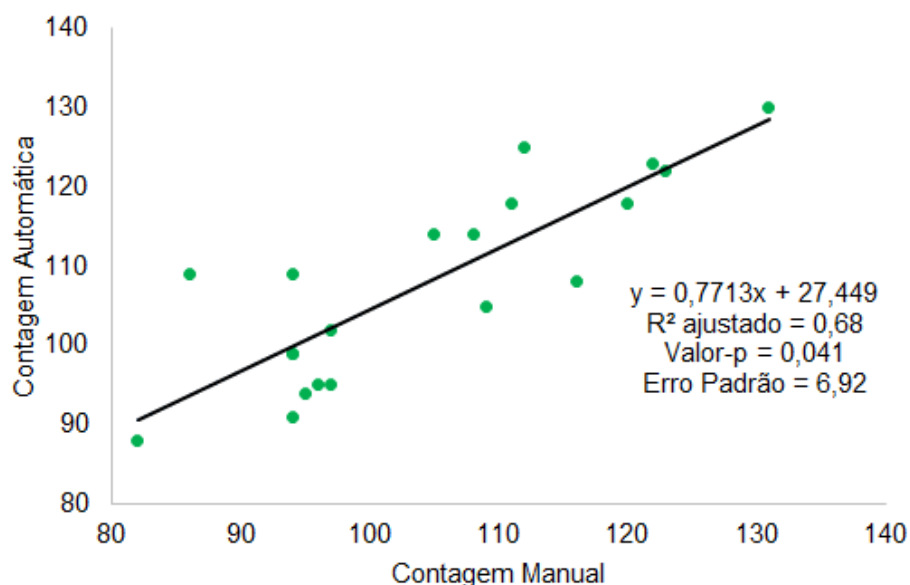


A parte final do processamento foi aplicar um script para contagem de capulhos filtrando pelo tamanho de pixel de cada objeto encontrado na imagem, onde seria realizado a contagem apenas de pixels maiores que 50. Os dados obtidos foram submetidos à ANOVA e regressão. Ainda, estas variáveis foram submetidas à análise de correlação simples de Pearson (r) para validar o procedimento de contagem de capulhos e estimativa da produtividade pela metodologia T-HARVEST comparando com as MD e MI.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando a correlação entre o método de contagem de manual de capulhos a campo e o método contagem automatizado por meio do processamento das imagens digitais (Figura 6), houve efeito significativo obtendo o valor-p de 0,041 e o coeficiente de determinação ajustado  $R^2$  de 0,68, ou seja, 68% da variação existente pela contagem automática é explicada pelo método de contagem manual.

Figura 6 - Gráfico comparativo do método automático pelo método manual.

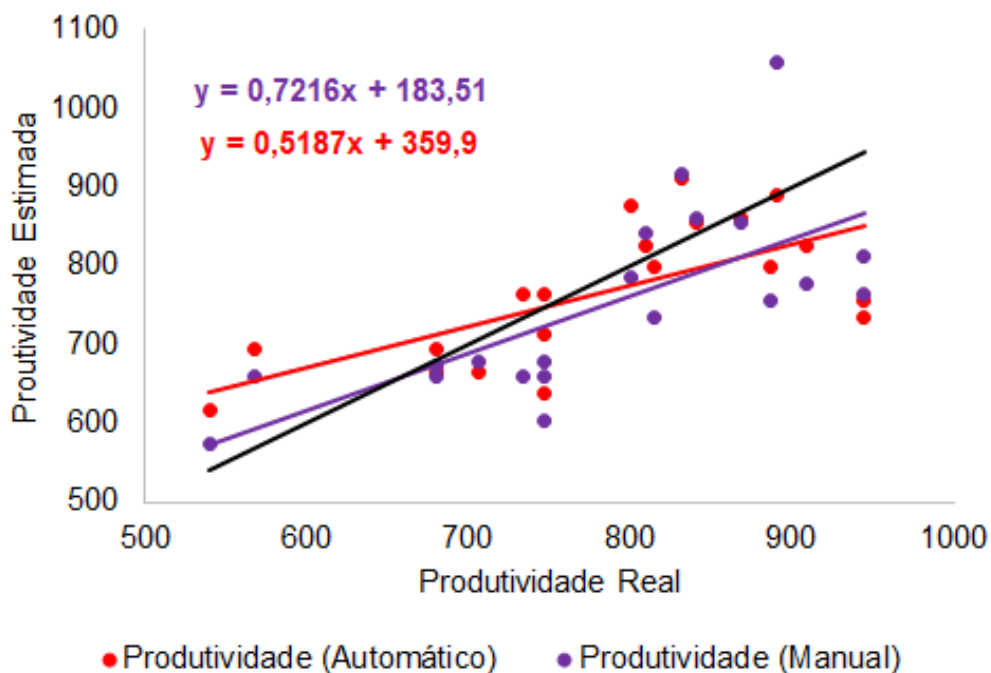


A utilização das técnicas de processamento de imagens digitais também foi empregada com sucesso na estimativa da contagem de frutos verdes de laranjas em que de modo geral o método automático obteve 49% de identificação correta dos frutos (Maldonado Jr. e Barbosa, 2016). Resultados semelhantes também foram encontrados por Kurtulmus et al. (2011), que encontrarão em seu método de processamento 40,3% de identificações corretas de frutos verdes de laranja.

Levando em consideração que o peso médio de pluma de 4 capulhos foi de 7 gramas e o erro padrão entre o método automático para o manual foi de 6,92 capulhos, estima-se que com os erros máximos positivos e negativos do método para estimativa de produtividade do algodão é de 49 gramas.

Posteriormente o número de capulhos contado pelos dois métodos MI e MTH foi multiplicado pelo peso médio dos 4 capulhos, e em seguida comparado ao método de quantificação real da produtividade da cultura, conforme ilustra a Figura 7.

Figura 7 - Gráfico comparativo da estimativa de produtividade método automático, manual e real.



Na Tabela 1, o coeficiente de determinação ajustado R<sup>2</sup>, foi calculado de acordo com Cornel e Berger (1987).

Tabela 1 - Tabela da estimativa de produtividade através dos métodos MI e MTH

Método	Equações	R <sup>2</sup> ajustado	Erro Padrão	Valor-p
MI	Y = 0,7216 x + 138,51	0,46	86,51	0,201502
MTH	Y = 0,5187 x + 359,90	0,42	67,39	0,003664

O método MI apresentou um valor de 4% superior ao método MTH, entretanto, o valor do erro padrão no método MI foi maior que o método MTH em 19,12 gramas estimadas. O valor-p do método MI não foi significativo sendo maior que 0,05 indicando que a regressão não representa o comportamento dos dados, ou seja, não é o modelo ideal para estimar a produtividade, já no método MTH o valor-p foi menor do que 0,05 indicando que a regressão é

significativa e pode ser utilizada para estimar a produtividade. Com o sucesso desse trabalho o próximo passo será utilizar imagens aéreas da área total de um talhão e realizar a estimativa refinando o algoritmo desenvolvido para o processamento das imagens.

## 4 CONCLUSÃO

O método de processamento de imagens digitais se mostrou eficiente para realizar a contagem de capulhos de algodão uma vez que o método automático MTH apresentou erros inferiores ao método indireto MI nas estimativas de produtividade. O modelo proposto neste estudo (MTH) englobou 42% da variabilidade dos dados de campo quando aplicados a cultura do algodão e nas condições específicas da área de estudo.

## REFERÊNCIAS

A, PAYNE; K. WALSH; P. SUBEDI; D. JARVIS. Estimation of mango crop yield using image analysis segmentation method. **Computers and Eletronics in Agriculture**, v.91, p.57-64, 2013.

A, PAYNE; K. WALSH; P. SUBEDI; D. JARVIS. Estimating mango crop yield using image analysis using fruit at 'stone hardening' stage and night time imaging. **Computers and Eletronics in Agriculture**, v.100, p.160-167, 2014.

CORNELL, J.A.; BERGER, R.D. Factors that influence the coefficient of determination in single linear and nonlinear models. **Phytopathology**, v.77, p.63-70, 1987.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. Processamento de Imagens Digitais, tradução do original **Digital Image Processing**, Edgard Blucher, 2000.

KURTULMUS, F.; LEE, W. S.; VARDAR, A. Green citrus detection using 'eigenfruit', color and circular Gabor texture features under natural outdoor conditions. **Computers and Eletronics in Agriculture**, v.78, p.140-149, 2011.

MALDONADO JR., W; BARBOSA, C. J. Automatic green fruit counting in orange trees using digital images. **Computers and Eletronics in Agriculture**, v.127, p.572-581, 2016.

SANTOS, J.B.; FREIRE, E.C.; PEDROSA, M.B.; SILVA FILHO, J.L.; FERREIRA, G.B.; TAVARES, J.A.; ALENCAR, A.R.; EVANGELISTA, R.C.C.; OLIVEIRA, W.P. 2005. Avaliação da Perda em Produtividade de Cultivares de Algodoeiro em Função da Colheita Mecanizada no Oeste da Bahia. In: **Congresso Brasileiro de Algodão 5**. Salvador, Brasil.

SILVA, R. P.; FERREIRA, C. I; CASSIA, T. M. Perdas na colheita mecanizada de algodão, **Scientia Agropecuaria**, v.2, p. 07-12, 2011.

# GERAÇÃO DE UM BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS EM SISTEMA AGROFLORESTAL SILVIBANANEIRO NO LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

*Generation of a geographic database in agroforestry system on the North Coast of Rio Grande do Sul, Brazil*

Lúcio de Paula Amaral<sup>1</sup>, Regiane Aparecida Ferreira<sup>2</sup>, Elódio Sebem<sup>3</sup>, André Luis Rodrigues Gonçalves<sup>4</sup>, Cristiano Motter<sup>5</sup>

<sup>1</sup> PPGAP; DER-CCR/UFSM, Av, Roraima, n. 1000 – Prédio 44J. sala 213, 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, [amaralufsm@gmail.com](mailto:amaralufsm@gmail.com)

<sup>2</sup> Engenheira Florestal, Rua Cinco de Março, n. 104, 97105-300, Santa Maria – RS, Brasil, [rezinhafajar@gmail.com](mailto:rezinhafajar@gmail.com)

<sup>3</sup> PPGAP; Colégio Politécnico/UFSM, Av, Roraima. n. 1000 – Prédio 70. Sala 212, 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, [elodiosebem@politecnico.ufsm.br](mailto:elodiosebem@politecnico.ufsm.br)

<sup>4</sup> Centro Ecológico, Dom Pedro de Alcântara, RS; IFSC, Campus Sombrio – SC, Brasil, [andrelzg@gmail.com](mailto:andrelzg@gmail.com)

<sup>5</sup> Centro Ecológico, Rua Padre Jorge, n. 51, 95.568-000, Dom Pedro de Alcântara-RS, Brasil, [motter.cristiano@gmail.com](mailto:motter.cristiano@gmail.com)

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi gerar um banco de dados geográficos (BDG) para sistema de informação geográfico (SIG), localizando as árvores de um sistema agroflorestal (SAF) silvibananeiro, em Três Cachoeiras, RS, Brasil. O limite do SAF foi obtido com receptor GNSS de navegação. Realizou-se inventário florestal pelo método da sexta árvore de Prodan, com 32 pontos amostrais (PA) georreferenciados. As distâncias dos PA até as árvores foram medidas com trena e o azimute com bússola, para realizar o transporte de coordenadas dos PA no plano topográfico, até as respectivas árvores. Nos PA foram identificadas as espécies e as famílias das árvores e mensurados suas circunferências a altura do peito (cap) e alturas totais. Os dados foram tabulados em planilha eletrônica e importados para o SIG *Arc Map 10.1*®, onde foram espacializados e criados *shapefile* de pontos. Com o limite gerou-se um *shapefile* de feição poligonal. O BDG criado foi considerado adequado e satisfatório para caracterizar o SAF no SIG. Em estudos posteriores serão estimadas e interpoladas as variáveis biomassa, estoque de carbono e diversidade de espécies, como serviços ambientais neste SAF.

**Palavras-chave:** Floresta de precisão. Agricultura de precisão. Agroflorestas.

## ABSTRACT

The objective of this paper was to generate a geographic database for geographic information system (GIS), locating the trees of a agroforestry system, in Três Cachoeiras, RS, Brazil. The agroforestry limit was obtained with GNSS navigation receiver. A forest inventory was carried out using the Prodan sixth tree method, with 32 georeferenced sample points (SP). The distances from the SP to the trees were measured with tapeline and the azimuth with compass to carry the coordinates of the SP in the topographic plane, to the respective trees. In SP the species and the families of the trees were identified and their measured circumferences at breast height and total heights. The data were tabulated in spreadsheet and imported into the *Arc Map 10.1*® GIS, where spatial and point shapefile were created. With the agroforestry limit a shapefile of polygonal feature was generated. The geographic database created was considered adequate and satisfactory to characterize the agroforestry in the GIS. In later studies, the variables biomass, carbon stock and species diversity, as environmental services in this agroforestry, will be estimated and interpolated.

**Keywords:** Precision forest. Precision agriculture. Agroforestry.

## 1 INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura destaca quatro principais tipos de serviços ambientais providos por agroecossistemas, sendo a conservação

da biodiversidade, o sequestro de carbono, a produção de água e a atenuação das mudanças climáticas (FAO, 2007). Um exemplo destes agroecossistemas são os sistemas agroflorestais (SAFs).

Os SAFs são sistemas inteligentes e diversificados que produzem alimentos, madeiras, entre outros produtos, que podem aumentar a renda do agricultor reduzir a pressão sobre as florestas nativas, ajudar a conservar e proteger o solo, água, biodiversidade, a fixar carbono, entre outros benefícios (NUNES e VIVAN, 2011; SILVA, 2013). Sistemas agroflorestais são formas de uso ou manejo da terra, nos quais se combinam espécies arbóreas (frutíferas e/ou madeiras) com cultivos agrícolas e/ou criação de animais, de forma simultânea ou em sequência temporal e que promovem benefícios econômicos e ecológicos, que podem ser considerados serviços ambientais. O sistema silvibananeiro constitui um dos sistemas agroflorestais mais tradicionais no Bioma Mata Atlântica, principalmente no litoral do Brasil, sendo constituído pelo manejo de bananais sob a sombra de árvores de florestas nativas. Assim, estes SAFs ocorrem de forma abundante no Litoral Norte do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (DUBOIS, 2008; VIVAN, 2002).

Os SAFs na região de Torres, no Litoral Norte do Rio Grande do Sul são constituídos pela implantação e/ou conversão de bananais convencionais em bananais agroflorestais, também denominados de sistemas silvibananeiros, manejados por agricultores familiares com apoio de organizações não governamentais, a exemplo do Centro Ecológico – Litoral Norte, e governamentais. São consórcios variados de bananeiras (*Musa sp*), palmito juçara (*Euterpe edulis Martius*), árvores nativas madeiráveis (louro-pardo, cedro, sobragi), frutíferas, e uma diversificada variedade de plantas não arbóreas nativas e exóticas, manejadas sob a óptica da agricultura ecológica. Várias espécies florestais são oriundas da regeneração natural (aroeira-pimenteira, canelas, alecrim, canjerana, ingás, dentre outras, sendo que algumas são podadas periodicamente para manejar a entrada de luz em períodos críticos e/ou para aumentar a cobertura morta sobre o solo (VIVAN, 2010; DUBOIS, 2008; GARCEZ e COTRIM, 2007; VIVAN, 2002). Segundo Vivan (2002) é feito um controle de sombreamento quando as árvores crescem e ultrapassam as bananeiras.

Como serviços ambientais providos por este uso alternativo da terra destacam-se o estoque de carbono na biomassa florestal, bem como a diversidade de espécies arbóreas presente no sistema. O diferencial dos SAFs é que, em relação aos sistemas convencionais de cultivo, se tem a presença de árvores e todos os benefícios ambientais relacionados a sua presença na área de produção, o que não ocorre nos sistemas convencionais de produção. Porém, estes serviços ambientais devem ser passíveis de mensuração e de localização.

O inventário florestal é utilizado para coletar dados e mensurar a produção florestal, e no caso da associação com mapeamento dos dados do SAFs, o método da sexta árvore de Prodan parece ser adequado. Trata-se de um método de área variável, no qual a probabilidade de seleção das árvores é proporcional à distância das mesmas em relação a um ponto de referência (MOSCOVICH et al., 1999). Com base neste método, dentre outros, sejam de área fixa ou variável, isto é, mediante a utilização de unidades amostrais na forma de pontos, linhas e/ou parcelas, podem ser realizadas estimativas confiáveis de alguns parâmetros da população, tais como volume, número de indivíduos, área basal, florística e fitossociologia pelo fato destes métodos serem adequados para a seleção de árvores (MYERS e BEERS citado por SOUZA et al., 1981; BRITO et al., 2007). Prodan apresentou este método em 1968 em Freiburg, Alemanha, que considera a mensuração de seis árvores e a sua distância ou raio, em relação ao centro do ponto amostral até o centro da sexta árvore como referência para a unidade amostral. A unidade amostral consiste em se medir as seis árvores mais próximas de um ponto amostral, sendo a sexta considerada como meia árvore (MOSCOVICH et al., 1999).

Uma coleta rápida e eficiente de dados permite que se avance em certos aspectos, como por exemplo, obter um melhor entendimento dos SAFs, algo que pode ser realizado com a análise do comportamento espacial dos atributos relacionados às árvores e ao sistema em si. Isso requer o uso de geotecnologias para localização e coleta de dados, armazenamento, edição, análise e geração de informações espaciais. Para tanto, diversas geotecnologias podem ser empregadas tais como, o rastreamento de sinais dos sistemas globais de navegação por

satélites (GNSS), o uso de imagens orbitais por sensoriamento remoto, o emprego de sistemas de informações geográficas (SIG), a criação de banco de dados geográficos (BDG), dentre outras (MONICO, 2008; MOREIRA, 2011; LONGLEY et al., 2013). Neste sentido, o geoprocessamento, mediante o uso das geotecnologias, dá suporte ao que se chama de floresta de precisão, ou ainda Silvicultura de Precisão, e consiste em um conjunto de tecnologias que são utilizadas com o objetivo específico de coletar e tratar informações espaciais. Cada aplicação de geoprocessamento é processada por um sistema específico, recebendo o nome de Sistema de Informações Geográficas.

Os SIG estão difundidos por sua capacidade de auxiliar gestores na tomada de decisão e são aliados na formulação de políticas públicas para gestão do território, análise espacial, agricultura de precisão, análise de zoonoses e epidemias, meio ambiente e gestão dos recursos hídricos, análise sócio-econômica de populações, planejamento urbano e rural, *geomarkting*, cartografia temática, dentre uma infinidade de possíveis aplicações (ANDRADE, 2007; LONGLEY et al., 2013; MIRANDA, 2015). Para Longley et al. (2013) os SIG são sistemas computacionais feitos para armazenar e processar informação geográfica. São ferramentas que melhoram a eficiência e efetividade do tratamento da informação de aspectos e eventos geográficos. Estes sistemas resolvem o antigo problema de combinar conhecimento geral com informação específica, dando valor prático a ambos. Miranda (2015) enfatiza um conceito de SIG no qual é dada importância à análise espacial que pode ser realizada com estes sistemas informatizados, bem como na análise e modelagem, onde SIG é visto mais como uma ciência de informação espacial do que uma tecnologia, onde mesmo havendo limitações nas funcionalidades para análise espacial, está é uma área de maior desenvolvimento dos SIG. Porém, de nada serve um SIG sem um banco de dados geográficos (BDG).

Um banco de dados é um conjunto integrado de dados sobre um determinado assunto. Banco de dados geográficos é simplesmente um banco de dados contendo dados geográficos para uma determinada área e assunto. É uma parte crítica de um projeto operacional baseado em SIG, tanto pelo seu custo de criação e manutenção, quanto sobre seu impacto sobre todas as análises, modelagens e atividades de tomada de decisão (LONGLEY et al., 2013).

Essas geotecnologias podem ser empregadas, por exemplo, para determinar a variabilidade da produção, dos fatores que a condicionam no tempo e no espaço, bem como de outras características dos SAF, para elaborar recomendações de manejo otimizadas e específicas para determinadas zonas dentro da área de cultivo, seja cultivo agrícola ou florestal. Este manejo específico é possível pelo uso de ferramentas especializadas em gestão e visa maximizar a produção e a renda obtida, aplicar de forma eficiente os recursos disponíveis, minimizar os impactos ambientais, dentre outros (VETTORAZZI e FERRAZ, 2000; MAEDA et al., 2014), caracterizando a Silvicultura de Precisão ou ainda Floresta de Precisão.

Maeda et al. (2014) consideram que a silvicultura de precisão pode ter significados diversos em função das especificidades das diferentes áreas da Ciência Florestal. No melhoramento genético pode significar selecionar uma espécie/clone adequada para determinado ambiente, enquanto que para a indústria de base florestal ou derivada que processa a madeira, significa manejar a floresta para obter madeira de qualidade para atender as demandas de mercado e dos diversos processos de beneficiamento.

Já na área ambiental significa ser capaz de manejar uma floresta para otimizar os benefícios ambientais, ou ainda as funcionalidades ecológicas ou serviços ambientais. Na área de fertilidade e manejo de solos para florestas, o manejo da adubação significa aplicar nutrientes nas quantidades requeridas para o adequado desenvolvimento das plantas, conforme a variabilidade na oferta dos mesmos nos locais de desenvolvimento, onde as mudas formarão as árvores de interesse. Esses enfoques distintos direcionam para a abordagem da silvicultura em diferentes níveis de precisão (MAEDA et al., 2014).

Para compreender os fatores que interferem na produtividade das culturas, a variabilidade espacial passou a ser incorporada no manejo da produção agrícola e florestal. As técnicas de estatística espacial são ferramentas eficientes para auxiliar nas especificações do manejo, pois estuda a variabilidade espacial e temporal de solo, planta e clima, propiciando a elaboração de mapas, onde é possível interpretá-las. Com isso, a compreensão dos mapas de

produtividade ou dos atores que a condicionam, se mostra muito viável para averiguação das causas da variabilidade produtiva e da qualidade das culturas, empregadas principalmente na tomada de decisão de manejo (GUEDES FILHO, 2009). No entanto este processo depende da análise espacial, que são realizadas em sistemas de informações geográficas e dependem da existência de um variado banco de dados geográficos para uma determinada área de cultivo, agrícola ou florestal.

O objetivo deste trabalho foi gerar um BDG com a localização das árvores de um SAF silvibananeiro no litoral norte do Rio Grande do Sul para uso em SIG.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema silvibananeiro avaliado localiza-se no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, no município de Três Cachoeiras. A Floresta Ombrófila Densa é a tipologia florestal desta região (IBGE, 2012). O clima é do tipo Cfa, subtropical úmido com verão quente, segundo a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 19°C, e médias mensais variando entre 15,3 e 24,5 °C. A precipitação média anual fica em torno de 1700 mm (EMBRAPA, 2011). Os solos são predominantemente argilosos (podzólico), originados do basalto. O relevo é fortemente ondulado, com boa drenagem e afloramento de rochas em vários pontos (VIVAN, 2002).

Foram instaladas no SAF 32 unidades amostrais pontuais segundo a metodologia da sexta árvore de Prodan (Brito et al., 2007), pelo fato desta metodologia permitir dispor unidades amostrais sobre a população de forma a contemplar todas as regiões em comparação a métodos que utilizam unidades de maior área e/ou área fixa, o que é um aspecto positivo, do ponto de vista da análise espacial, para a coleta de dados e geração de um BDG. Todos os pontos amostrais (PA) instalados foram localizados com uso de receptor GPS de navegação modelo 66 CSX da marca Garmin®, com erro de posição horizontal da ordem de 5 – 15 m, bem como os limites do SAF, com uso de coordenadas projetadas do tipo Universal Transversa de Mercator (UTM), relativa ao Fuso 22S, Meridiano Central 51° W e sistema de referência espacial WGS 84, obtendo assim as coordenadas métricas E (m) e N (m) de todos os pontos amostrais, sendo uma adaptação do método, por georreferenciar todas as árvores medidas.

Estes dados foram descarregados do receptor para o computador com uso do programa TrackMaker Profissional®, sendo as coordenadas exportadas em arquivos de texto, para posterior tabulação em planilhas eletrônicas juntamente com os demais dados, e importação para o sistema de informação geográfica (SIG) Arc Map® versão 10. Os pontos amostrais foram distribuídos de forma aleatória no SAF. A partir destas posições, primeiramente definidas no terreno, foram medidos azimute com bússola militar de precisão de 2,5°, e distância com trena, até as seis árvores mais próximas em relação aos respectivos PA – método de Prodan. Na planilha eletrônica gerada com as coordenadas UTM foram realizados os transportes de coordenadas destes PAs georreferenciados até cada árvore, pelas seguintes fórmulas oriundas da topografia:

$$E(m)_{arv_i} = E(m)_{PA_i} + dh_{PA_i-arv_i} \cdot \text{sen}(AZ_{PA_i-arv_i} + \delta) \quad (1)$$

$$N(m)_{arv_i} = N(m)_{PA_i} + dh_{PA_i-arv_i} \cdot \text{cos}(AZ_{PA_i-arv_i} + \delta) \quad (2)$$

Onde:  $arv_i$  = árvores de 1 a 6 em relação ao ponto amostral;  $PA_i$  = pontos amostrais;  $dh$  = distância horizontal de cada  $PA_i$  até cada árvore;  $\text{sen}$  = seno;  $\text{cos}$  = cosseno;  $AZ$  = azimute (ângulo medido entre norte magnético até a árvore de interesse);  $\delta$  =  $-17,5^\circ$  - declinação magnética para fevereiro de 2015 obtida na página Magnetic Field Calculators da agência americana *National Center for Environmental Information - National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOOA), modelo WMM (2014-2019).

Esse procedimento foi adotado para calcular a posição das árvores pelo fato da distância das mesmas até os respectivos PAs ser, geralmente, inferior ao erro posicional obtido



com a posição obtida pelo rastreamento do código de fácil aquisição (Código CA – observável GPS) pelo receptor GNSS de navegação. No campo em todos os PA, foram contados os cachos de banana e as árvores foram identificadas quanto às espécies e mensuradas, respectivamente, com fita métrica e clinômetro *HaglöffHec*, circunferência à altura do peito  $\geq 10$  cm (CAP) e a altura total (h), com o auxílio de técnicos e estagiários do Centro Ecológico e dos agricultores que manejam os SAFs. A nomenclatura das famílias botânicas foi baseada no sistema *Angiosperm Phylogeny Group – APG III* (2009).

A planilha de dados foi importada para o SIG *Arc Map®* versão 10.1 e os dados foram espacializados mediante geração de pontos pela ferramenta *Display XY Data*. Os pontos gerados foram transformados em *shapefile* de feição pontual via exportação (*Export data*) dos dados para um *geodatabase* (.gdb - banco de dados para o SIG). O arquivo com o limite do SAF foi também importado para o SIG e convertido para *shapefile* de polígono, para conter os dados em seu interior. A área e o perímetro do SAF foram determinados com este limite, com o cálculo pela ferramenta *Calculate Geometry* na planilha de atributos dos respectivos *shapefiles*.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A área calculada do SAF foi de 1,83 ha, tendo um perímetro de 637,98 m. Foram amostrados e mensurados 192 indivíduos arbóreos no SAF em questão, sendo os mesmos identificados em 12 espécies e um gênero, tendo ainda três árvores não identificadas e uma árvore morta em pé (Tabela 1).

Tabela 1 – Espécies amostradas no SAF silvibananeiro em Três Cachoeiras, RS.

Nome Científico	NV	N	U
<i>Euterpe edulis</i> Mart.* <sup>1</sup>	Juçara	142	32
<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul* <sup>2</sup>	Embaúba	19	14
<i>Hyeronima alchorneoides</i> Allemão* <sup>3</sup>	Licurana	6	5
<i>Cedrela fissilis</i> Vell. * <sup>4</sup>	Cedro	4	3
<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Charm.) Glassman* <sup>1</sup>	Gerivá	2	2
NI3	NI3	3	3
Morta em pé	Morta em pé	2	2
<i>Archontophoenix alexandrae</i> H. Wendl. &Drude. * <sup>1</sup>	Palmeira Real	2	1
<i>Albizia polycephala</i> (Benth.) Killip ex Record. * <sup>5</sup>	FarinhaSeca	1	1
NI1	NI1	3	2
<i>Cabralea canjerana</i> (Vell) Mart. * <sup>4</sup>	Canjerana	2	2
<i>Trema micrantha</i> (L.) blume* <sup>6</sup>	Grandiuva	1	1
<i>Cupania vernalis</i> Cambess. * <sup>7</sup>	Camboatã	1	1
NI2	NI2	1	1
<i>Carica papaya</i> L. * <sup>8</sup>	Mamão	1	1
<i>Nectandra</i> sp* <sup>9</sup>	Canela	1	1
<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br. ex Roem. &Schult. * <sup>10</sup>	Capororoca	1	1
<b>Total</b>		<b>192</b>	<b>32</b>

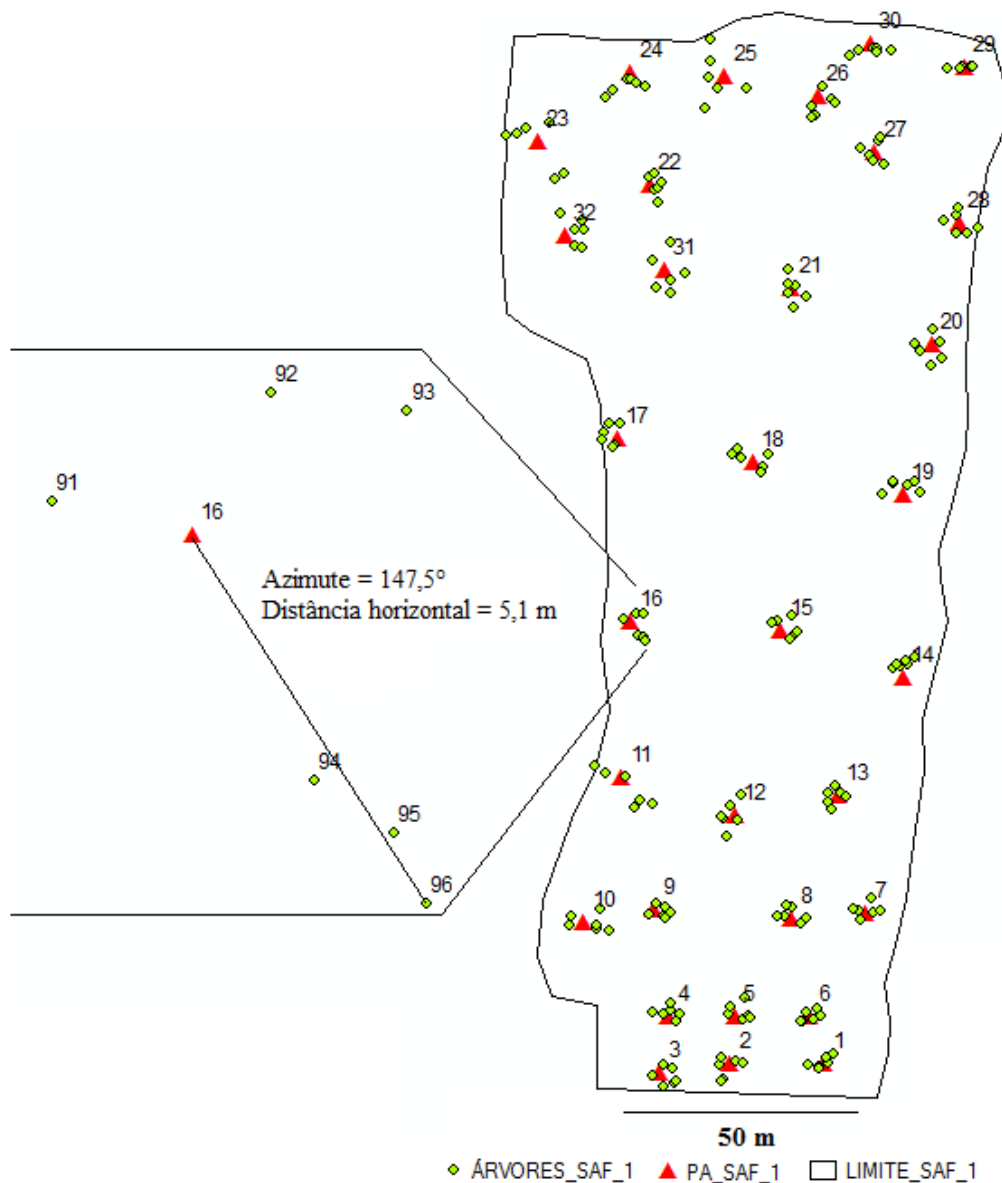
**Legenda:** NV – nome vulgar; N – número de indivíduos; U - número de pontos amostrais onde a espécie ocorre; Famílias Botânicas: \*<sup>1</sup> - Arecaceae; \*<sup>2</sup> - Urticaceae; \*<sup>3</sup> - Phyllanthaceae; \*<sup>4</sup> - Meliaceae; \*<sup>5</sup> - Fabaceae – Cannabaceae; \*<sup>7</sup> – Sapindaceae; \*<sup>8</sup> – Caricaceae; \*<sup>9</sup> – Lauraceae; \*<sup>10</sup> - Primulaceae.

Fonte: Autores.

Foi observada a ocorrência de 10 famílias botânicas nas espécies encontradas, das quais as famílias de maior riqueza de espécies foram Arecaceae e Meliaceae, por terem apresentado, respectivamente, três e duas espécies. Aparentemente, as espécies mais importantes foram *Euterpe edulis* Mart., *Cecropia pachystachya* Trécul, *Hieronima alchorneoides* Allemão e *Cedrela fissilis* Vell. Esta composição de espécies está coerente como à descrita pela literatura para SAF silvibananeiro no Litoral Norte do Rio Grande do Sul em diversos trabalhos tais como Vivan (2002), Garcez e Cotrim (2007); Dubois (2008); Vivan (2010), Amaral et al. (2013) e Gonçalves et al. (2013a,b).

O resultado obtido pela metodologia utilizada permitiu especializar os PA e as árvores, mediante a metodologia adotada para o transporte (cálculo) das coordenadas UTM destes pontos a partir das coordenadas dos respectivos PA. Oliveira (2013) apresenta em seu trabalho três mapas de localização de árvores em SAFs com café e banana similares à distribuição de árvores no SAF silvibananeiro apresentada neste trabalho (Figura 1).

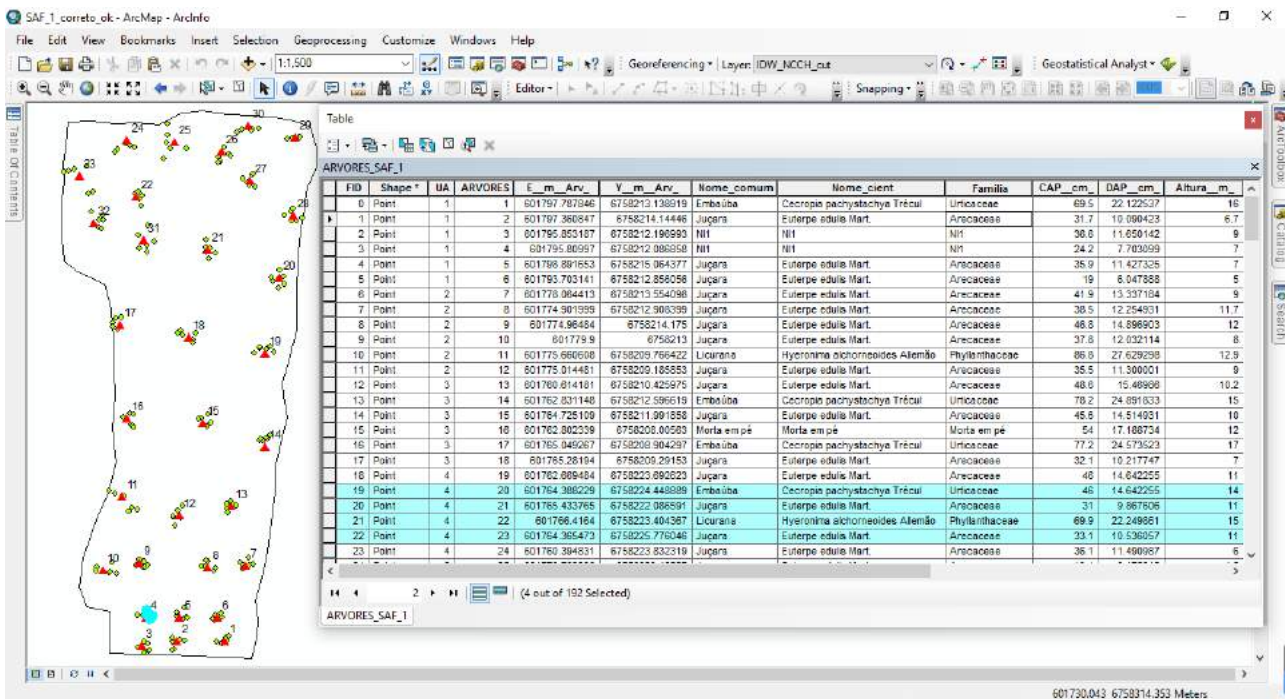
Figura 1 – Distribuição espacial dos pontos amostrais e de suas respectivas árvores no SAF, com detalhe para a dispersão espacial das seis árvores no PA 16 com medida de distância e azimute entre o ponto central do PA 16 até a sexta árvore.



Fonte: Autores

Nos dados geográficos gerados foi possível realizar procedimentos de consultas e seleção, visando obter informações de determinadas áreas (Figura 2 e 3). Para exemplificar a praticidade de gerenciamento dos dados e obtenção de informação mostra-se na Figura 4, a seleção dos indivíduos de *Euterpe edulis* com uso da ferramenta de seleção por atributos, *Selection>Selection by attributes*.

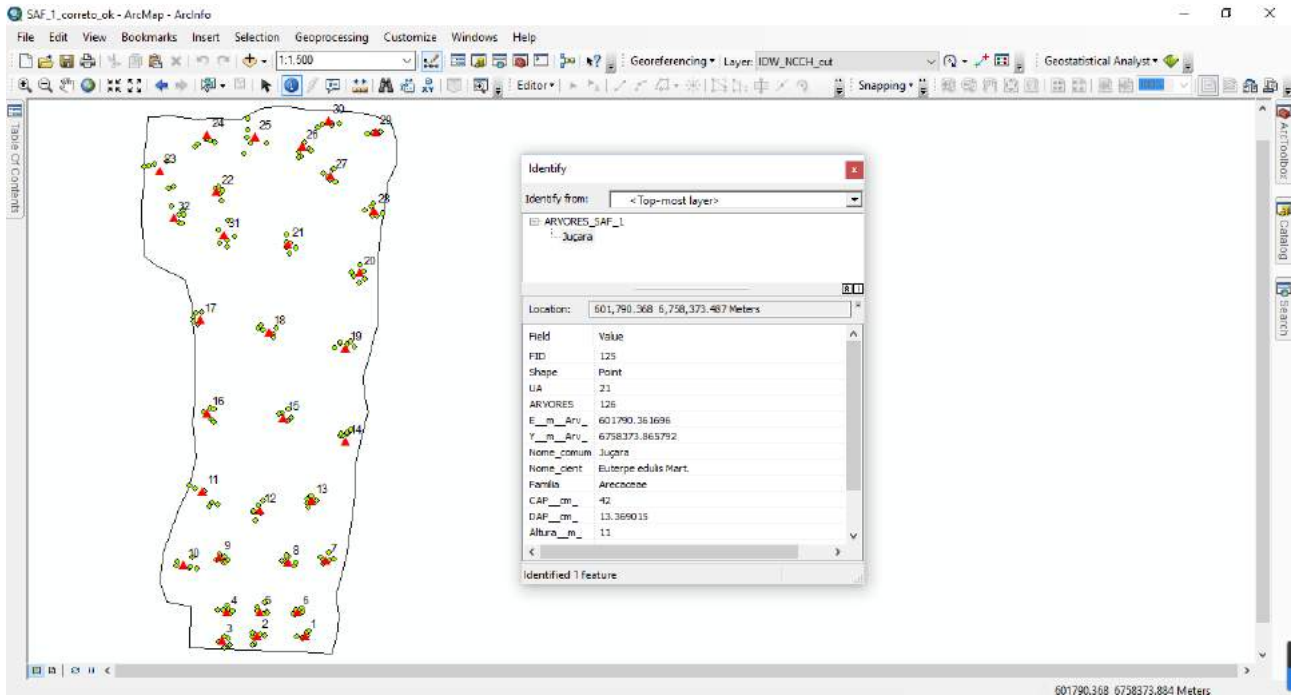
Figura 2 – Arquivos *shapfile* do limite do SAF, dos pontos amostrais e das árvores mensuradas adicionados ao SIG a partir do banco de dados geográficos gerado, com detalhe para a seleção de algumas árvores via planilha de atributos do *shapfile* das árvores (iluminadas na figura em ciano).



Fonte: Autores

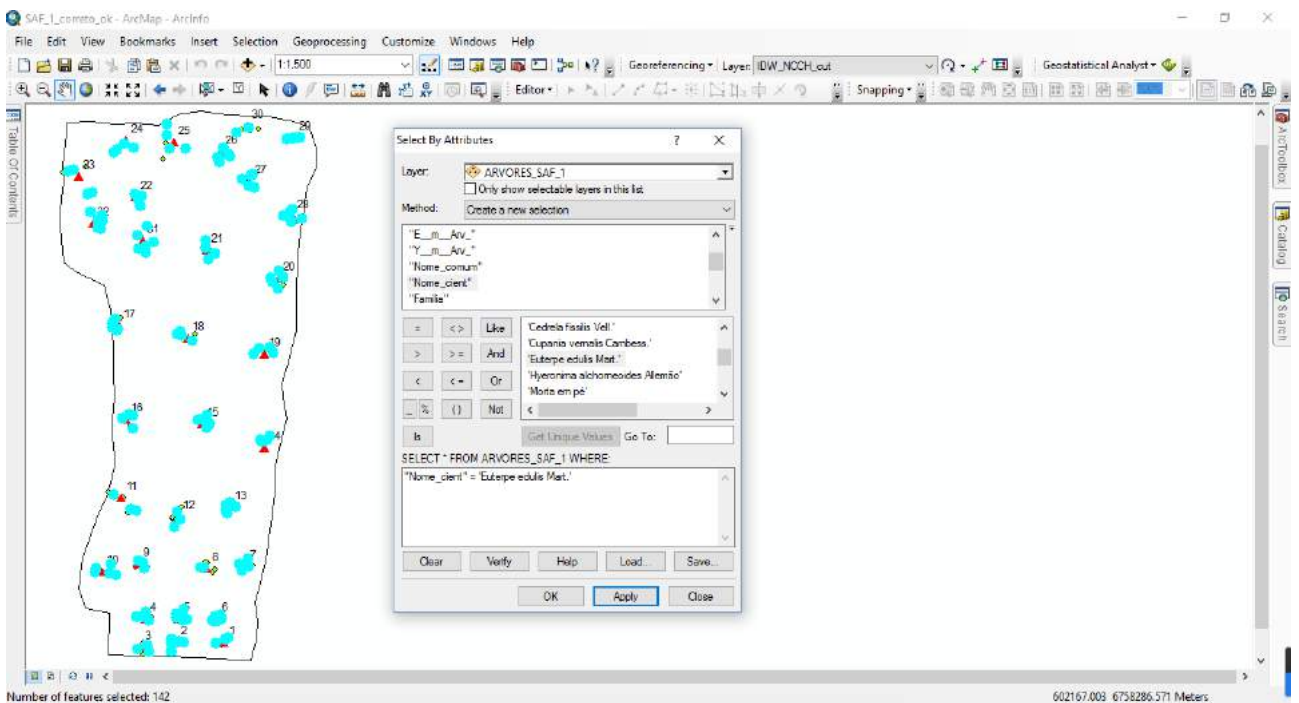
As geotecnologias, o geoprocessamento e a abordagem de floresta de precisão podem auxiliar no processo de se melhor avaliar, entender e tomar decisões em relação ao manejo de floresta, plantas ou naturais, havendo relatos na literatura destas possibilidades associadas à silvicultura (Maeda et al., 2011). Amaral (2014) utiliza esta abordagem para definir zonas de produção em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista em Tapera no RS, mostrando a aplicação da abordagem de floresta de Precisão. A tendência é que trabalhos como estes sejam cada vez mais utilizados nos SAF e em outras áreas da engenharia florestal.

Figura 3 – Consulta de dados nos atributos do *shapefile* das árvores utilizando a ferramenta *identify*, na qual é possível observar os atributos de cada registro do referido arquivo vetorial.



Fonte: Autores

Figura 4 – Consulta e seleção por atributos para *E. edulis* no *shapefile* das árvores.



Fonte: Autores

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia utilizada com adaptação do método da sexta árvore de Prodan para gerar dados geográficos e armazená-los em um banco de dados para alimentar um projeto em SIG foi satisfatória e atendeu o objetivo deste trabalho. No SIG foi possível manipular os dados geográficos gerados e realizar consultas para identificar os pontos amostrais e as espécies, famílias, bem como as dimensões de cada árvore mensurada no SAF silvibananeiro.

## REFERÊNCIAS

- AMARAL, L. P. et al. **Caderno de resumos: Projeto agricultura ecológica e serviços sócio-ambientais**. Guarapuava: Fundação Rureco, 2013, 43 p.
- AMARAL, L. P. **Geoestatística Aplicada ao Manejo Florestal Experimental em Floresta Ombrófila Mista**. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão) – Colégio Politécnico, Santa Maria, 2014. 90p.
- ANDRADE, A. L. et al. **Introdução à estatística espacial para a saúde pública**. Brasília: Editora MS, 2007.
- BRITO, A. et al. Comparação entre métodos de Quadrantes e Prodan para análise florística, fitossociológica e volumétrica. **Revista Cerne**, v. 13, n. 4, p. 399-405, 2007.
- DUBOIS, J. C. L. Classificação e breve caracterização de SAFs e práticas agroflorestais. In: MAY, P.; TROVATTO, C. M. M.; FLORIANI, G. S.; DUBOIS, J. C. L.; VIVAN, J. L. **Manual agroflorestal para a Mata Atlântica**. Brasília: MDA, 2008, 196 p.
- EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. **Atlas climático da região sul do Brasil**. Embrapa Clima Temperado/Embrapa Florestas, Pelotas/Colombo, Brasil, 2011.
- FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **The state of food and agriculture: Paying farmers for environmental services**. Roma: FAO, 2007, 222 p.
- GARCEZ, D.; COTRIM, D. A bananicultura na microrregião do litoral norte do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, p. 78-81, 2007.
- GUEDES FILHO, O. **Variabilidade espacial e temporal de mapas de colheita e atributos do solo em um sistema de semeadura direta**. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo, Campinas, 2009.
- GONÇALVES, A. L. R.; AMARAL, L. P.; FERREIRA, R. A. Diversidade, biomassa e carbono em SAFs na Mata Atlântica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 9. 2013, Ilhéus. **Anais ...**. Ilhéus: SBSAF, 2013a.
- GONÇALVES, A. L. R.; AMARAL, L. P.; PEREIRA JÚNIOR, C.; RAMOS, J. B.; ATANASIO, W. M.; MOTTER, C.; BELLÉ, N.; FERREIRA, R. A. Serviços ambientais em SAFs na região de Torres, RS, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 9. 2013, Ilhéus. **Anais ...**. Ilhéus: SBSAF, 2013b.
- IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012, 92p.

LONGLEY, P. et al. **Sistemas e ciência da informação geográfica**, 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013, 540 p.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de sistemas de informações geográficas**. 4. ed., Brasília: Embrapa, 2015, 399 p.

MAEDA, S. et al. Silvicultura de Precisão. In: BERNARDI, A. C. C. et al (Ed.). **Agricultura de Precisão – Resultados de um novo olhar**. Brasília: EMBRAPA, 2014, 596 p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/instrumentacao/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1002959/agricultura-de-precisao-resultados-de-um-novo-olhar>>. Acesso em 10 jun. 2017.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4 ed., Viçosa: Editora da UFV, 2011, 422 p.

MOSCOVICH, F. A.; BRENA, D. A.; LONGHI, S. J. Comparação de diferentes métodos de amostragem, de área fixa e variável, em uma Floresta de *Araucaria angustifolia*. **Ciência Florestal**, v. 9, n. 1, p. 173-191, 1999.

NUNES, P.; VIVAN, J. L. **Florestas, sistemas agroflorestais e seus serviços ambientais e econômicos em Juruena-MT**. 1. ed. Cuiabá: Projeto Poço de Carbono Juruena/ADERJUR, 2011, 40p.

OLIVEIRA, A. C. C. **Sistemas agroflorestais com café: fixação e neutralização de carbono e outros serviços ecossistêmicos**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Agroecologia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013, 130 p.

SILVA, I. C. **Sistemas Agroflorestais: Conceitos e métodos**. 1. ed. Itabuna: SBSAF, 2013, 308p.

SOUZA, A. L. et al. Comparação de tipos de amostragem, com parcelas circulares de área fixa e variável, em povoamento de *Eucalyptus grandis*, de origem híbrida, cultivados na região de Bom Despacho, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 5, n. 1, p. 43-55, 1981.

VETTORAZZI, C. A.; FERRAZ, S. F. B. Silvicultura de precisão: uma nova perspectiva para o gerenciamento de atividades florestais. In: BORÉM, A. et al. (Ed.). **Agricultura de Precisão**. Viçosa: Os autores, 2000. p.65-75. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Silvio\\_Ferraz2/publication/260710677\\_Silvicultura\\_de\\_precisao\\_uma\\_nova\\_perspectiva\\_para\\_o\\_gerenciamento\\_de\\_atividades\\_florestais/links/0a85e537e292377d30000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Silvio_Ferraz2/publication/260710677_Silvicultura_de_precisao_uma_nova_perspectiva_para_o_gerenciamento_de_atividades_florestais/links/0a85e537e292377d30000000.pdf)>. Acesso em: 05 set. 2017.

VIVAN, J. L. Bananicultura em sistemas agroflorestais no Litoral Norte do RS. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, v. 3, n. 2, p.17-26, 2002.

VIVAN, J. L. **O papel dos sistemas agroflorestais para usos sustentáveis da terra e políticas públicas relacionadas – Parte I: Relatório síntese e estudos de caso**. Brasília: MMA, 2010, 120 p. Disponível: <[http://media0.agrofloresta.net/static/publicacoes/estudos\\_pda\\_01\\_51.pdf](http://media0.agrofloresta.net/static/publicacoes/estudos_pda_01_51.pdf)>. Acesso em 22 de jan. 2016.

# INTERPOLADORES NA PREDIÇÃO DA DENSIDADE POPULACIONAL DE *Tibraca limbativentris*

*Interpolation predicting Tibraca limbativentris density population estimate*

Mauricio Paulo Batistella Pasini<sup>1</sup>, Alessandro Dal'Col Lúcio<sup>2</sup>, Eduardo Engel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Cruz Alta – UNICRUZ, Rodovia Municipal Jacob Della Mèa, km 5.6 - Parada Benito, CEP 98005-972, Cruz Alta, Rio Grande do Sul, Brasil. **E-mail: mpasini@unicruz.edu.br**

<sup>2</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, Santa Maria – RS, Brasil, CEP: 97105-900, **E-mail: adlucio@ufsm.br**

## RESUMO

Este estudo teve por objetivo comparar a precisão dos métodos de interpolação krigagem ordinária e inverso da distância ponderada aplicados na espacialização da densidade populacional de *Tibraca limbativentris* no cultivo do arroz irrigado. Em Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, foram realizadas sete avaliações da densidade populacional de *T. limbativentris*, em duas áreas de cultivo com área de 1,3 e 6,2 ha, a partir da semeadura até a maturação. Nestas áreas os adultos de *T. limbativentris* foram quantificados e o somatório utilizado para a análise. Os valores foram submetidos aos interpoladores da krigagem ordinária em diferentes modelos de semivariogramas e do inverso da distância ponderada em diferentes ponderadores sendo os melhores, para cada avaliação, comparados por validação cruzada. Foi possível concluir que o método de interpolação krigagem ordinária apresenta melhor desempenho que o método do inverso da distância ponderada, sendo recomendada sua utilização na espacialização da densidade populacional de *T. limbativentris* no cultivo do arroz irrigado.

**Palavras-chave:** Precisão. *Oryza sativa*. Percevejo-do-colmo.

## ABSTRACT

The aimed study to compare the ordinary kriging and inverse distance weighted interpolation methods, applied to the spatial distribution of population density of *Tibraca limbativentris* in irrigated rice. In Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brazil, in two growing areas, with an area of 1.3 ha and 6.2, assessments of *T. limbativentris* population density were made from seeding to maturity, a total seven. In these areas the adults of *T. limbativentris* were quantified and the sum used for the analysis. The values were submitted to the ordinary kriging interpolation in different semivariogram models and inverse distance weighted in different weights being the best, for each assessment, compared by cross-validation. From the results it was concluded that the ordinary kriging interpolation method performs better than the method of inverse distance weighted, and recommended its use in spatial population density of *T. limbativentris* in irrigated rice.

**Keywords:** Precision. *Oryza sativa*. Rice stink bug.

## 1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo, caracterizando-se como principal alimento para mais da metade da população mundial (WALTER et al. 2010). O Brasil é o nono produtor, detendo aproximadamente 2% da produção e o Estado do Rio Grande do Sul é o maior produtor de arroz do Brasil, nele, são cultivados cerca de um milhão de hectares que produzem mais de 60% da produção nacional (SOSBAI 2012).

Um dos aspectos que prejudica a cultura do arroz irrigado é o ataque do percevejo-do-colmo, *Tibraca limbativentris* Stal, 1860 (Hemiptera: Pentatomidae), sendo considerado o segundo inseto de importância econômica (SOSBAI 2012). Este inseto-praga pode ser encontrado nas fases vegetativa e reprodutiva afetando diretamente os componentes de rendimento e provocando os sintomas de coração morto quando atacam os colmos, gerando a formação de panícula branca ou a esterilidade parcial das espiguetas, sendo este o componente do rendimento mais influente na redução do rendimento de grãos de arroz (OLIVEIRA et al. 2010).

As populações de insetos-praga em lavouras podem ser estimadas com o uso de

procedimentos de interpolação, que permitem gerar superfícies contínuas através de unidades amostrais pontuais (CHILÈS & DELFINER, 1999; SOARES et al., 2008). Entre os métodos de interpolação a da krigagem e o do inverso da distância ponderada são mais utilizados (COELHO et al. 2009; SOUZA et al. 2010; SILVA et al. 2010).

O método da krigagem usa a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma, para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima (Mello et al. 2003). Conforme Pires e Strieder (2006) a krigagem é um processo geoestatístico de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço, com base em valores adjacentes quando considerados interdependentes pela análise variográfica. O método do inverso da distância ponderada o fator de ponderação é o inverso da distância euclidiana elevado a um expoente, de acordo com Miranda (2005) esse interpolador prevê valores para locais não amostrados usando combinação linear ponderada dos pontos amostrados na vizinhança. Quando este é elevado ao quadrado, define-se como inverso do quadrado da distância entre o ponto conhecido e o estimado. Este método é de fácil aplicação mas com acurácia menor que a krigagem, pois não considera a estrutura de dependência espacial (MELLO et al. 2003).

Esses métodos, estocástico e determinístico, divergem em suas estimativas e vários são os trabalhos que confirmam esta situação. Kanegae Júnior et al. (2006) observaram uma maior redução na variância média e no erro da amostragem com o inverso do quadrado da distância em relação a krigagem ordinária na estratificação de povoamentos de eucalipto. Já Mello et al. (2003) verificaram menores erros no método da krigagem para parâmetros da equação de chuvas intensas. Em análise da distribuição espacial de cigarras, Soares et al. (2008) obtiveram mínimas vantagens da krigagem ordinária para o método do inverso do quadrado da distância. Silva et al. (2010) utilizaram métodos de interpolação na representação da variabilidade espacial do pH do solo em dois manejos na cultura do cafeeiro, onde a krigagem apresentou o menor desvio padrão da média dos erros. Souza et al. (2010) não verificaram diferenças entre os dois métodos de interpolação para atributos químicos do solo, sendo considerados eficientes na inferência de valores. Silva et al. (2011) avaliaram interpoladores para a precipitação mensal no Estado do Espírito Santo, onde a krigagem ordinária apresentou as melhores estimativas. Guedes et al. (2012) avaliaram o potencial do uso de interpoladores espaciais em povoamentos de *Eucalyptus* sp., onde o uso do interpolador inverso do quadrado da distância gerou melhores estimativas.

A escolha do método de interpolação apropriado é essencial para obter mapas de espacialização confiáveis, com menores erros nas estimativas (MELLO et al. 2003; SILVA et al. 2010; SOUZA et al. 2010; SILVA et al. 2011), contudo, na grande maioria dos trabalhos que envolvem variáveis regionalizadas com insetos-praga isso não é levado em consideração, o que pode, muitas vezes, desqualificar a informação apresentada. Desta forma o trabalho teve por objetivo identificar o método de interpolação de melhor desempenho na espacialização da densidade populacional de *T. limbativentris* no cultivo do arroz irrigado.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo está localizada em Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil (Lat. 29° 38' S e Long. 54° 03' W) e foi dividida em duas áreas de cultivo: a primeira com 1,3 ha denominada Lavoura 1 (L01) e segunda com 6,92 ha denominada Lavoura 2 (L02), cultivadas com a cultura arroz irrigado sob as recomendações técnicas da cultura (SOSBAI 2012) e, nos seus entornos circundadas por vegetação arbustiva, arbórea e de campo. O clima local segundo a classificação de Köppen tipo Cfa, subtropical úmido, sem estação seca e com verões quentes (HELDWEIN et al. 2009). Durante a execução da pesquisa não houve a aplicação de defensivos agrícolas.

Em cada área de cultivo foi gerado um grid de 30m x 30m para a amostragem dos insetos-praga originando 39 unidades amostrais na L01, e 192 unidades amostrais na L02. Em cada unidade foram amostradas 200 plantas de arroz, totalizando 1 m<sup>2</sup> (50 plantas aptas por metro linear e espaçamento entre linhas de 0,20 m). Em cada planta de arroz realizou-se uma



contagem direta do número de indivíduos de *Tibraca limbativentris*.

A partir da semeadura foram procedidas sete avaliações para cada lavoura: a primeira avaliação (A1) no estádio V3 correspondente ao colar formado na 3ª folha do colmo principal; a segunda avaliação (A2) no estádio V6 correspondente ao colar formado na 6ª folha do colmo principal; a terceira avaliação (A3) no estádio V9 (R0) correspondente a iniciação da panícula; a quarta avaliação (A4) no estádio V13 (R2) correspondente a formação do colar da folha bandeira (emborrachamento); a quinta avaliação (A5) no estádio R4 correspondente a antese; a sexta avaliação (A6) no estádio R6 correspondente a alongação de um ou mais grãos na casca; a sétima avaliação (A7) no estádio R9 correspondente a maturidade completa dos grãos na panícula (Counce et al. 2000). Para a análise de dados foi utilizado o total de indivíduos coletados por m<sup>2</sup> (200 plantas). Os valores de adultos de *T. limbativentris*, por avaliação, foram analisados aplicando a análise descritiva e de técnicas de interpolação. No interpolador da krigagem ordinária (KO) a hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Shapiro-Wilk, a 5% de significância e, quando não satisfeita, os dados que apresentaram assimetria positiva foram submetidos à transformação Box-Cox.

Em seguida os dados foram submetidos à análise geoestatística para verificar a existência de dependência espacial conforme Pasini et al. (2014). Foi quantificado o grau de dependência espacial dos atributos em estudo, a partir do ajuste dos modelos teóricos aos semivariogramas experimentais isotrópicos com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca a qual é estimada pela expressão,  $\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$ , em que  $\gamma$  é a semivariância e  $N(h)$  é o número de pares de valores medidos  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i+h)$  separados por um vetor  $h$ . A partir dos semivariogramas experimentais foram obtidos e ajustados os modelos de semivariogramas Circular (C), Esférico (E), Tetraesférico (T), Pentaesférico (P), Exponencial (Ex), Gaussiano (G), Quadrático Racional (QR), Seno Cardinal (SC), K-Bessel (KB), J-Bessel (JB), e Estável (Es), ajustados pelo algoritmo dos Mínimos Quadrados Ponderados sendo definidos os parâmetros do modelo: efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0+C_1$ ), alcance ( $a$ ) estimados conforme Johnson et al. (2001).

Para verificar a existência de dependência espacial foi estimado o Índice de Dependência Espacial (IDE) que representa uma relação em porcentagem do quanto à dependência espacial, quantificada pelo modelo de semivariograma, contribui para a variabilidade dos dados,  $IDE = \frac{C_1}{C_0+C_1}$ , sendo classificado em forte ( $IDE > 75\%$ ), médio ( $25 < IDE \leq 75\%$ ) e baixo ( $IDE \leq 25\%$ ) (ZIMBACK, 2001). Constatada a presença de dependência espacial entre os dados foram realizadas inferências por KO, estimando valores em locais não medidos.

Para a escolha do modelo de semivariograma foi utilizada a técnica da validação cruzada conforme Webster & Oliver (2007), empregou-se como critério de escolha a soma ponderada dos indicadores da regressão linear (interseção "b", o coeficiente angular "a" e coeficiente de determinação " $R^2$ "), média dos erros ( $\bar{E}$ ), desvio padrão dos erros (DPE), média dos erros absolutos ( $\overline{EA}$ ), raiz quadrada média dos erros (RQME) e a raiz quadrada média dos erros padronizada (RQMEP) conforme Pasini et al. (2014).

O inverso da distância ponderada (IDP) é um interpolador determinístico univariado de

médias ponderadas,  $\hat{Z}_i = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{d_i^\lambda} \times Z_i \right)}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{d_i^\lambda} \right)}$ , em que  $\hat{Z}_i$  é o valor interpolado,  $Z_i$  é o valor amostrado e  $d_i$

é a distância euclidiana entre o ponto amostrado e o estimado,  $n$  número de pontos vizinhos utilizados na interpolação e  $\lambda$  é o expoente ponderador da distância euclidiana, este, aplicado para os pesos 2, 3, 4, 5 e 6.

Para a seleção do melhor peso ponderador foi aplicada a validação cruzada através dos indicadores da regressão linear ( $a$ ,  $b$ ,  $R^2$ ),  $\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^n [\hat{Z}(s_i) - z(s_i)]}{n}$ ,  $DPE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \{[\hat{Z}(s_i) - z(s_i)] - \bar{E}\}^2}{n-1}}$ ,  $\overline{EA} = \frac{\sum_{i=1}^n |[\hat{Z}(s_i) - z(s_i)]|}{n}$  e  $RQME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [\hat{Z}(s_i) - z(s_i)]^2}{n}}$ . A partir dos indicadores estimados da validação cruzada foram atribuídas notas de 1 a 5, de acordo o critério de seleção de cada indicador: para

as estimativas de  $b$ ,  $R^2$  o valor mais próximo ou igual a 1, foi atribuída a nota 5 e para o valor mais distante de 1 foi atribuída a nota 1, respectivamente; para as estimativas  $a$ ,  $b$ ,  $\bar{E}$ ,  $DPE$ ,  $CVE$ ,  $\bar{E}\bar{A}$  e  $RQME$  o valor mais próximo ou igual a 0 foi atribuída a nota 5 e para o valor mais distante de 0 foi atribuída a nota 1, respectivamente. Após a atribuição das notas, realizou-se o somatório destas dentro de cada ponderador e situação avaliada adotando o critério de escolha do modelo com maior somatório das notas.

Para a escolha do melhor interpolador entre a krigagem ordinária e o inverso da distância ponderada foi aplicada a validação cruzada entre o melhor modelo teórico de semivariograma e o melhor peso ponderador através dos indicadores  $a$ ,  $b$ ,  $R^2$ ,  $\bar{E}$ ,  $DPE$ ,  $\bar{E}\bar{A}$  e  $RQME$ . A partir dos indicadores estimados da validação cruzada foram atribuídas notas de 1 a 2, de acordo o critério de seleção de cada indicador: para as estimativas de  $b$ ,  $R^2$  o valor mais próximo ou igual a 1, foi atribuída a nota 2 e para o valor mais distante de 1 foi atribuída a nota 1, respectivamente; para as estimativas  $a$ ,  $b$ ,  $\bar{E}$ ,  $DPE$ ,  $CVE$ ,  $\bar{E}\bar{A}$  e  $RQME$  o valor mais próximo ou igual a 0 foi atribuída a nota 2 e para o valor mais distante de 0 foi atribuída a nota 1, respectivamente. Após a atribuição das notas, realizou-se o somatório destas dentro de cada interpolador adotando o critério de escolha do método com maior somatório das notas. Como avaliação complementar entre os interpoladores foram gerados os mapas das estimativas para cada lavoura e avaliação.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram coletados e identificados 8.414 adultos de *T. limbativentris* correspondendo a uma média de 6,69 adultos  $m^{-2}$  por lavoura e por avaliação. Os valores da assimetria revelaram que para a maioria das avaliações nas lavouras os dados apresentaram assimetria positiva (Tabela 1), resultados estes influenciados pela maior quantidade de valores baixos ou zeros. Este comportamento da distribuição dos dados é atrelado à forma de dispersão de *T. limbativentris* nas lavouras e sua concentração em áreas próximas a bordaduras das lavouras, principalmente nas lavouras de maior área. De acordo com Yamamoto & Landim (2013) quando a distribuição tiver assimetria positiva há necessidade de transformação dos dados para evitar a influência de poucos valores altos na estimativa de pontos da vizinhança caracterizada por baixos valores. Contudo para dados com distribuição normal ou que apresentam assimetria negativa não há a necessidade transformação de dados. Para as avaliações onde houve necessidade de transformação, todas apresentaram significância no teste de Shapiro-Wilk após a realização da mesma (Tabela 1).

Tabela 1 - Estatísticas descritivas do número de adultos de *T. limbativentris* (Hemiptera: Pentatomidae) por  $m^2$  amostrados nas avaliações em lavouras de arroz irrigado. Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. Safra 2012/13.

Estatística	Avaliação							Avaliação						
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
	----- Lavoura 01 -----							----- Lavoura 02 -----						
Média	0,41	1,62	4,28	12,10	13,85	16,31	12,59	0,34	1,10	3,39	3,75	6,62	6,99	7,56
Desvio padrão	0,64	1,63	3,19	4,94	3,52	4,32	3,31	0,67	1,19	3,11	3,99	4,21	4,55	4,95
Coefficiente de variação	1,55	1,01	0,74	0,41	0,25	0,27	0,26	1,97	1,08	0,91	1,06	0,63	0,65	0,66
Mínimo	0	0	0	2	7	8	6	0	0	0	1	2	2	2
Máximo	2	5	12	21	19	26	19	3	6	13	16	19	20	21
Soma	16	63	167	472	540	636	491	65	213	651	1032	1272	1343	1453
Soma Lavoura							2.385							6.029
Assimetria	1,32	0,82	0,42	-0,44	-0,54	0,14	0,28	2,16	1,08	1,08	1,18	1,17	1,27	1,35
Curtose	0,69	-0,55	-0,80	-0,86	-0,66	-0,63	-0,71	4,53	0,96	0,29	0,08	0,11	0,43	0,59
$p$ -valor teste SW	ns	ns	ns	ns	ns	0,55*	0,19*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
$\lambda$ (Box-Cox)	-1,74	0	0,42	-	-	-	-	-2,5	0	0,58	0,47	0,68	1,03	0,98
$p$ -valor teste SW	0,06*	0,07*	0,09*	-	-	-	-	0,06*	0,06*	0,07*	0,06*	0,07*	0,10*	0,06*

\*Os dados apresentaram aderência à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk (SW) em nível de 5% de significância.

Em todas as lavouras e avaliações nos modelos teóricos houve dependência espacial com IDE superior a 75%, indicando que esta contribui fortemente para a variabilidade dos dados sendo realizadas as inferências por KO para os modelos teóricos de semivariogramas nas avaliações e lavouras (ZIMBACK 2001).

A partir do critério de escolha foram selecionados 14 modelos de semivariogramas (Tabela 2), onde na maioria destes o modelo com maior somatório não obteve a maior nota para todos indicadores, revelando uma discordância entre os valores estimados, o que ressalta a importância de se utilizar um maior número de indicadores para a tomada de decisão (PASINI et al. 2014).

Tabela 2 - Parâmetros dos modelos de teóricos de semivariogramas selecionados a partir do critério de soma das notas dos indicadores da validação cruzada, para as áreas de cultivo e respectivas avaliações (A).

A	Modelo Selecionado <sup>2</sup>				Validação Cruzada <sup>3</sup>									
	Nome <sup>1</sup>	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	a	IDE	a	b	R <sup>2</sup>	$\bar{E}$	$\bar{EA}$	DPE	RQME	RQMEP	$\Sigma$
----- Lavoura 01 -----														
A1	JB	0,052	0,407	82,9	89	0,740(9)	0,104(9)	0,736(10)	-0,003(9)	0,235(9)	0,327(10)	0,310(11)	0,916(10)	77
A2	JB	0,362	1,912	151,2	84	0,552(11)	0,722(11)	0,530(11)	-0,002(8)	0,739(11)	1,119(11)	1,105(11)	0,992(9)	83
A3	C	0	9,069	40,3	100	0,671(7)	1,479(7)	0,781(11)	0,072(4)	1,455(11)	1,801(11)	1,798(11)	0,757(3)	65
A4	Es	3,899	21,248	60,1	84	0,703(8)	3,786(8)	0,675(8)	0,193(7)	2,108(7)	2,817(9)	2,884(5)	1,023(11)	63
A5	KB	0	10,051	36,5	100	0,565(10)	6,027(10)	0,530(10)	0,000(11)	1,887(9)	2,418(11)	2,387(11)	0,962(9)	81
A6	C	2,164	25,083	119,0	92	0,532(8)	7,719(7)	0,489(11)	0,086(3)	2,445(11)	3,101(11)	3,579(9)	1,124(9)	69
A7	T	0,841	10,282	72,4	92	0,497(2)	6,294(2)	0,498(10)	0,038(11)	1,633(11)	2,249(11)	2,219(11)	0,967(9)	67
----- Lavoura 02 -----														
A1	RQ	0	0,437	98,1	100	0,668(9)	0,100(9)	0,654(10)	-0,013(7)	0,217(11)	0,392(11)	0,391(11)	0,972(11)	79
A2	E	0	1,480	130,3	100	0,742(10)	0,267(9)	0,709(11)	-0,016(9)	0,440(9)	0,642(11)	0,641(11)	1,183(3)	73
A3	Es	0	2,615	40,8	100	0,928(11)	0,222(10)	0,895(11)	-0,021(6)	0,715(11)	1,014(7)	1,012(7)	1,162(8)	71
A4	C	0	5,745	56,8	100	0,958(8)	0,219(7)	0,954(11)	-0,006(6)	0,666(11)	0,853(11)	0,851(11)	0,605(8)	73
A5	G	0	4,262	41,7	100	0,966(9)	0,218(9)	0,950(11)	-0,008(9)	0,805(8)	1,037(11)	1,034(11)	0,988(11)	79
A6	G	0	4,064	42,1	100	0,973(11)	0,160(11)	0,943(11)	-0,008(7)	0,873(10)	1,113(11)	1,110(11)	1,001(11)	83
A7	P	0	13,857	126,7	100	0,928(2)	0,542(3)	0,939(11)	-0,003(9)	0,910(11)	1,225(11)	1,221(11)	0,674(4)	63

<sup>1</sup>Circular (C), Esférico (E), Tetraesférico (T), Pentaesférico (P), Exponencial (Ex), Gaussiano (G), Quadrático Racional (QR), Seno Cardinal (SC), J-Bessel (JB), K-Bessel (KB), Estável (Es). <sup>2</sup>Efeito pepita (C<sub>0</sub>), Patamar (C<sub>1</sub>), Alcance (a) e Índice de Dependência Espacial (IDE). <sup>3</sup>Interseção (a); Coeficiente Angular (b); Coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), Média dos erros ( $\bar{E}$ ); Desvio Padrão dos Erros (DPE); Média dos Erros Absolutos ( $\bar{EA}$ ); Raiz Quadrada Média dos Erros (RQME); Raiz Quadrada Média do Erro Padronizada (RQMEP).

Na L01 o modelo J-Bessel apresentou maior somatório das notas entre os modelos nas avaliações A1 e A2, o modelo Circular nas avaliações A3 e A6, o modelo Estável na avaliação A4, o modelo K-Bessel na avaliação A5 e o modelo Tetraesférico na A7. Na L02 o modelo Racional Quadrático na avaliação A1, o modelo Esférico na avaliação A2, o modelo Estável na avaliação A3, o modelo Circular na avaliação A4, o modelo Gaussiano nas avaliações A5 e A6 e o modelo Pentaesférico na avaliação A7, diferindo do modelo utilizado por Grego et al. (2006) em *Pseudaletia sequax* (Lepidoptera: Noctuidae), Dinardo-Miranda et al. (2006) em *Mahanarva fimbriolata* (Hemiptera: Cercopidae), Dal Prá et al. (2011) em *Diloboderus abderus* (Coleoptera: Melolonthidae) e Dinardo-Miranda et al. (2014) em *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae).

Dos modelos com maior soma, houve efeito pepita apenas na Lavoura 01 (A1, A2, A4, A6 e A7), contudo, este não afetou o IDE destas avaliações. Os valores de alcance foram superiores a malha de amostragem, indicando que o grid utilizado foi adequado.

Foram selecionados 14 ponderadores de acordo com o critério de escolha (Tabela 3). Na L01 o sexto ponderador foi selecionado nas avaliações A1, A3, A4, A5, A6 e A7 e o terceiro ponderador na avaliação A3. Na L02 o terceiro ponderador foi selecionado nas avaliações A1 e A2, o sexto nas avaliações A3, A5, A6 e A7 e o quarto ponderador na avaliação A4. Para a maioria das avaliações, ponderadores de maior valor foram selecionados, indicando que para estimativas de *T. limbativentris* quanto menor a influência de pontos mais distantes, melhores são as estimativas, podendo ser reflexo do comportamento da distribuição dos dados. Contudo

na escolha dos ponderadores não há relação direta ou inversa com as estatísticas descritivas.

Tabela 3 – Estimativas da validação cruzada e notas atribuídas (entre parêntesis) a partir do interpolador inverso da distância ponderada de diferentes ponderadores nas avaliações das Lavouras 01 e 02.

Indicador <sup>1</sup>	Lavoura 01					Lavoura 02				
	Ponderador					Ponderador				
	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6
	----- Avaliação 01 -----									
<i>a</i>	0,320(1)	0,402(2)	0,465(3)	0,508(4)	0,537(5)	0,489(1)	0,527(2)	0,548(3)	0,557(4)	0,561(5)
<i>b</i>	0,259(1)	0,231(2)	0,210(3)	0,196(4)	0,186(5)	0,151(1)	0,145(2)	0,141(3)	0,140(5)	0,140(5)
<i>R</i> <sup>2</sup>	0,539(1)	0,636(2)	0,679(3)	0,692(4)	0,693(5)	0,578(1)	0,572(2)	0,551(3)	0,528(4)	0,506(5)
$\bar{E}$	-0,020(1)	-0,014(2)	-0,009(3)	-0,006(4)	-0,003(5)	-0,022(1)	-0,011(3)	-0,012(2)	-0,010(4)	-0,009(5)
$\bar{E}\bar{A}$	0,352(1)	0,311(2)	0,283(3)	0,266(4)	0,258(5)	0,246(4)	0,245(5)	0,248(3)	0,252(2)	0,257(1)
<i>DPE</i>	0,473(1)	0,427(2)	0,398(3)	0,381(4)	0,373(5)	0,440(4)	0,438(5)	0,447(3)	0,459(2)	0,472(1)
<i>RQME</i>	0,467(1)	0,422(2)	0,392(3)	0,375(4)	0,366(5)	0,440(4)	0,437(5)	0,446(3)	0,458(2)	0,471(1)
$\Sigma$	7	14	21	28	35	16	24	21	23	23
	----- Avaliação 02 -----									
<i>a</i>	0,383(1)	0,410(2)	0,430(3)	0,444(4)	0,452(5)	0,607(1)	0,642(2)	0,664(3)	0,676(4)	0,682(5)
<i>b</i>	0,955(1)	0,926(2)	0,905(3)	0,893(4)	0,886(5)	0,392(1)	0,363(2)	0,346(3)	0,335(4)	0,330(5)
<i>R</i> <sup>2</sup>	0,414(5)	0,403(4)	0,389(3)	0,374(2)	0,360(1)	0,691(5)	0,690(4)	0,681(3)	0,669(2)	0,657(1)
$\bar{E}$	-0,042(1)	-0,027(2)	-0,015(3)	-0,006(4)	0,000(5)	-0,045(1)	-0,034(2)	-0,027(3)	-0,024(4)	-0,022(5)
$\bar{E}\bar{A}$	0,906(1)	0,882(5)	0,887(4)	0,894(3)	0,902(2)	0,470(2)	0,463(5)	0,464(4)	0,468(3)	0,473(1)
<i>DPE</i>	1,252(5)	1,262(4)	1,281(3)	1,305(2)	1,330(1)	0,680(4)	0,674(5)	0,681(3)	0,693(2)	0,705(1)
<i>RQME</i>	1,236(5)	1,243(4)	1,262(3)	1,285(2)	1,310(1)	0,680(3)	0,673(5)	0,679(4)	0,691(2)	0,704(1)
$\Sigma$	20	23	22	21	20	17	25	23	21	19
	----- Avaliação 03 -----									
<i>a</i>	0,386(1)	0,451(2)	0,496(3)	0,524(4)	0,541(5)	0,803(1)	0,831(2)	0,848(3)	0,857(4)	0,863(5)
<i>b</i>	2,721(1)	2,477(2)	2,309(3)	2,205(4)	2,146(5)	0,598(1)	0,534(2)	0,495(3)	0,471(4)	0,457(5)
<i>R</i> <sup>2</sup>	0,531(1)	0,592(2)	0,616(3)	0,622(5)	0,621(4)	0,874(5)	0,885(4)	0,890(3)	0,893(2)	0,895(1)
$\bar{E}$	0,093(5)	0,127(4)	0,151(3)	0,168(2)	0,179(1)	-0,072(1)	-0,040(2)	-0,022(3)	-0,012(4)	-0,008(5)
$\bar{E}\bar{A}$	1,733(1)	1,615(2)	1,565(3)	1,554(5)	1,561(4)	0,839(1)	0,796(2)	0,773(3)	0,763(4)	0,756(5)
<i>DPE</i>	2,272(1)	2,117(2)	2,034(3)	1,999(4)	1,989(5)	1,129(1)	1,072(2)	1,041(3)	1,024(4)	1,015(5)
<i>RQME</i>	2,244(1)	2,093(2)	2,014(3)	1,980(4)	1,971(5)	1,128(1)	1,069(2)	1,038(3)	1,022(4)	1,012(5)
$\Sigma$	11	16	21	28	29	11	16	21	26	31
	----- Avaliação 04 -----									
<i>a</i>	0,470(1)	0,529(2)	0,576(3)	0,609(4)	0,633(5)	0,868(1)	0,894(2)	0,910(3)	0,919(4)	0,924(5)
<i>b</i>	6,697(1)	5,986(2)	5,447(3)	5,063(4)	4,794(5)	0,642(1)	0,548(2)	0,491(3)	0,458(4)	0,439(5)
<i>R</i> <sup>2</sup>	0,581(1)	0,627(2)	0,651(3)	0,662(4)	0,666(5)	0,940(1)	0,946(2)	0,948(3)	0,948(3)	0,947(5)
$\bar{E}$	0,278(5)	0,291(4)	0,311(3)	0,332(2)	0,349(1)	-0,066(1)	-0,019(3)	0,009(5)	0,024(4)	0,032(2)
$\bar{E}\bar{A}$	2,438(1)	2,263(2)	2,160(3)	2,158(2)	2,155(1)	0,794(1)	0,742(2)	0,706(5)	0,707(3)	0,707(3)
<i>DPE</i>	3,276(1)	3,074(2)	2,950(3)	2,887(4)	2,858(5)	1,019(1)	0,953(2)	0,907(5)	0,920(4)	0,922(3)
<i>RQME</i>	3,245(1)	3,048(2)	2,928(3)	2,868(4)	2,843(5)	1,019(1)	0,951(2)	0,904(5)	0,918(4)	0,920(3)
$\Sigma$	7	16	21	24	27	7	15	29	26	26
	----- Avaliação 05 -----									
<i>a</i>	0,373(1)	0,423(2)	0,461(3)	0,488(4)	0,506(5)	0,833(1)	0,866(2)	0,886(3)	0,897(4)	0,903(5)
<i>b</i>	8,658(1)	7,997(2)	7,512(3)	7,182(4)	6,966(5)	1,025(1)	0,864(2)	0,765(3)	0,706(4)	0,671(5)
<i>R</i> <sup>2</sup>	0,439(1)	0,466(2)	0,481(3)	0,488(4)	0,491(5)	0,916(1)	0,925(2)	0,929(3)	0,931(4)	0,932(5)
$\bar{E}$	-0,018(4)	0,013(5)	0,055(3)	0,096(2)	0,131(1)	-0,080(1)	-0,023(3)	0,009(5)	0,023(3)	0,030(2)
$\bar{E}\bar{A}$	2,171(1)	2,093(2)	2,023(3)	1,966(4)	1,924(5)	0,982(1)	0,903(2)	0,862(3)	0,842(4)	0,834(5)
<i>DPE</i>	2,661(1)	2,582(2)	2,538(3)	2,519(4)	2,513(5)	1,296(1)	1,200(2)	1,154(3)	1,134(4)	1,124(5)
<i>RQME</i>	2,639(1)	2,549(2)	2,505(3)	2,487(4)	2,483(5)	1,295(1)	1,197(2)	1,151(3)	1,131(4)	1,121(5)
$\Sigma$	10	17	21	26	31	7	15	23	27	32
	----- Avaliação 06 -----									
<i>a</i>	0,429(1)	0,444(2)	0,454(3)	0,460(4)	0,463(5)	0,830(1)	0,862(2)	0,881(3)	0,892(4)	0,898(5)
<i>b</i>	9,390(1)	9,132(2)	8,955(3)	8,844(4)	8,778(5)	1,091(1)	0,923(2)	0,820(3)	0,757(4)	0,719(5)
<i>R</i> <sup>2</sup>	0,470(5)	0,462(4)	0,454(3)	0,447(2)	0,440(1)	0,914(1)	0,922(2)	0,926(3)	0,928(4)	0,929(5)
$\bar{E}$	0,086(1)	0,072(2)	0,056(3)	0,040(4)	0,027(5)	-0,096(1)	-0,044(2)	-0,015(3)	0,000(5)	0,008(4)
$\bar{E}\bar{A}$	2,543(1)	2,553(2)	2,561(3)	2,567(4)	2,573(5)	1,041(1)	0,973(2)	0,942(3)	0,931(4)	0,923(5)
<i>DPE</i>	3,157(5)	3,173(4)	3,195(3)	3,217(2)	3,240(1)	1,396(1)	1,303(2)	1,257(3)	1,234(4)	1,224(5)
<i>RQME</i>	3,386(5)	3,483(4)	3,564(3)	3,620(2)	3,656(1)	1,396(1)	1,300(2)	1,254(3)	1,231(4)	1,220(5)
$\Sigma$	19	20	21	22	23	7	14	21	29	34
	----- Avaliação 07 -----									
<i>a</i>	0,316(1)	0,379(2)	0,426(3)	0,458(4)	0,481(5)	0,817(1)	0,851(2)	0,872(3)	0,884(4)	0,891(5)
<i>b</i>	8,632(1)	7,817(2)	7,220(3)	6,804(4)	6,517(5)	1,264(1)	1,061(2)	0,935(3)	0,863(4)	0,821(5)
<i>R</i> <sup>2</sup>	0,438(1)	0,485(2)	0,503(3)	0,509(4)	0,510(5)	0,910(1)	0,920(2)	0,924(3)	0,926(5)	0,926(5)
$\bar{E}$	0,022(1)	0,001(5)	-0,012(4)	-0,016(2)	-0,013(3)	-0,119(1)	-0,065(2)	-0,033(3)	-0,017(4)	-0,007(5)
$\bar{E}\bar{A}$	2,049(1)	1,923(2)	1,868(3)	1,838(4)	1,820(5)	1,132(1)	1,051(2)	1,003(3)	0,985(4)	0,976(5)
<i>DPE</i>	2,558(1)	2,432(2)	2,364(3)	2,334(4)	2,324(5)	1,560(1)	1,448(2)	1,393(3)	1,368(4)	1,358(5)
<i>RQME</i>	2,540(1)	2,404(2)	2,334(3)	2,303(4)	2,293(5)	1,560(1)	1,446(2)	1,389(3)	1,364(4)	1,355(5)
$\Sigma$	7	17	22	26	33	7	14	21	29	35

<sup>1</sup>Interseção (*a*); Coeficiente Angular (*b*); Coeficiente de determinação (*R*<sup>2</sup>), Média dos erros ( $\bar{E}$ ); Desvio Padrão dos Erros (*DPE*); Média dos Erros Absolutos ( $\bar{E}\bar{A}$ ); Raiz Quadrada Média dos Erros (*RQME*); Raiz Quadrada Média do Erro Padronizada (*RQMEP*).

Tabela 4 - Estimativas da validação cruzada e notas atribuídas (entre parêntesis) a partir do melhor modelo de semivariograma na krigagem ordinária e do melhor ponderador no interpolador inverso da distância ponderada nas avaliações das Lavouras 01 e 02.

Indicador	Lavoura 01		Lavoura 02	
	KO	IDP	KO	IDP
----- Avaliação 01 -----				
<i>a</i>	0,740(2)	0,537(1)	0,668(2)	0,527(1)
<i>b</i>	0,104(2)	0,186(1)	0,100(2)	0,145(1)
$R^2$	0,736(2)	0,693(1)	0,654(2)	0,572(1)
$\bar{E}$	-0,003(2)	-0,003(2)	-0,013(1)	-0,011(2)
$\overline{E\bar{A}}$	0,235(2)	0,258(1)	0,217(2)	0,245(1)
<i>DPE</i>	0,327(2)	0,373(1)	0,392(2)	0,438(1)
<i>RQME</i>	0,310(2)	0,366(1)	0,391(2)	0,437(1)
$\Sigma$	14	8	13	8
----- Avaliação 02 -----				
<i>a</i>	0,552(2)	0,410(1)	0,742(2)	0,642(1)
<i>b</i>	0,722(2)	0,926(1)	0,267(2)	0,363(1)
$R^2$	0,530(2)	0,403(1)	0,709(2)	0,690(1)
$\bar{E}$	-0,002(2)	-0,027(1)	-0,016(2)	-0,034(1)
$\overline{E\bar{A}}$	0,739(2)	0,882(1)	0,440(2)	0,463(1)
<i>DPE</i>	1,119(2)	1,262(1)	0,642(2)	0,674(1)
<i>RQME</i>	1,105(2)	1,243(1)	0,641(2)	0,673(1)
$\Sigma$	14	7	14	7
----- Avaliação 03 -----				
<i>a</i>	0,671(2)	0,654(1)	0,928(2)	0,857(1)
<i>b</i>	1,479(2)	2,216(1)	0,222(2)	0,471(1)
$R^2$	0,781(2)	0,704(1)	0,895(2)	0,893(1)
$\bar{E}$	0,072(2)	-0,127(1)	-0,021(1)	-0,012(2)
$\overline{E\bar{A}}$	1,455(1)	1,329(2)	0,715(2)	0,763(1)
<i>DPE</i>	1,801(1)	1,629(2)	1,014(2)	1,024(1)
<i>RQME</i>	1,798(1)	1,570(2)	1,012(2)	1,022(1)
$\Sigma$	11	10	13	8
----- Avaliação 04 -----				
<i>a</i>	0,681(2)	0,633(1)	0,958(2)	0,910(1)
<i>b</i>	4,068(2)	4,794(1)	0,219(2)	0,491(1)
$R^2$	0,678(2)	0,666(1)	0,954(2)	0,948(1)
$\bar{E}$	0,212(2)	0,349(1)	-0,006(2)	0,009(1)
$\overline{E\bar{A}}$	2,098(2)	2,155(1)	0,666(2)	0,706(1)
<i>DPE</i>	2,800(2)	2,858(1)	0,853(2)	0,907(1)
<i>RQME</i>	2,824(2)	2,843(1)	0,851(2)	0,904(1)
$\Sigma$	14	7	14	7
----- Avaliação 05 -----				
<i>a</i>	0,565(2)	0,506(1)	0,966(2)	0,903(1)
<i>b</i>	6,027(2)	6,966(1)	0,218(2)	0,671(1)
$R^2$	0,530(2)	0,491(1)	0,950(2)	0,932(1)
$\bar{E}$	0,000(2)	0,131(1)	-0,008(2)	0,030(1)
$\overline{E\bar{A}}$	1,887(2)	1,924(1)	0,805(2)	0,834(1)
<i>DPE</i>	2,418(2)	2,513(1)	1,037(2)	1,124(1)
<i>RQME</i>	2,387(2)	2,483(1)	1,034(2)	1,121(1)
$\Sigma$	14	7	14	7
----- Avaliação 06 -----				
<i>a</i>	0,532(2)	0,463(1)	0,973(2)	0,898(1)
<i>b</i>	7,719(2)	8,778(1)	0,160(2)	0,719(1)
$R^2$	0,489(2)	0,440(1)	0,943(2)	0,929(1)
$\bar{E}$	0,086(1)	0,027(2)	-0,008(2)	0,008(2)
$\overline{E\bar{A}}$	2,445(2)	2,573(1)	0,873(2)	0,923(1)
<i>DPE</i>	3,101(2)	3,240(1)	1,113(2)	1,224(1)
<i>RQME</i>	3,579(2)	3,656(1)	1,110(2)	1,220(1)
$\Sigma$	13	8	14	8
----- Avaliação 07 -----				
<i>a</i>	0,497(2)	0,481(1)	0,928(2)	0,891(1)
<i>b</i>	6,294(2)	6,517(1)	0,542(2)	0,821(1)
$R^2$	0,498(1)	0,510(2)	0,939(2)	0,926(1)
$\bar{E}$	-0,038(1)	-0,013(2)	-0,003(2)	-0,007(1)
$\overline{E\bar{A}}$	1,633(2)	1,820(1)	0,910(2)	0,976(1)
<i>DPE</i>	2,249(2)	2,324(1)	1,225(2)	1,358(1)
<i>RQME</i>	2,219(2)	2,293(1)	1,221(2)	1,355(1)
$\Sigma$	12	9	14	7

<sup>1</sup>Interseção (*b*); Coeficiente Angular (*a*); Coeficiente de determinação ( $R^2$ ), Média dos erros ( $\bar{E}$ ); Desvio Padrão dos Erros (*DPE*); Média dos Erros Absolutos ( $\overline{E\bar{A}}$ ); Raiz Quadrada Média dos Erros (*RQME*).

Para todas as avaliações o interpolador KO foi superior ao IPD (Tabela 4), concordando com trabalhos de Mello et al. (2003), Soares et al. (2008), Castro et al. (2010), Silva et al (2010), Silva et al. (2011) e Carvalho et al. (2012). De acordo com Soares et al. (2008) a superioridade

do interpolador da KO é atribuída a não-tendenciosidade do estimador e a variância mínima das estimativas sendo considerado um interpolador ótimo. Os valores obtidos a partir dos indicadores da validação cruzada revelam que ambos os métodos de interpolação em suas estimativas foram tendenciosos (Tabela 4), com valores da intersecção superiores a zero e do coeficiente angular inferiores a um. Este resultado indica que houve superestimação para valores baixos e subestimação dos valores altos, concordando com Yamamoto & Landim (2013). Contudo, a partir da média dos erros, verificou-se que essa subestimação ou superestimação é inferior a um indivíduo adulto de *T. limbativentris* por m<sup>2</sup>, sendo pouco representativo.

Pelos valores médios dos erros absolutos verificou-se uma relação direta com o aumento da densidade populacional de *T. limbativentris* (Tabela 1), com maior valor para a Avaliação 6 (Tabela 4). Já os valores dos desvios padrões dos erros e raiz quadrada média dos erros indicam haver uma menor variação destes com relação a média para o interpolador KO, o que ressalta sua maior acurácia com relação ao interpolador IDP.

Os mapas da distribuição espacial de adultos de *T. limbativentris* por m<sup>2</sup> interpolados respectivamente por KO e IDP para diferentes avaliações revelaram uma melhor delimitação das zonas com as densidades populacionais para o interpolador KO, onde as linhas apresentaram um comportamento orgânico, diferente do encontrado para o interpolador do inverso da distância ponderada, com linhas retilíneas (Figura 1 e 2). De acordo com Alves & Vecchia (2011) uma característica negativa do método de interpolação do inverso da distância ponderada é a geração de efeito mira ao redor dos pontos observados.

Figura 1 - Mapas da distribuição espacial de adultos de *Tibraca limbativentris* (Hemiptera: Pentatomidae) por m<sup>2</sup> interpolados respectivamente pela krigagem ordinária (KO) e inverso da distância ponderada (IDP) para diferentes avaliações na Lavoura 1.

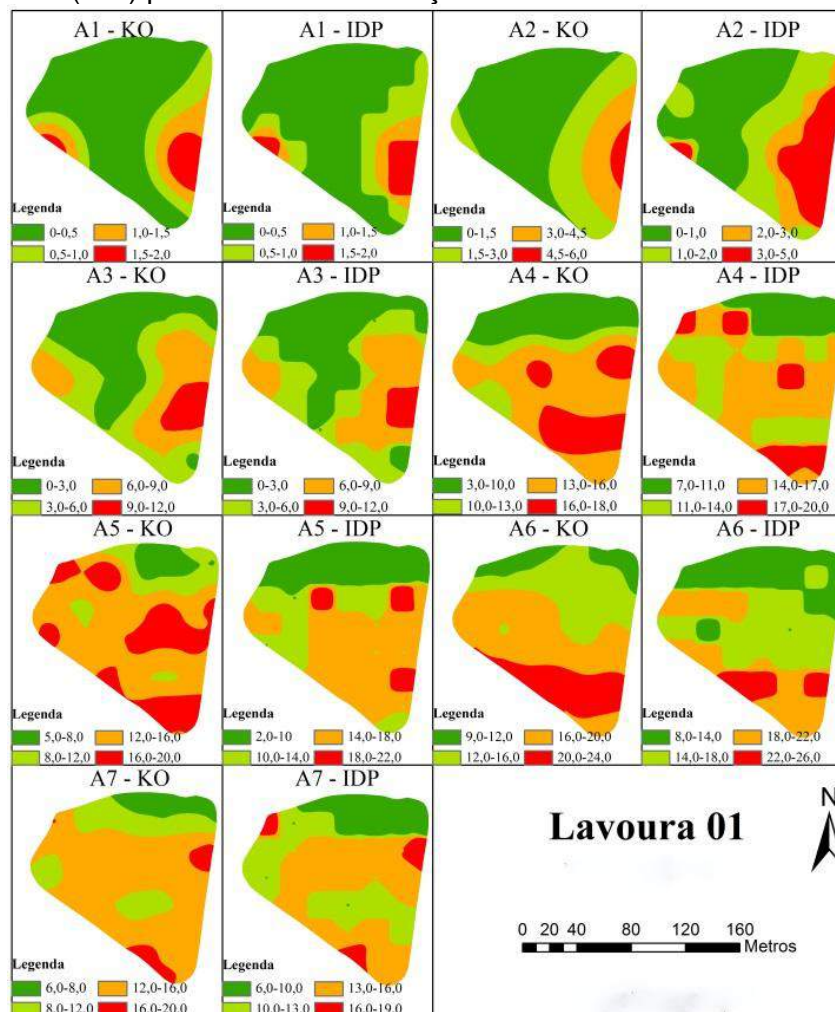
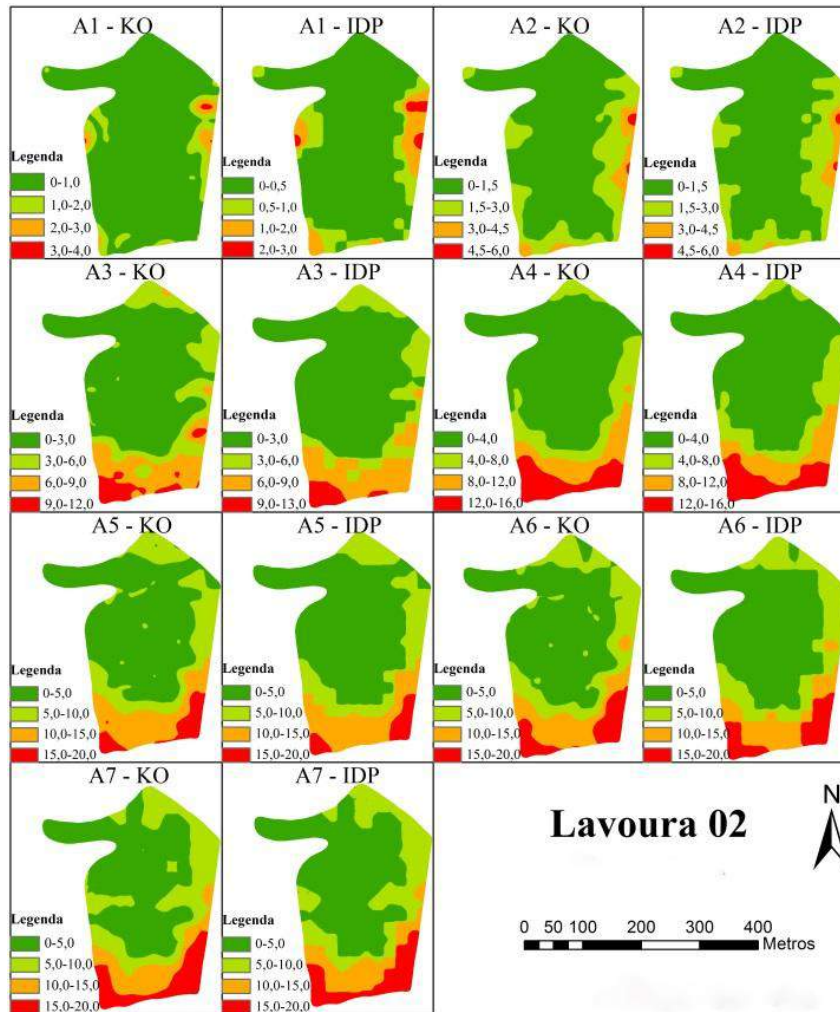


Figura 2 - Mapas da distribuição espacial de adultos de *Tibraca limbativentris* (Hemiptera: Pentatomidae) por m<sup>2</sup> interpolados respectivamente pela krigagem ordinária (KO) e inverso da distância ponderada (IDP) para diferentes avaliações na Lavoura 2.



## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método de interpolação krigagem ordinária apresenta melhor desempenho que o método do inverso da distância ponderada, aplicados na espacialização da densidade populacional de *Tibraca limbativentris* no cultivo do arroz irrigado.

## REFERÊNCIAS

ALVES, E. D. L.; VECCHIA, F. A. S. Análise de diferentes métodos de interpolação para a precipitação pluvial no Estado de Goiás. **Acta Scientiarum. Human and Social Sciences**, v. 33, n. 2, p. 193-197, 2011.

CHILÈS, J. P.; DELFINER, P. **Geostatistics modeling spatial uncertainty**. Wiley, New York, 1999, 695p.

COELHO, E. C. et al. Influência da densidade amostral e do tipo de interpolador na elaboração de mapas temáticos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.31, n.1, p.165-174, 2009.

- DAL PRÁ, E. et al. Uso da geoestatística para caracterização da distribuição espacial de larvas de *Diloboderus abderus*. **Ciência Rural**, v. 41, n. 10, p. 1689-1694, 2011.
- DINARDO-MIRANDA, L. L. et al. Uso da geoestatística na avaliação da distribuição espacial de *Mahanarva fimbriolata* em cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.3, p.449-455, 2007.
- DINARDO-MIRANDA, L. L. et al. Dispersal of *Cotesia flavipes* in sugarcane field and implications for parasitoid releases. **Bragantia**, v. 73, n. 2, p.163-170, 2014.
- GRECO, C. R. et al. Spatial distribution of *Pseudaletia sequax* franclemlont in triticales under no-till management. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 4, p. 321-327, 2006.
- GUEDES, I. C. L. et al. Técnicas geoestatísticas e interpoladores espaciais na estratificação de povoamentos de *Eucalyptus* sp. **Ciência Florestal**, v.22, n.3, p.541-550, 2012.
- HELDWEIN, A. B. et al. O clima de Santa Maria. **Ciência & Ambiente**, v.38, p.43-58, 2009.
- KANEGAE JÚNIOR, H. et al. Avaliação de interpoladores estatísticos e determinísticos como instrumento de estratificação de povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, v.12, n.2, p.123-136, 2006.
- MELLO, C. R. et al. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.5, p.925-933, 2003.
- MIRANDA, J. I. **Fundamentos de sistemas de informações geográficas**.1. ed. São Paulo: EMBRAPA, 2005.
- OLIVEIRA, J. V. de. et al. **Manejo de insetos associados à cultura do arroz irrigado**. Cachoeirinha: IRGA, 2010. 56p. (Boletim técnico, 8).
- PIRES, C. A. F.; STRIEDER, A. J. Modelagem Geoestatística de dados geofísicos, aplicada a pesquisa de Au no prospecto volta grande (Complexo Intrusivo Lavras do Sul, RS, BRASIL). **Revista Geomática**, v. 1, n. 1, p. 1303-1311, 2006.
- PASINI, M. B. P. et al. Semivariogram models for estimating fig fly population density throughout the year. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 7, p. 493-505, 2014.
- SILVA, A. F. et al. Métodos de interpolação para estimar o pH em solo sob dois manejos de café arábica. **Idesia**, v.28, n.2, p.61-66, 2010.
- SILVA, K. R. et al. Interpolação espacial da precipitação no Estado do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, v.18, n.4, p.417-427, 2011.
- SOARES, V. P. et al. Análise espacial da distribuição de cigarras (*Quesada gigas* Oliver) em povoamentos de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) na região de Dom Eliseu, PA. **Revista Árvore**, v.32, n.2, p.251-258, 2008.
- SOSBAI. **Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa Para o Sul do Brasil**. Porto Alegre: Sosbai, 2012. 177p.
- SANTOS, R. S. S. et al. Distribuição espacial de *Oebalus poecilus* (Dallas, 1851) (Hemiptera: Pentatomidae) durante a hibernação. **Entomotropica**, v.19, n.2, p.91-100, 2004.



SOUZA, G. S. et al. Krigagem ordinária e inverso do quadrado da distância aplicados na espacialização de atributos químicos de um argissolo. **Scientia Agraria**, v.11, n.1, p.73-81, 2010.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Geostatistics for environmental scientists** (Second Edition). John Wiley. & Sons, Ltd., 2007. 315p.

WALTER, L. C. et al. Mudanças climáticas e seus efeitos na cultura do arroz. **Ciência Rural**, v. 40, n. 11, p. 2411-2418, 2010.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solo para o mapeamento da fertilidade do solo**. Botucatu, UNESP, 2001. 114p. (Tese - Livre Docência).

## MAPAS TEMÁTICOS PARA O ÍNDICE DE CONE EM FUNÇÃO DA PRODUTIVIDADE

### *Thematic maps for the cone index in the function of productivity*

Matheus Anan de Paula Borba<sup>1</sup>, Tulio Marchi Bunhola<sup>2</sup>, Danilo Tedesco de Oliveira<sup>1</sup>,  
Rafael De Graaf Corrêa<sup>1</sup>, Luan Pereira de Oliveira<sup>1</sup>, Cristiano Zerbato<sup>1</sup>, Rouverson Pereira  
da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> FCAV/UNESP, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castelane, s/n, 14870-300, Jaboticabal – SP,  
Brasil, [matheusporba@gmail.com](mailto:matheusporba@gmail.com); [danielotedesco@outlook.com](mailto:danielotedesco@outlook.com); [rafadegraaf@gmail.com](mailto:rafadegraaf@gmail.com);  
[luanoliveirax@gmail.com](mailto:luanoliveirax@gmail.com); [zerbato@fcav.unesp.br](mailto:zerbato@fcav.unesp.br); [rouverson@gmail.com](mailto:rouverson@gmail.com)

<sup>2</sup> FAFRAM, R. Domingos Nunes Macedo, s/n, 14500-000, Ituverava – SP, Brasil,  
[tuliomarchib@hotmail.com](mailto:tuliomarchib@hotmail.com)

### RESUMO

A produtividade do amendoim é afetada principalmente pela resistência do solo à penetração do ginóforo, acarretando grandes perdas. Sendo assim, objetivou-se neste trabalho avaliar a relação entre o índice de cone e a produtividade. O experimento foi conduzido na área experimental, à qual pertence à Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão – FEPE, UNESP/FCAV, Jaboticabal – SP. Foi determinado o teor de água do solo, com auxílio de um trado holandês, posteriormente as amostras foram pesadas em balança de precisão portátil. Para quantificar a produtividade da cultura do amendoim, recolheu-se manualmente todo o material, após o arranquio mecanizado, para dentro de uma armação de 2m<sup>2</sup>, posteriormente, as amostras foram transportadas para o LAMMA, retirando-se as vagens das plantas, pesando-as seguidamente em uma balança de precisão. Por meio da análise de correlação de Pearson, a altura da leira e as perdas visíveis no processo de recolhimento apresentaram uma correlação negativa. Com isso podemos afirmar que não houve neste trabalho relação entre o índice de cone e produtividade.

**Palavras-chave:** Resistência do solo. Compactação. Rendimento.

### ABSTRACT

Peanut productivity is affected mainly by the resistance of the soil to the penetration of the gland, leading to heavy losses. Therefore, the objective of this study was to evaluate the relationship between cone index and productivity. The experiment was conducted in the experimental area, to which belongs to the Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão - FEPE, UNESP / FCAV, Jaboticabal - SP. The water content of the soil was determined with the aid of a Dutch test, after which the samples were weighed in a portable precision scale. In order to quantify the productivity of the peanut crop, all the material was collected manually, after the mechanized startup, inside a 2 m 2 frame, after which the samples were transported to the LAMMA and the pods were removed from the plants and then weighed in a precision scale. Through Pearson's correlation analysis, the height of the loop and the visible losses in the recall process had a negative correlation. With this, we can affirm that there was no relation between the cone and productivity index in this work.

**Keywords:** Soil strength. Compaction. Yield.

## 1 INTRODUÇÃO

O amendoim (*Arachis hypogaea L.*) é bastante explorado e consumido no Brasil e em vários países do mundo pelo seu agradável sabor e ótimo valor nutritivo, além de elevado teor de óleo. Seu cultivo se estende em várias regiões do país, devido a sua ampla adequabilidade em diferentes condições edafoclimáticas (PEIXOTO et al., 2008).

Apresenta um enorme potencial para a produção de biodiesel. No qual é fabricado a partir da adição de álcool e óleo vegetal (extraído de soja, dendê, babaçu, mamona, amendoim, etc.) ao combustível de origem fóssil. Entretanto, para que os fatores econômicos do mercado de amendoim explorem, efetivamente, essa oportunidade, terão de implantar ações tais como: plantar os cultivares com maior teor de óleo, otimizar o volume de produção, aumentar a produtividade e

expandir a área semeada (PERES et al., 2005).

A cultura do amendoim diferencia-se das demais culturas por produzir frutos abaixo da superfície do solo e, devido a esta particularidade, a colheita de amendoim deve ser realizada em duas fases distintas, denominadas arranquio e recolhimento (SEGATO e PENARIOL, 2007).

A compactação causa redução de massa por unidade de volume, acarretando maior densidade do solo e resistência mecânica do solo à penetração, com redução da porosidade total e com maior ênfase na redução dos poros de maior diâmetro (STONE et al., 2002). Em consequência, ocorre redução da infiltração e da redistribuição de água no solo, redução das trocas gasosas e da disponibilidade de oxigênio, limitação na absorção de água e nutrientes pelas plantas (HÅKANSSON; VOORHEES, 1998), alterando também a penetração, ramificação e distribuição das raízes no solo (SILVA et al., 2004), culminando com a redução da produtividade das culturas e da sustentabilidade dos solos agrícolas (BEUTLER et al., 2005).

O crescimento das plantas, entre outros, está diretamente relacionado com a aeração, resistência à penetração, água e temperatura (LETEY, 1985). Por isso, exceto a temperatura que tem menor influência no crescimento de plantas em clima tropical, a relação entre o crescimento das plantas e os outros três atributos físicos têm sido intensamente estudados, visando o estabelecimento de valores a partir dos quais a produtividade decresce. Cannel (1977) definiu a porosidade mínima de 10% para que a difusão de oxigênio não prejudique o sistema radicular. TAYLOR et al. (1966), SILVA et al. (1994), TORMENA et al. (1998), adotaram o valor de resistência mecânica do solo à penetração (RP) de 2,0 MPa como limitante ao crescimento radicular das plantas. Os valores críticos de resistência mecânica do solo à penetração, ao crescimento radicular e, conseqüentemente, à produtividade das culturas agrícolas variam com o tipo de solo, conteúdo de água, teor de matéria orgânica, culturas e até cultivares (TAYLOR et al., 1966; DEXTER, 1987), sendo que, na literatura, são encontrados resultados contraditórios quanto ao desenvolvimento das plantas em solos compactados.

Desta forma, objetivou-se neste trabalho avaliar a relação entre a resistência mecânica do solo à penetração e a produtividade.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão – FEPE, UNESP/FCAV, Jaboticabal - SP, localizado próximo às coordenadas geodésicas latitude 21º 15' S e longitude 48º 16' WO. O solo do local é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico, com horizonte A moderado, textura argilosa e relevo suave ondulado. O clima da região é classificado do tipo Aw, definido como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A cultivar utilizada foi a OL 3, sendo distribuídas na semeadura 22 sementes m<sup>-1</sup>, com espaçamento entrelinhas de 0,9m e uma adubação de 350 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 07-34-11 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O).

Para cada dia que foi realizado o arranquio mecanizado e em ambos os talhões, foram determinados o teor de água do solo (umidade gravimétrica), com auxílio de um trado holandês, coletando dez pontos aleatórios em uma profundidade 0,0-0,2m (definida para amostragem da umidade do solo por ser a região onde se concentra a maior parte das vagens do amendoim), assim acondicionadas em latas de alumínio, sendo pesadas imediatamente em balança de precisão portátil, enviadas ao laboratório e aplicado o seguinte procedimento (EMBRAPA, 1997):

1. Colocar a amostra, com ou sem estrutura deformada, em lata de alumínio identificada;
2. Transferir para estufa a 105 ± 3 °C deixando nesta condição durante 24 horas;
3. Retirar da estufa, colocar em dessecador, deixar esfriar e pesar;
4. E, por fim, realizar o seguinte cálculo;

Posteriormente, foi aplicado a seguinte fórmula (Equação 1):

$$UG = \frac{(a-b)}{b} \times 100 \quad (1)$$

em que:

UG = Umidade gravimétrica;  
a = peso da amostra úmida (g);  
b = peso da amostra seca (g).

Para quantificar a produtividade da cultura do amendoim, foram coletados cinco pontos aleatórios, recolhendo manualmente todo o material dentro de uma armação de 2m<sup>2</sup> (1,80 x 1,11m), colocada transversalmente a leira realizada após o arranquio mecanizado, sendo colocadas dentro de um saco plástico e identificadas. Posteriormente, as amostras foram transportadas para o laboratório, onde foram lavadas para retirada do solo aderido à parte externa, e mensurada a massa em balança digital com precisão de 0,01 g. Após a lavagem, parte das vagens foi colocada em estufa elétrica, a 105 ± 3°C, por 24 horas (BRASIL, 1992), para secagem, sendo após determinado o teor de água da amostra, e então calculado a produtividade (em kg ha<sup>-1</sup>) a 8% (teor de água de armazenamento do amendoim), conforme a Equação 2, foram transformados para kg ha<sup>-1</sup>:

$$Mf = \frac{100-TA}{100-TAp} \times Mi \quad (2)$$

em que:

Mf: massa final das vagens, que corresponde ao peso da amostra com teor de água à 8% (kg);

TA: teor de água da amostra coletada (%);

TAp: teor de água de armazenamento do amendoim (8%);

Mi: massa inicial das vagens, que corresponde ao peso da amostra coletada (kg).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O tráfego de máquinas agrícolas e o mau preparo de solo acarretam a compactação do solo, provocando uma péssima penetração do ginóforo ao solo, conseqüentemente uma menor produtividade.

Gentile (2009) e Oliveira et al. (2009) observaram menores perdas no arranquio do amendoim nos tratamentos com maior teor de água no solo e nas vagens, corroborando com os resultados encontrados por Behera et al. (2008), que encontraram perdas totais de 23% no arranquio mecanizado realizado com teor de água no solo de 8%, constatando que essas perdas diminuíram gradualmente com o aumento do teor água do solo para 10% e 12%. Neste sentido, Santos et al. (1994) afirmam que o menor teor de água nas vagens do amendoim facilita o desprendimento da vagem do ginóforo da planta. Por meio da análise de correlação de Pearson, a altura da leira e as perdas visíveis no processo de recolhimento apresentaram uma correlação negativa. Com isso podemos afirmar que não houve neste trabalho relação entre o índice de cone e produtividade.

Com os mapas temáticos confeccionados (Figura 1) e (Figura 2) é possível visualizar a não semelhança entre as regiões, estando de acordo com os valores obtidos na correlação de Pearson.

Figura 1. Mapa de índice de cone na profundidade de 0,0-0,20m.

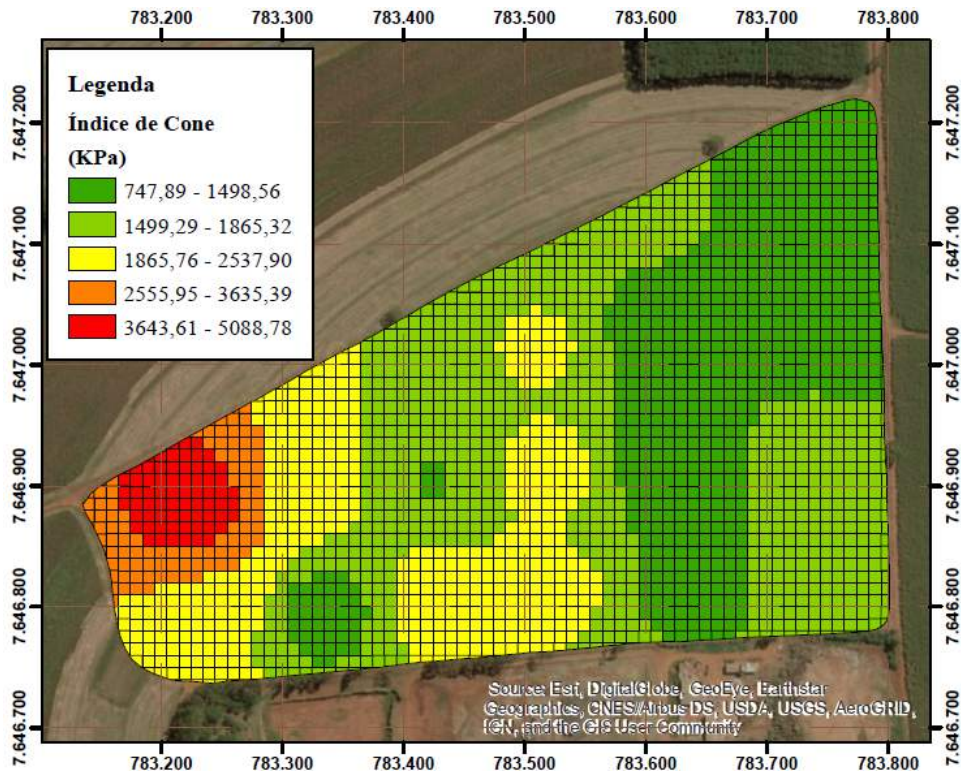
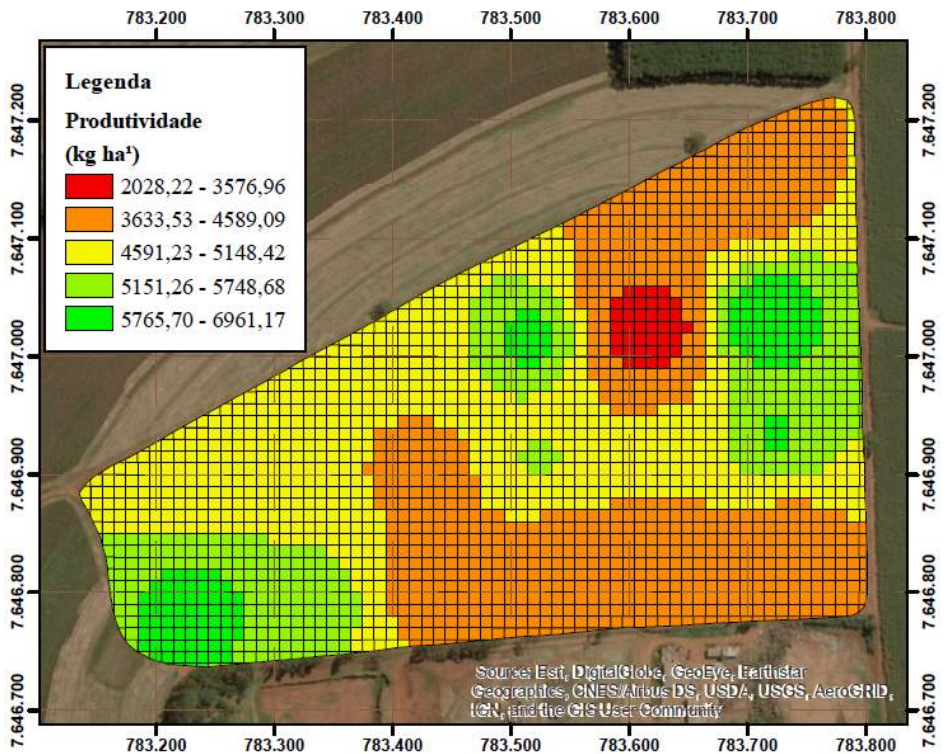


Figura 2. Mapa de produtividade da cultura do amendoim.



## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluimos por meio deste trabalho que não houve relação entre o índice de cone e a produtividade confirmados por intermédio da correlação de Pearson.

Com os mapas temáticos confeccionados (Figura 1) e (Figura 2), mostraram-se como um excelente procedimento na localização e visualização de zonas compactadas, e da produtividade, porém não houve semelhança entre as regiões.

## REFERÊNCIAS

- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; da SILVA, A. P. Soil resistance to penetration and least limiting water range for soybean yield in a haplustox from Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 48, p. 863-871, 2005.
- BEHERA, B. K.; BEHERA, D.; MOHAPATRA, A. K.; SWAIN, S.; GOEL, A. K. **Performance evaluation of a bullock drawn groundnut digger**. *Environment and Ecology*, v. 26, n. 3A, p. 1226-1229, 2008.
- CANNEL, R. Q. Soil aeration and compaction. **Appl. Biol.**, v. 2, p. 1-86, 1977
- GENTILE, D. C. **Perdas no arranquio manual e mecanizado de amendoim na região noroeste do Paraná**. 2009. 41 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia). Universidade Estadual de Maringá, Cidade Gaúcha, 2009.
- DEXTER, A. R. Mechanics of root growth. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 98, n.3, p. 303-312, 1987
- HÅKANSSON, I.; VOORHEES, W. B. Soil compaction. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C.; STEWARD, B. A. **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton: CRS Press, 1998. p. 167-179 (Advances in Soil Science).
- INCE, A.; GUZEL, E. Effects of **gynophore breaking resistance on losses in mechanized peanut** harvesting. In: International Conference on Crop Harvesting and Processing, 2003, Louisville. ASAE Publication Number 701P1103e, ed. Graeme Quick. 2003.
- LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, v. 1, p. 277-294, 1985
- OLIVEIRA, K. R.; BERTONHA, R. S.; SILVA, R. P.; MEDEIROS, R. S.; CAVICHIOLI, F. A. Teor de água das vagens e perdas na colheita de amendoim na região de olímpia – SP. In: ENCONTRO SOBRE A CULTURA DO AMENDOIM, 6., 2009, Jaboticabal. **Anais...**, Jaboticabal: Funep, 2009. 1 CD-ROM.
- PEIXOTO, C. P.; GONÇALVES, J. A.; PEIXOTO, M. F. S. P.; CARMO, D. O. **Características agrônômicas e produtividade de amendoim em diferentes espaçamentos e épocas de semeadura no recôncavo baiano**. *Bragantia*, Campinas, v. 67, n. 3, p. 563-568, 2008.
- PERES, J.R.R.; FREITAS JR., E.; GAZZONI, D.L. Biocombustíveis: uma oportunidade para o agronegócio brasileiro. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, Secretaria de Política Agrícola do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (SPA/MAPA), ano 14, n.1, p. 31-41, jan./fev./mar. 2005.
- SANTOS, A. H. P., FERRAZ, A. C. O, DAL FABRO, I. M, Força de destacamento da vagem do pedúnculo do amendoim. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23., 1994, Campinas, SP. **Anais...** Campinas, 1994.
- SEGATO, S. V.; PENARIOL, A. L. **A cultura do amendoim em áreas de reforma de canavial**. In: SEGATO, S. V.; FERNANDES, C.; PINTO, A. S. Expansão e Renovação de Canavial. Piracicaba: Editora CP 2, 2007, p. 85-116.
- SILVA, A. P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p. 1775-1781, 1994.
- SILVA, A. P.; IMNHOF, S.; KAY, B. Plant response to mechanical resistance and air-filled porosity of soils under conventional and no-tillage system. **Scientia Agrícola**, v. 61, p. 451-456, 2004.
- STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, A. A. J. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p.2 07-212, 2002.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER Jr., J. J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, v. 102, p.18-22, 1966.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.573-581, 1998.

## MAPEAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL DE PLANTAS DE SOJA EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

### *Soybean plant longitudinal distribution mapping in crop-livestock integration system*

Eduardo Leonel Bottega<sup>1</sup>, Daniel Alves da Veiga Grubert<sup>2</sup>, Bruna Orsi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Maria, campus de Cachoeira do Sul, Rua Ernesto Barros, 1345,  
96506-322, Cachoeira do Sul – RS, Brasil, [eduardo.bottega@ufsm.br](mailto:eduardo.bottega@ufsm.br)

<sup>2,3</sup> Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), Endereço, CEP, Piracicaba – SP, Brasil,  
[danielgrubert51@gmail.com](mailto:danielgrubert51@gmail.com), [brunaorsi51@gmail.com](mailto:brunaorsi51@gmail.com)

### RESUMO

A operação de semeadura da soja tem grande importância no rendimento da cultura, pois a uniformidade da distribuição longitudinal de sementes pode contribuir para um adequado estande de plantas e melhoria da produtividade. Este trabalho objetivou estudar a variabilidade espacial da distribuição longitudinal entre plantas de soja, em sistema de integração lavoura-pecuária. Para isso, foi estabelecida uma malha composta por 66 pontos amostrais georreferenciados. A avaliação da distribuição longitudinal de plantas foi realizada com as plantas em estágio vegetativo V4. Em cada ponto amostral foi efetuada a contagem das plantas presentes em um metro, bem como mensurada a distância (X, cm) entre plantas na linha de cultivo. Os dados foram coletados em três linhas de um metro cada, em cada ponto. Avaliou-se a porcentagem de espaçamentos falhos ( $X > 10,5$ ), duplos ( $X < 3,5$ ) e normais ( $3,5 < X < 10,5$ ). A dependência espacial foi avaliada pelo programa GS+, versão 9. A variabilidade espacial dos atributos espaçamentos falhos e espaçamentos normais apresentou dependência espacial moderada, com alcances de 84,9 e 96,5 metros, respectivamente. A classe de espaçamentos duplos e plantas por metro não apresentaram dependência espacial na distância entre pontos amostrais utilizada, indicando que suas distribuições são aleatórias.

**Palavras-chave:** *Glycine max*. Variabilidade espacial. Geostatística.

### ABSTRACT

The sowing operation of soybean has great importance in crop yield, since the uniformity of the longitudinal distribution of seeds can contribute to an adequate plant stand and productivity improvement. This work aimed to study the spatial variability of the longitudinal distribution among soybean plants, in a crop - livestock integration system. For this, a mesh composed of 66 georeferenced sample points was established. The evaluation of the longitudinal distribution of plants was carried out with the plants in vegetative stage V4. At each sampling point, the plants were counted in a meter, as well as measured at distance (X, cm) between plants in the growing line. The data were collected in three lines of one meter each, at each point. The percentage of faulty ( $X > 10.5$ ), double ( $X < 3.5$ ) and normal ( $3.5 < X < 10.5$ ) spacing was evaluated. The spatial dependence was evaluated by the GS+ program, version 9. The spatial variability of the attributes normal spacing and spacing showed moderate spatial dependence, with a range of 84.9 and 96.5 meters, respectively. The class of double spacing and plants per meter did not show spatial dependence on the distance between sample points used, indicating that their distributions are random.

**Keywords:** *Glycine max*. Spatial variability. Geostatistics.

## 1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das mais importantes culturas cultivadas no mundo, sendo amplamente utilizada na alimentação humana e animal, na produção de biocombustíveis e diversos outros subprodutos. A uniformidade da distribuição longitudinal de plantas pode contribuir para um adequado estande de plantas e melhoria da produtividade (SANTOS et al., 2011). A operação de semeadura tem grande importância no rendimento da cultura, pois influencia o estabelecimento de um estande de plantas uniformemente distribuídas nas linhas, com competitividade e eficiência no uso dos recursos do ambiente (TOURINO et al., 2009).

Na cultura da soja o agrupamento de plantas em determinados pontos pode ocasionar



plantas menos ramificadas, mais altas, com menor produtividade individual além de reduzir o diâmetro dos caules, tornando-as mais suscetíveis ao acamamento. Ao contrário, espaçamentos falhos na linha podem dar origem a plantas de soja com tamanho reduzido e facilitar o desenvolvimento de plantas daninhas, diminuindo a produtividade (PINHEIRO NETO et al., 2008), ressaltando que os fatores genéticos inerentes a cultura, fertilidade do solo e população de plantas de soja podem determinar esse comportamento fenotípico, e muitas vezes, dependendo da cultivar, a capacidade da planta em alterar sua morfologia e componentes do rendimento para adequar-se ao arranjo espacial imposto a ela (plasticidade) pode compensar a variação dos espaçamentos de plantas mantendo a produtividade (PIRES et al., 2000; RAMBO et al., 2003).

Segundo SILVEIRA et al. (2005) diversos fatores determinam a uniformidade de distribuição das plantas nas linhas como a porcentagem de germinação, vigor e pureza das sementes, ataque de pragas e doenças, teor de umidade e temperatura do solo, bem como os tipos de semeadoras e regulagens. Em relação às semeadoras, as variáveis da operação de semeadura como velocidade de semeadura, profundidade de deposição de sementes e mecanismo dosador de sementes desempenham grande importância e afetam diretamente a distribuição longitudinal de plantas. A qualidade da dosagem de sementes, expressa pela porcentagem de espaçamentos normais, falhos e duplos, e o coeficiente de variação dos espaçamentos são utilizados para avaliação de características operacionais de semeadoras (KURACHI et al., 1989; DIAS et al., 2009).

Outro fator inerente ao sucesso no estabelecimento na cultura da soja é o sistema de cultivo adotado na área. A adoção do sistema integração lavoura-pecuária (ILP) é uma crescente na região Sul do Brasil. Este sistema possibilita incrementar a renda do produtor por área cultivada, em função da rotação, consórcio e ou sucessão das atividades de agricultura e pecuária, resultando no aumento da complexidade do ambiente. Refletindo na oferta de grãos, carne, e demais subprodutos resultantes desse sinergismo entre pastagem e lavoura (GONÇALVES; FRANCHINI, 2007). Esta forma de exploração altera as características do solo, o que resulta em variabilidade ao longo da área de cultivo, modificando as condições de semeadura.

A variabilidade dos atributos físicos e químicos dos solos, relevo, plantas, manejo, enfim, de todos os fatores de produção, se expressa na colheita através de diferenças na produtividade ao longo da lavoura (MOLIN, 2002). Porém, segundo a teoria das variáveis regionalizadas, essa variabilidade pode carregar consigo uma forte influência dos valores de sua vizinhança (REICHARDT; TIMM, 2012). Dessa forma, a estatística clássica que assume que a variação das amostras é aleatória e independente não representa de forma ideal a variabilidade que apresenta dependência espacial, podendo levar a erros e alterar resultados de pesquisas, sendo o mais adequado nestes casos o uso da geostatística, que, por sua vez, permite avaliar a continuidade e a variação dos valores de um atributo de um local para outro (CARVALHO; SILVEIRA; VIEIRA, 2010; REICHERT et al., 2008; FARACO et al., 2008).

O semivariograma, uma das ferramentas da geostatística, analisa o grau de dependência espacial entre amostras dentro de um campo experimental, definindo os parâmetros fundamentais para a estimativa de valores em locais não amostrados através da técnica de krigagem, e que, posteriormente, torna possível a construção de mapas da distribuição espacial do atributo em estudo na área (DALCHIAVON; CARVALHO, 2012). Portanto, a análise conjunta dos semivariogramas e mapas obtidos através da krigagem permitem o conhecimento da distribuição longitudinal de plantas e a influência deste fator na variabilidade da produtividade de soja, sendo fundamental à tomada de decisão nas práticas de manejo, regulagens da semeadora e agricultura de precisão (SANTOS et al., 2011).

O objetivo deste trabalho foi estudar a variabilidade espacial da distribuição longitudinal de plantas de soja em uma área comercial sob sistema de integração lavoura-pecuária, na região de Curitiba, Santa Catarina.

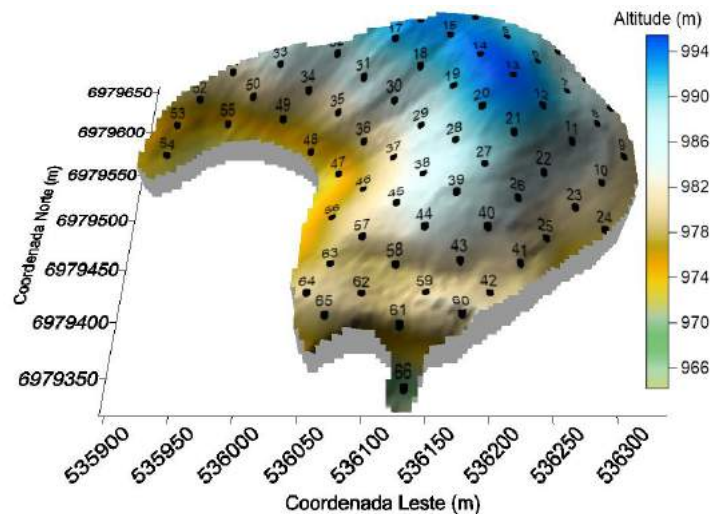
## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido no município de Curitibaanos, estado de Santa Catarina, durante a safra 2015/2016, em uma área de 8,3 hectares, onde se adota o sistema de integração lavoura-pecuária há três anos. A área está localizada à 27°18'41" de latitude Sul e 50°38'06" de longitude Oeste. O solo do local é classificado como LATOSSOLO Bruno, de textura argilosa (EMBRAPA, 2013). O clima da região é mesotérmico úmido com verão ameno (Cfb), com temperatura média anual de 16° C e precipitação média de 1600 mm (ALVARES et al., 2013).

O conjunto mecanizado utilizado para semeadura da cultura da soja foi composto por uma semeadora-adubadora, marca Stara, modelo Victoria, equipada com 14 linhas espaçadas em 0,45 metros, com mecanismo dosador de sementes do tipo disco alveolado horizontal. A semeadora foi tracionada por um trator John Deere, modelo 6165 J, com 165 cv de potência nominal (121,3 kW). A velocidade de semeadura adotada foi de 7 km h<sup>-1</sup>. A cultivar de soja utilizada foi a Nidera 6909 IPRO.

Estabeleceu-se, na área estudada, uma malha amostral composta por 66 pontos georreferenciados, distanciados 50 metros entre si, que serviram como base para coleta dos dados (Figura 1).

Figura 1 – Modelo digital de elevação e localização espacial dos pontos amostrais utilizados como referência na coleta de dados



Em cada ponto amostral foi efetuada a mensuração da distância entre plantas e plantas por metro presentes em três linhas de um metro de comprimento, no estágio vegetativo V4. Determinou-se o percentual de espaçamentos normais, falhos e duplos (KURACHI et al., 1989) entre as plantas na linha de semeadura. Realizou-se análise estatística descritiva, teste de normalidade dos dados de Shapiro Wilk's ( $p > 0,05$ ) e calculou-se o coeficiente de correlação de Pearson ( $p < 0,05$ ). Posteriormente, realizou-se análise geoestatística. A dependência espacial foi avaliada pelo ajuste de variogramas, pressupondo a estacionaridade da hipótese intrínseca, definida pela Equação 1.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_{i+h})]^2 \quad (1)$$

Em que:  $\hat{\gamma}(h)$  = Semivariância em função da distância de separação (h) entre pares de pontos; h = Distância de separação entre pares de pontos, m; N (h) = Número de pares experimentais de observações Z(x<sub>i</sub>) e Z (x<sub>i+h</sub>) separados por uma distância h.

Foram testados os modelos, linear com patamar, gaussiano, esférico e exponencial. Selecionou-se o modelo que apresentou a menor soma dos quadrados do resíduo (SQR). Após a

escolha do modelo, foram determinados os parâmetros: efeito pepita ( $C_0$ ), que é o valor da semivariância quando  $h$  é igual a zero; patamar ( $C_0 + C$ ), cujo valor é aproximadamente igual a variância dos dados; alcance ( $A$ ) a partir da qual a semivariância é constante.

O índice de dependência espacial (IDE), que é a proporção em porcentagem do efeito pepita ( $C_0$ ) em relação ao patamar ( $C_0 + C$ ), foi calculado usando a Equação 2, de acordo com CAMBARDELLA et al. (1994), e apresenta a seguinte proporção: dependência espacial forte, semivariogramas que têm um efeito pepita menor ou igual a 25% do patamar, moderada quando está entre 25 e 75% e fraca quando for maior que 75%.

$$IDE = \left( \frac{C_0}{C_0 + C} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

Uma vez detectada a dependência espacial, produziu-se o mapa temático da distribuição espacial do atributo por meio de krigagem ordinária, onde cada ponto da superfície é estimado a partir da interpolação das amostras mais próximas, utilizando um estimador estatístico com base no variograma. Para as estimativas de valores em locais não amostrados, utilizou-se 16 vizinhos próximos e um raio de busca igual ao valor do alcance encontrado no ajuste do variograma.

A estimativa de valores em locais não amostrados, utilizando krigagem ordinária, descrita por TRANGMAR et al. (1985), como o valor interpolado  $\hat{Z}(x_0)$  de uma variável regionalizada  $Z$ , num local  $x_0$  pode ser determinada de acordo com a Equação 3.

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n [\lambda_i Z(x_i)] \quad (3)$$

Em que:  $\hat{Z}(x_0)$  = Valor estimado para local  $x_0$  não amostrado;  $Z(x_i)$  = valor obtido por amostragem no campo;  $n$  = número de amostras vizinhas;  $\lambda_i$  = pesos aplicados em cada  $Z(x_i)$ , sendo gerados por um estimador BLUP (*best linear unbiased predictor*), descrito por ROBINSON (1991) como estimadores lineares não viciados e de mínima variância.

A construção do estimador  $\hat{Z}(x_0)$ , na krigagem ordinária, não requer o conhecimento inicial da média estacionária da amostragem (LANDIM, 1998), mas requer que a soma dos pesos seja igual a 1 (UZUMAKI, 1994). Ainda, de acordo com UZUMAKI (1994), o sistema de krigagem Ordinária tem solução única se o modelo de variograma for válido. A Krigagem, além de ser um estimador não tendencioso, é um interpolador exato, isto é, se o ponto a ser estimado coincidir com um dos pontos amostrados, o valor estimado deverá ser igual ao valor amostrado.

A análise estatística foi realizada no software Statistica®, versão 7. Para análise geoestatística utilizou-se o software GS+®, versão 9. Os mapas temáticos foram gerados utilizando o software Surfer®, versão 8.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 1 são apresentados os parâmetros estatísticos que caracterizam os dados das variáveis estudadas. Os valores do coeficiente de variação (CV) de todas as classes de espaçamentos foram classificados como médio ( $12\% < CV < 60\%$ ) e o CV de plantas por metro foi considerado baixo ( $CV < 12\%$ ), segundo a classificação proposta por WARRICK; NIELSEN (1980). Todas variáveis apresentaram distribuição normal pelo teste de normalidade de Shapiro Wilk's ( $p > 0,05$ ). CORTEZ et al., (2006) em experimento avaliando a distribuição longitudinal de sementes de soja em plantio direto, obteve valores médios de porcentagem de EF, EN e ED, respectivamente, 22,5%, 59% e 18,5%. Segundo MIALHE (1996) é considerada uma semeadura

de precisão uma porcentagem de espaçamentos normais acima de 60%, o que não foi observado na média geral de espaçamentos normais.

Tabela 1 – Estatística descritiva e teste de normalidade das variáveis estudadas.

	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Variância	$\sigma^{(1)}$	CV(%)	w <sup>(2)</sup>
EF <sup>(3)</sup>	16,08	15,06	1,67	42,61	71,87	8,48	52,71	0,96 <sup>ns</sup>
EN <sup>(4)</sup>	50,92	51,44	32,14	77,78	87,85	9,37	18,41	0,97 <sup>ns</sup>
ED <sup>(5)</sup>	33,00	32,99	13,33	50,65	52,65	7,26	21,99	0,99 <sup>ns</sup>
PM <sup>(6)</sup>	17,14	17,17	12,00	21,33	3,52	1,88	10,95	0,98 <sup>ns</sup>

<sup>(1)</sup>Desvio padrão; <sup>(2)</sup>Teste de normalidade de Shapiro-Wilk ( $p < 0,05$ ); <sup>(3)</sup>Espaçamentos falhos (%); <sup>(4)</sup>Espaçamentos normais (%); <sup>(5)</sup>Espaçamentos duplos (%); <sup>(6)</sup>Plantas por metro; <sup>ns</sup>Distribuição normal.

Na análise de correlação de Pearson (Tabela 2), correlação negativa significativa foi observada entre espaçamentos falhos (EF) e espaçamentos normais (EN) e plantas por metro (PM), indicando que ao aumentar a proporção de espaçamentos falhos, a proporção de espaçamentos normais e a quantidade de plantas por metro diminuem. Correlação positiva significativa foi observada entre espaçamentos duplos (ED) e plantas por metro. Este fato é indicativo de que quanto maior o número de plantas por metro, maior a quantidade de espaçamentos duplos, ou seja, ocorreu um incremento na deposição de sementes por metro de linha de semeadura.

Tabela 2 – Análise de correlação de Pearson entre as variáveis estudadas.

	EF <sup>(1)</sup>	EN <sup>(2)</sup>	ED <sup>(3)</sup>	PM <sup>(4)</sup>
EF	1,00			
EN	-0,61*	1,00		
ED	-0,18	-0,67*	1,00	
PM	-0,71*	0,07	0,58*	1,00

<sup>(1)</sup>Espaçamentos falhos; <sup>(2)</sup>Espaçamentos normais; <sup>(3)</sup>Espaçamentos duplos; <sup>(4)</sup>Plantas por metro. \*Significativo a 5% de probabilidade.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados da análise geostatística e da validação cruzada das variáveis estudadas.

Tabela 3 – Parâmetros dos semivariogramas teóricos e da análise de validação cruzada referente à modelagem da dependência espacial das variáveis estudadas.

Atributo	Parâmetros geoestatísticos						
	Modelo	a <sup>(1)</sup>	C <sub>0</sub> +C <sup>(2)</sup>	C <sub>0</sub> <sup>(3)</sup>	IDE <sup>(4)</sup>	SQR <sup>(5)</sup>	R <sup>2(6)</sup>
EF <sup>(7)</sup>	Gaussiano	84,9	79,91	37	Moderado	32,9	0,976
EN <sup>(8)</sup>	Esférico	96,5	92,13	30,2	Moderado	169	0,821
ED <sup>(9)</sup>	----- Efeito pepita puro -----						
PM <sup>(10)</sup>	----- Efeito pepita puro -----						
Parâmetros da análise de validação cruzada							
	Coeficiente de Regressão	Y <sup>(11)</sup>	EPP <sup>(12)</sup>	R <sup>2</sup>			
EF	0,85	2,66	7,62	0,19			
EN	0,86	6,8	8,32	0,21			

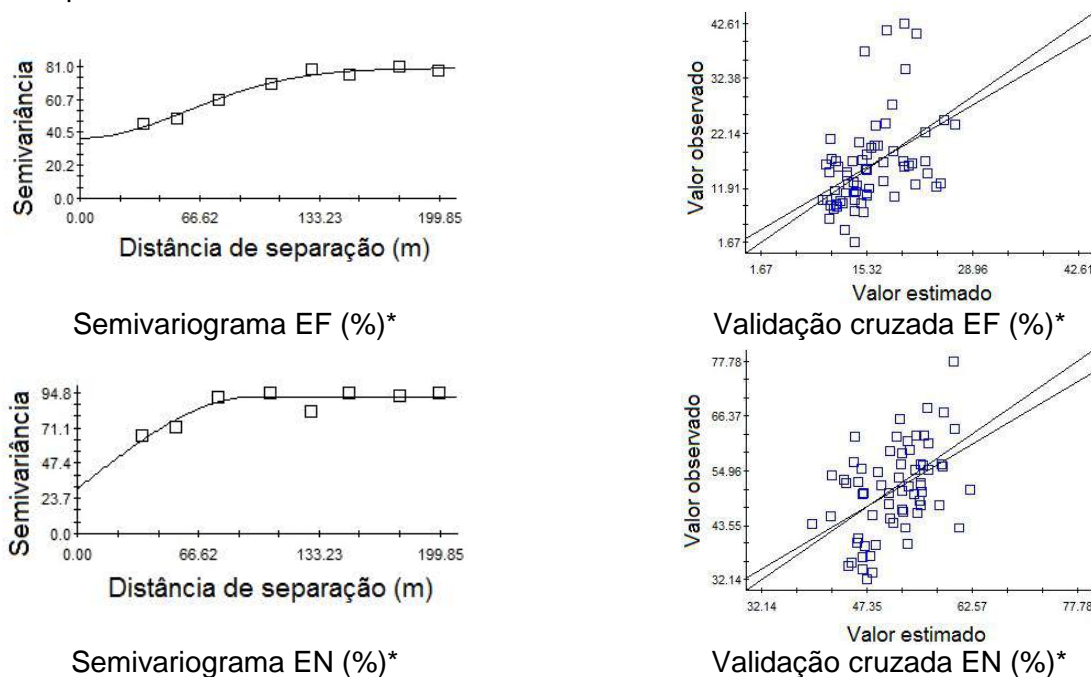
<sup>(1)</sup>Alcance (m); <sup>(2)</sup>Patamar; <sup>(3)</sup>Efeito pepita; <sup>(4)</sup>Índice de dependência espacial; <sup>(5)</sup>Soma de quadrados do resíduo; <sup>(6)</sup>Coeficiente de determinação; <sup>(7)</sup>Espaçamentos falhos (%); <sup>(8)</sup>Espaçamentos normais (%); <sup>(9)</sup>Espaçamentos duplos (%); <sup>(10)</sup>Plantas por metro; <sup>(11)</sup>Intercepto; <sup>(12)</sup>Erro padrão de predição.

Na análise do IDE, as classes de EF e EN apresentaram dependência espacial moderada, resultados estes diferentes dos observados por SANTOS et al. (2011) que, avaliando a

distribuição longitudinal de sementes de milho, não encontraram dependência espacial nestas classes de espaçamentos. Segundo BOTTEGA et al. (2013), o modelo gaussiano e o modelo esférico representam, respectivamente, elevada e baixa continuidade da variabilidade espacial do atributo.

Na validação cruzada os coeficientes de regressão dos espaçamentos falhos e dos espaçamentos normais foram próximos ao ideal. Entretanto, para o coeficiente de determinação, os valores obtidos para EF e EN foram baixos. Nas regiões com valores maiores para espaçamentos normais são encontrados valores mais baixos para espaçamentos falhos e vice-versa, o que é lógico de se esperar para classes que representam uma proporção dentro de uma mesma variável (espaçamentos), sendo que o aumento de um implica na redução do outro. Nas Figuras 2 e 3 são apresentados, respectivamente, os gráficos de ajuste dos semivariogramas e validação cruzada e também os mapas temáticos da distribuição espacial dos atributos espaçamentos falhos (EF; %) e espaçamentos normais (EN, %).

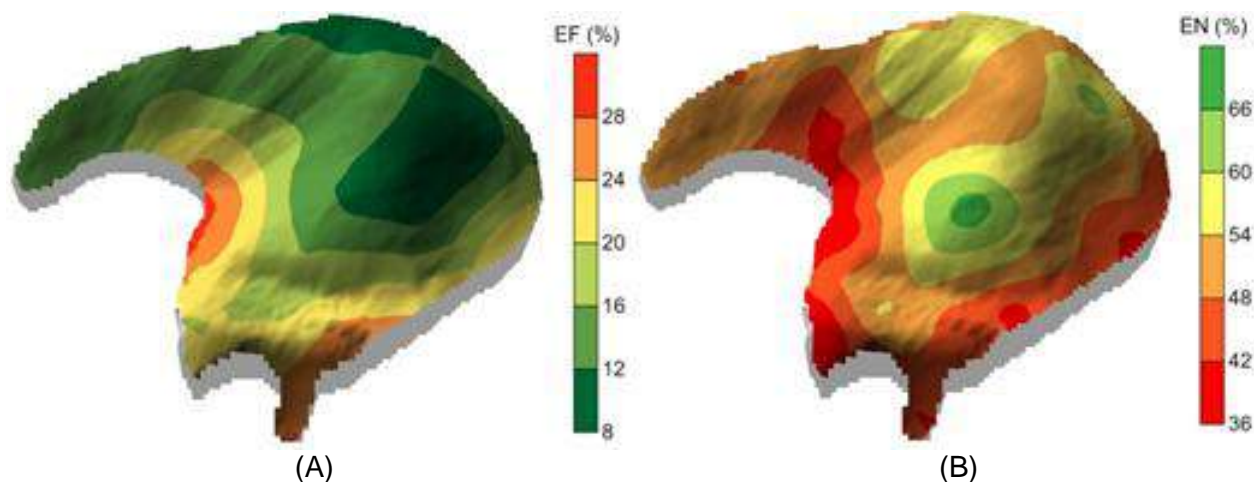
Figura 2 – Semivariogramas teóricos e validação cruzada resultantes da modelagem da dependência espacial das variáveis espaçamentos falhos e espaçamentos normais. \*Parâmetros de ajuste apresentados na Tabela 3.



Uma análise visual dos mapas de distribuição espacial da porcentagem espaçamentos falhos (Figura 3A) e espaçamentos normais (Figura 3B) permite estabelecer uma relação destes com a variação de altitude da área. Observa-se que as menores porcentagens de espaçamentos falhos e, conseqüentemente, as maiores porcentagens de espaçamentos normais encontra-se no topo da área. O contrário é observado nos locais de menor altitude (bordadura da área). Este fato pode estar associado às variações na velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora, sendo empregadas maiores velocidades nas bordaduras da área. Estudos conduzidos por BOTTEGA et al. (2014) demonstraram que o aumento na velocidade de deslocamento ocasiona redução da média de espaçamento normal entre plantas.

Figura 3 – Mapas temáticos da distribuição espacial da porcentagem de espaçamentos falhos (A)

e espaçamentos normais (B).



## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A variabilidade espacial dos atributos espaçamento falho (EF) e espaçamento normal (EN) apresentou dependência espacial classificada como moderada, com alcances de 84,9 e 96,5 metros, respectivamente. A classe de espaçamentos duplos e plantas por metro não apresentaram dependência espacial na distância entre pontos amostrais utilizada, indicando que suas distribuições são aleatórias ou malha amostral utilizada não apresentou densidade suficiente para captar tal variabilidade.

## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n.6, p. 711–728, 2013.
- BOTTEGA, E.L.; BRAIDO, R.; PIAZZETTA, H.V.L.; OLIVEIRA NETO, A.M.; GUERRA, N. Efeitos da profundidade e velocidade de semeadura na implantação da cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*, Recife, v.19, n.2, p.74-78, jul./dez. 2014
- BOTTEGA, E.L.; QUEIROZ, D.M.; PINTO, F.A.C.; SOUZA, C.M.A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. *Revista Ciência Agrônômica*, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; NOVAK, J.M.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. *Soil Science Society of America Journal*, v. 58, p. 1501-1511, 1994.
- CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M.; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, 2002.
- CORTEZ, J.W.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, R.P.; LOPES, A. Distribuição longitudinal de sementes de soja e características físicas do solo no plantio direto. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.26, n.2, p.502-510, 2006.
- DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 33, n. 2, p. 541-552,

2012.

DIAS, V.O.; ALONÇO, A.S. BAUMHARDT, U.B.; BONOTTO, G.J. Distribuição de sementes de milho e soja em função da velocidade e densidade de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1721-1728, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

FARACO, M.A.; URIBE-OPAZO, M.A.; SILVA, E.A.A.; JOHANN, J.A.; BORSSOI, J.A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 463-476, 2008.

GONÇALVES, S.L.; FRANCHINI, J.C. **Integração lavoura-pecuária**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. Circular técnica 44. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/download/cirtec/cirtec44.pdf>>. Acesso em: 20 set.

KURACHI, S.A.H.; COSTA, J.A.S.; BERNARDI, J.A.; COELHO, J.L.O.; SILVEIRA, G.M. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamento de dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. *Bragantia*, Campinas, v.48, n.2, p.249-62, 1989.

LANDIM, P.M.B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo, Ed. UNESP, 1998. 226p.

MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificação**. Piracicaba: FEALQ, 1996, 722 p.

MOLIN, J.P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v.22, p.83-92, 2002.

PINHEIRO NETO, R.; BRACCINI, A.L.; SCAPIM, C.A.; BORTOLOTTI, V.C.; PINHEIRO, A.C. Desempenho de mecanismos dosadores de sementes em diferentes velocidades e condições de cobertura de solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, p. 611-617, 2008.

PIRES, J.L.F.; COSTA, J.A.; THOMAS, A.L.; MAEHLER, A.R. Efeito de populações e espaçamentos sobre o potencial de rendimento da soja durante a ontogenia. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 35, n. 8, p. 1541-1547, 2000.

RAMBO, L.; COSTA, J.A.; PIRES, J.L.F.; PARCIANELLO, G.; FERREIRA, F.G. Rendimento de grãos da soja em função do arranjo de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 405-411, 2003.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, Planta e Atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2 ed. Barueri, SP: Manole, 2012. 500 p.

REICHERT, J.M.; DARIVA, T.A.; REINERT, D.J.; SILVA, V.R. Variabilidade espacial de Planossolo e produtividade de soja em várzea sistematizada: análise geoestatística e análise de regressão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 981-988, 2008.

ROBINSON, G.K. That BLUP is a good thing: the estimation of random effects. **Statistical Science**, v.6, p. 15-51, 1991.

SANTOS, A.J.M.; GAMERO, C.A.; OLIVEIRA, R.B.; VILLEN, A.C. Análise espacial da distribuição longitudinal de sementes de milho em uma semeadora-adubadora de precisão. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 16-23, 2011.

SILVEIRA, J.C.M.; GABRIEL FILHO, A.; TIEPPO, R.C.; TORRES, D.G.B.; BALDESSIN JÚNIOR, A.; BOLIGON, F. Uniformidade de distribuição de plantas e estande de milho (*Zea mays* L.) em função do mecanismo dosador de sementes. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 3, p. 467-472, 2005.

TOURINO, M.C.C.; REZENDE, P.M.; SILVA, L.A.; ALMEIDA, L.G.P. Semeadoras-adubadoras em semeadura convencional de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.1, p.241-245, 2009.

TRAGMAR, B.B., YOST, R.S., UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil

properties. **Advances in Agronomy**, v. 38, p. 45-94, 1985.

UZUMAKI, E.T. **Geoestatística multivariada: Estudo de métodos de predição**. Dissertação (Estatística – Instituto de Matemática, estatística e Ciência da Computação), UNICAMP, 1994. 104p.

VIEIRA, S.R.; GUEDES FILHO, O.; CHIBA, M.K.; MELLIS, E.V.; DECHEN, S.C.F.; MARIA, I.C. Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja em dois anos de cultivo em um latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1503-1514, 2010.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed). **Applications of soil physics**. New York: Academic, 1980. Cap.2, p.319-344.



# RELAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO OBTIDOS POR SENSORIAMENTO ORBITAL E ESPECTRORRADIOMETRIA DE CAMPO EM CULTIVO DE SOJA

*Relationship between vegetation indices obtained by orbital sensing and  
spectroradiometry of field in soybean cultivation*

Daniely Vaz Rodrigues da Silva <sup>1</sup>, Elódio Sebem <sup>2</sup>, Leticia Daiane Pedrali <sup>3</sup>, Marcos Augusto  
Gomes dos Santos <sup>4</sup>

<sup>1,2</sup> PPGAP, Colégio Politécnico da UFSM, Av. Roraima n° 1000, Prédio 70, CEP 97.105-900, Santa Maria –  
RS, Brasil, [danyvaz25@gmail.com](mailto:danyvaz25@gmail.com), [elodiosebem@politecnico.ufsm.br](mailto:elodiosebem@politecnico.ufsm.br)

<sup>3,4</sup> Colégio Politécnico da UFSM, Av. Roraima n° 1000, Prédio 70, CEP 97.105-900, Santa Maria – RS,  
Brasil, [lepedrali@yahoo.com.br](mailto:lepedrali@yahoo.com.br), [marcosgoufsm@gmail.com](mailto:marcosgoufsm@gmail.com)

## RESUMO

Diante da necessidade de se produzir mais e em menor espaço de tempo a agricultura digital apresenta-se consolidada no presente e futuro da agricultura, sendo as técnicas de sensoriamento remoto extremamente úteis para o crescimento da mesma. A aplicação do sensoriamento remoto à agricultura permite a otimização da coleta de dados, dentre as principais informações geradas estão os índices de vegetação, salientando-se seu uso para inferir e monitorar o vigor da vegetação. O objetivo deste trabalho foi estudar a correlação e a variabilidade espacial dos índices de vegetação NDVI, SAVI e EVI obtidos por espectrorradiometria de campo e por sensor orbital. Como resultados, obteve-se correlação significativa para o índice NDVI x NDVI *Sentinel*. O índice NDVI derivado de espectrorradiometria obteve correlação moderada e significativa para todos os índices derivados da imagem *Sentinel*. Para a geoestatística, optou-se pelo Inverso da distância e não a Krigagem, pois o ajuste variográfico apresentou-se com R<sup>2</sup> baixo e próximo de zero. Portanto, os sensores mostram-se importantes no monitoramento das áreas agrícolas, possibilitando a geração de mapas e análises de informações geoespaciais de forma mais efetiva, precisa.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão. Agricultura digital. Índices de vegetação.

## ABSTRACT

Under the need to produce even more in less time, digital agriculture is consolidated in the present and future of agriculture, and remote sensing techniques are extremely useful for its growth. The application of remote sensing to agriculture allows the optimization of data collection, among the main information generated are the vegetation indexes, among its numerous uses, it is emphasized its use to infer and monitor the vigor of the vegetation. The objective of this work was to study the correlation and spatial variability of vegetation indices NDVI, SAVI and EVI obtained by field spectroradiometry and by orbital sensor. As results, a significant correlation was obtained for the NDVI x NDVI *Sentinel* index. The NDVI index derived from spectroradiometry obtained a moderate and significant correlation for all indexes derived from the *Sentinel* image. For geostatistics, we chose the Inverse of the distance and not the Kriging, because the variographic adjustment was presented with R<sup>2</sup> low and close to zero. Therefore, the sensors are important in the monitoring of the agricultural areas, enabling the generation of maps and analyzes of geospatial information in a more effective and precise way.

**Keywords:** Precision agriculture. Digital agriculture. Indexes of vegetation.

## 1 INTRODUÇÃO

Em um contexto de grande aumento populacional mostra-se a necessidade em aumentar consideravelmente a produção de alimentos no mundo. Ou seja, a necessidade de produzir mais em menor espaço e com o bom proveito dos recursos naturais. Segundo estimativas da Organização das Nações Unidas (ONU, 2013), o contingente populacional do planeta atingirá a marca de 9,6 bilhões de habitantes em 2050, ou seja, um acréscimo de aproximadamente 2,1 bilhões de habitantes, sendo a taxa de crescimento de 0,33% ao ano. A obtenção de elevados rendimentos torna-se uma necessidade em função dos altos custos de produção e a crescente

competitividade (FIORIN e AMADO, 2016). Por isso, existe a necessidade de encontrar-se técnicas que propiciam melhorias no processo produtivo agropecuário.

E atualmente, a área com maior potencial para desenvolvimento em agricultura de precisão (AP) é a de sensores, tanto em equipamentos como em aplicações. Por meio dos diferentes princípios de sensoriamento, são possíveis a identificação e o mapeamento de vários parâmetros de solo e de planta (MOLIN, AMARAL, COLAÇO, 2015). Sendo assim, a literatura tem mostrado que o uso dos sensores vem crescendo na área de AP, assim como também, a agricultura digital, internet das coisas, os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e Big Data. É um elenco de tecnologias e procedimentos utilizados para que as lavouras e os sistemas de produção sejam otimizados, tendo como elemento chave o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e dos fatores nela envolvidos (SWINTON e LOWENBERG-DEBOER, 1998).

Então, as técnicas de sensoriamento remoto têm sido amplamente aplicadas à agricultura buscando uma melhor avaliação das condições da vegetação. O sensoriamento remoto baseia-se no princípio de aquisição de informações de um determinado objeto sem a necessidade de contato direto com ele. Desse modo, a coleta de dados é otimizada, proporcionando maior veracidade das informações e agilidade na obtenção das mesmas. Dentre as principais informações obtidas por meio do sensoriamento remoto estão os índices de vegetação (IVs) (CRUSIOL et al. 2013). Os índices de vegetação são úteis para auxiliar no estudo da dinâmica temporal de desenvolvimento da cultura (PINTO, et al. 2014). Os cultivos mostram-se saudáveis quando absorvem grandes quantidades de energia eletromagnética (aproximadamente 95%) na região do vermelho (0,6 a 0,7 $\mu$ m) e forte reflectância (maior que 60%) da energia no Infravermelho Próximo (NIR – *Near InfraRed*) (0,7 a 1,1  $\mu$ m). Ou seja, o forte contraste de absorção e dispersão das bandas do vermelho e infravermelho próximo pode ser combinado em diferentes índices quantitativos de condições da vegetação, também chamados de índices de vegetação (PANDA et al., 2010). São amplamente importantes para inferir e monitorar a cobertura e o vigor da vegetação na lavoura e podem ser obtidos através dos sensores a bordo de satélite e pelos sensores de campo (espectroradiômetros). Dentre os IVs existentes podemos citar o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), SAVI (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo) e EVI (Índice de Vegetação Ajustado).

O NDVI, desenvolvido por Rouse et al. (1974), constitui-se num dos índices mais utilizados atualmente, sendo expresso pelo intervalo de valores entre -1 a +1, obtido pela normalização da razão simples, sendo que, o menor valor corresponde a nenhuma vegetação, enquanto o maior valor representa cobertura vegetal densa e sadia (SEBEM, 2006). Assim, esse índice de vegetação mostra-se importante, uma vez que mudanças sazonais e interanuais no desenvolvimento e na atividade da vegetação podem ser monitoradas. Ressalta-se ainda, que a razão dos comprimentos de onda, reduz muitas formas de ruídos multiplicativos como as diferenças de iluminação solar, sombras de nuvens, algumas atenuações atmosféricas, algumas variações topográficas, presentes em múltiplas bandas de imagens de múltiplas datas (JENSEN, 2009). Huete et al., (1988) explica que no cálculo de índices de vegetação a partir de sensores orbitais é comum ocorrer influência direta do solo na resposta espectral medida para a vegetação, especialmente em áreas com dosséis vegetativos esparsos onde uma porção maior do solo fica visível ao campo de medição do sensor, assim, foi desenvolvido o índice SAVI. Como o brilho do solo acaba impactando o valor calculado para os índices de vegetação, foi inserida uma constante L, que é relacionada à fração de cobertura do dossel vegetativo e varia de 0 a 1. Então quanto mais esparsa a vegetação medida, maior será a influência da resposta do solo para o espectro medido para essa vegetação, necessitando de uma correção maior, ou seja, um valor maior para L (VICARI, 2015).

O EVI, é um NDVI modificado, de modo que seu algoritmo tem melhorado a sensibilidade para regiões de alta biomassa, permitindo um melhor desempenho do monitoramento da vegetação através da diminuição da influência do sinal proveniente do substrato abaixo do dossel por meio da redução da influência atmosférica (JENSEN, 2009). Para Huete et al., (2002) o EVI foi desenvolvido visando otimizar o sinal da vegetação, apresentando maior sensibilidade em regiões com alta densidade de biomassa. Estes índices podem ser obtidos de diversas maneiras, como por exemplo por meio de imagens de satélite ou com o uso dos equipamentos de sensoriamento

remoto terrestre como o espectrorradiômetro. Ambos utilizam faixas específicas do espectro eletromagnético para gerar os índices de vegetação. Dessa forma, pode-se correlacionar características agrônômicas das culturas com os valores registrados desses índices de vegetação. A partir da obtenção destas informações georreferenciadas podemos realizar estudos geoestatísticos para apresentar a distribuição espacial da variável de interesse e seu comportamento em termos de sua variabilidade, bem como a determinação das incertezas associadas a cada estimativa realizada (YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo estudar a correlação e variabilidade espacial dos índices de vegetação NDVI, SAVI e EVI obtidos por espectrorradiometria de campo e por sensor orbital.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em Santa Maria, Rio Grande do Sul na área experimental do Colégio Politécnico da UFSM, situada nas coordenadas geográficas centrais de 29°43'S e 53°45'W. O solo predominante é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico (EMBRAPA, 2013). O clima da região é do tipo Cfa, subtropical úmido, com verões quentes, sem estação seca definida, conforme a classificação de Köppen, com temperaturas médias normais variando de 12,9 °C no mês de junho a 24,6 °C no mês de janeiro e precipitação bem distribuída no ano, tendo média anual oscilando entre 1.500 a 1.769 mm (MORENO, 1961).

Os dados de espectrorradiometria de campo foram obtidos em área de 14,98 ha cultivada com soja (*Glycine max*) com uma malha amostral composta por 32 pontos, proporcionando uma coleta dos dados de reflectância da cultura da soja durante o crescimento vegetativo. A posição espacial de cada ponto amostral foi localizado com GPS de navegação, e neste local obteve-se a medida espectral da cultura com o espectrorradiômetro, modelo FieldSpec® HandHeld 2TM ASD Inc. que atua no intervalo de comprimentos de onda entre 325 e 1075 nm, com a resolução espectral de 1 nm, composto de uma fibra óptica com campo de visão de 25°. Os dados espectrorradiométricos foram coletados em campo no dia 28/01/2017 entre 11h e 13h em condições ambientais adequadas.

Após a mensuração da reflectância da cultura, foram calculados os índices de vegetação NDVI, SAVI e EVI (Tabela 1). Os resultados obtidos dos índices foram submetidos à análise estatística descritiva, calculando-se a média, mediana, valor mínimo, valor máximo, desvio padrão e coeficiente de variação, a fim de caracterizar a distribuição dos dados, utilizando-se o software MS Excel 2013®. A dependência espacial foi avaliada pelos ajustes de variogramas, pressupondo a hipótese intrínseca, ou seja, que apenas os incrementos da função aleatória sejam estacionários de segunda ordem. A análise geoestatística e a confecção dos mapas foram realizadas utilizando o software GS+ (*Geostatistics for the Environmental Sciences*), versão 10.

Tabela 1 - Índices de vegetação

Sigla	Índice	Equação	Autor
SAVI	Índice de Vegetação Ajustado ao Solo	$SAVI = \frac{(1 + L)(NIR - RED)}{NIR + RED + L}$	Huete, (1988)
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada	$NDVI = \left( \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \right)$	Rouse et al., (1974)
EVI	Índice de Vegetação Melhorado	$EVI = G \frac{NIR - RED}{NIR + C1 * RED - C2 * BLUE + L}$	Huete et al., (2002)

Onde: NIR – Infravermelho; RED – Vermelho; BLUE – Azul; L= fator de ajuste para a influência do solo no dossel (L=0,5); G = fator de ganho, geralmente assume valor de 2,5; L = ajuste de fundo do dossel vegetal (L=1); C1 e C2 = coeficientes de ajuste da influência dos aerossóis (C1=6; C2=7,5).

Foi utilizada uma imagem do satélite Sentinel 2A, datada de 28/01/2017 e obtida por download gratuito no catálogo de imagens do site da AWS: <http://sentinel-pds.s3-website.eu-central-1.amazonaws.com/>, para obtenção dos IVs por meio de dados orbitais. A principal característica da imagem deste sensor orbital é de que possui 12 bandas espectrais, com resolução espacial entre 10m e 60 m. Para as análises nesse trabalho foram utilizadas as bandas 02 (azul), 03 (verde), 04 (vermelho) da região do visível, e a banda 08 (infravermelho próximo), ambas com 10 m de resolução, onde foram calculados os mesmos IVs daqueles obtidos por espectrorradiometria de campo. Essa imagem está datada simultaneamente com as observações de campo, sem nuvens e com boa resolução espacial, as bandas utilizadas foram remontadas para um tamanho de pixel de 10 metros e o nível digital foi dividido pelo coeficiente de redimensionamento de 10.000 para a obtenção das reflectâncias (Martins et al., 2017). Todos esses processamentos da imagem, foram realizadas nos softwares Arcgis versão 10.5 e Erdas versão 13.

### 3 RESULTADOS

Os resultados obtidos foram submetidos primeiramente a uma análise estatística descritiva, de tal forma a melhor conhecer o fenômeno em estudo e posteriormente realizada a análise geostatística ( Tabela 2 ).

Tabela 2 – Estatística descritiva dos índices de vegetação em soja – janeiro de 2017

Estatística	Espectrorradiometria de Campo			Imagem de Satélite		
	NDVI	EVI	SAVI	NDVI	EVI	SAVI
<b>Média</b>	0,9070155	1,1389170	0,6575751	0,8185259	1,7903361	0,6516078
<b>Mediana</b>	0,9111067	1,1250011	0,6497414	0,8562340	1,9286254	0,6932050
<b>D.P.</b>	0,0390553	0,1080188	0,0599718	0,0911117	0,2975995	0,0967360
<b>V.A.</b>	0,0015253	0,0116680	0,0035966	0,0083013	0,0885655	0,0093578
<b>Mínimo</b>	0,7431858	0,9237703	0,5678033	0,5532710	0,8819836	0,3619740
<b>Máximo</b>	0,9478410	1,4213352	0,8228787	0,8691080	1,9914667	0,7257980
<b>C.V.%</b>	4,3059187	9,4843458	9,1201530	11,131200	16,622553	14,845740
<b>Ass.</b>	-2,8374222	0,5579499	0,7948431	-2,2424559	-2,0993712	-2,0430521
<b>Curt.</b>	10,0581820	0,4766375	0,6357069	3,8597127	3,5120248	3,2682756

Legenda: D.P. – desvio padrão; V.A. – variância amostral; C.V. – coeficiente de variação; Ass. – Assimetria; Curt. - curtose

A média apresenta-se com uma medida de tendência central, pois focaliza valores médios dentre os maiores e menores, ela é uma medida de localização dos dados experimentais, mostra o espalhamento dos dados medidos. Os valores de média mostraram-se maiores para as coletas in situ que os da imagem de satélite, para NDVI e SAVI, provavelmente devido ao fator de calibração ser realizado no momento das coletas, aumentando a precisão dos dados para as coletas in situ.

Já para o coeficiente de variação, quanto menor for o valor, mais homogêneos serão os dados, ou seja, menor será a dispersão em torno da média, assim é utilizado quando se deseja comparar a variação dos conjuntos de observações que diferem na média. Os valores do espectrorradiômetro ficaram mais baixos que os da imagem, indicando uma menor variabilidade dos dados coletados por ele e os valores dos índices de vegetação das imagens de satélite foram maiores que os valores do espectrorradiômetro, indicando maior variabilidade nas imagens.

Para analisar o comportamento de um determinado índice de vegetação em relação aos outros, utilizou-se a correlação linear de pearson, que mostra a força de ligação de duas variáveis aleatórias, mostrada na tabela 3 a seguir.

Tabela 3. Correlação linear entre índices de vegetação de sensor espectrorradiômetro e sensor orbital sentinel

	<b>NDVI (SENTINEL)</b>	<b>EVI (SENTINEL)</b>	<b>SAVI (SENTINEL)</b>
<b>NDVI</b>	0,6385140*	0,5891637*	0,6209762*
<b>EVI</b>	0,2685955 <sup>ns</sup>	0,2480483 <sup>ns</sup>	0,2769973 <sup>ns</sup>
<b>SAVI</b>	0,1043594 <sup>ns</sup>	0,0902931 <sup>ns</sup>	0,1126651 <sup>ns</sup>

Teste de Student, \*Significativo ao nível de 5%; ns = não significativo ao nível de 5%.

As correlações entre os índices das imagens do satélite Sentinel com os índices do sensor espectrorradiômetro obtiveram-se para NDVI (SENTINEL) e NDVI medido por espectrorradiometria valores de 0,6385140, mostrando correlação significativa como mostra na (Tabela 3). O NDVI mostra-se com valores de correlação moderada e significativa para todos os índices do sensor Sentinel estudados nesse trabalho.

Logo, mesmo a correlação entre alguns índices de vegetação serem boas, o mesmo não aconteceu na correlação espacial para a geostatística, assim, não se utiliza a krigagem, como método de interpolação na avaliação dos dados dos índices de vegetação, pois só deve ser utilizada quando o variograma experimental for estruturado. Ressalta-se que, foram observados pontos também no campo aleatório, onde as amostras passam a ser independentes, assim optou-se em fazer a interpolação dos dados por meio do ponderador inverso do quadrado da distância, como mostra-se nos mapas da (Figura 2). No cálculo dos semivariogramas, onde uma função intrínseca descreve o comportamento espacial da variável regionalizada dentro do espaço, optou-se pelo modelo esférico e gaussiano, com os valores observados na Tabela 4. Assim, uma função intrínseca descreve o comportamento espacial da variável regionalizada dentro do espaço (YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

Tabela 4 – Parâmetros dos ajustes dos semivariogramas adaptados aos modelos esféricos e da validação cruzada

<b>ÍNDICES DE VEGETAÇÃO</b>	<b>MODELO</b>	<b>CO (Efeito Pepita)</b>	<b>CO+C (Patamar)</b>	<b>A (Alcance)</b>	<b>C/Co+C (Proporção)</b>
<b>NDVI</b>	Esférico	0.000001	0.001822	183.1000	0.999
<b>NDVI (SENTINEL)</b>	Gaussiano	0.000960	0.009230	113.9689	0.896
<b>EVI</b>	Esférico	0.002900	0.014700	152.7000	0.967
<b>EVI (SENTINEL)</b>	Esférico	0.010300	0.099600	136.2000	0.897
<b>SAVI</b>	Esférico	0.000850	0.004430	138.3000	0.808
<b>SAVI (SENTINEL)</b>	Gaussiano	0.000460	0.009760	110.5048	0.953

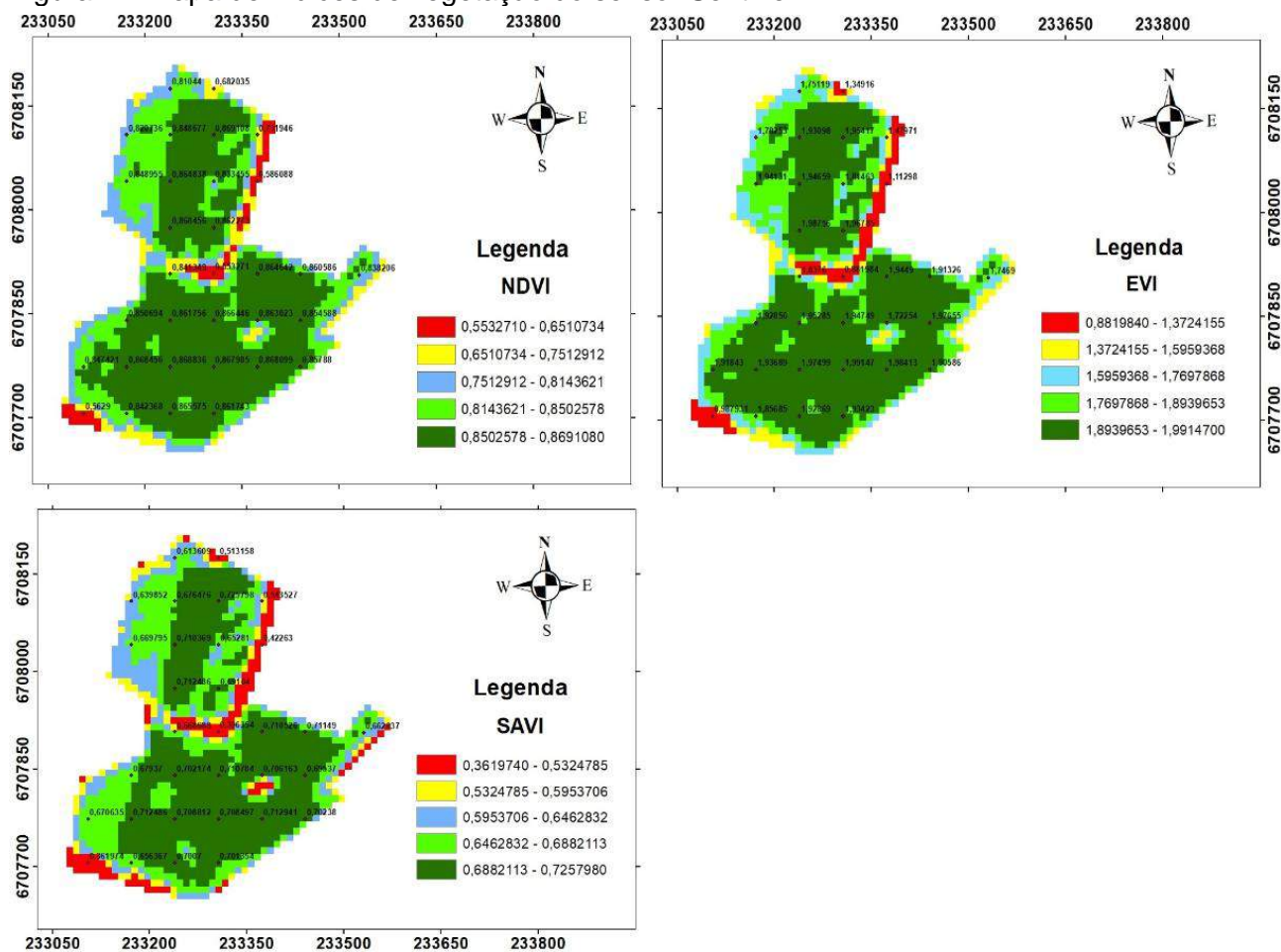
Na validação cruzada, que representam a diferença entre o valor medido e o valor estimado para um mesmo local, são obtidos valores a partir do modelo variográfico experimental utilizado. A Tabela 5, demonstra os coeficientes de regressão, coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e o intercepto para os índices de vegetação, de modo que as variáveis estudadas apresentaram R<sup>2</sup> baixo e próximo de zero, coeficiente de regressão próximos de zero, confirmando o ajuste variográfico sem dependência espacial.

Tabela 5 – Validação cruzada dos índices de vegetação do espectrorradiômetro e da imagem de satélite Sentinel

ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	COEFICIENTE DE REGRESSÃO	R <sup>2</sup>	INTERCEPT O
NDVI	0.038	0.00	0.87
NDVI (SENTINEL)	0.091	0.00	0.74
EVI	0.684	0.09	0.36
EVI (SENTINEL)	0.012	0.00	1.81
SAVI	0.539	0.05	0.30
SAVI (SENTINEL)	0.295	0.02	0.46

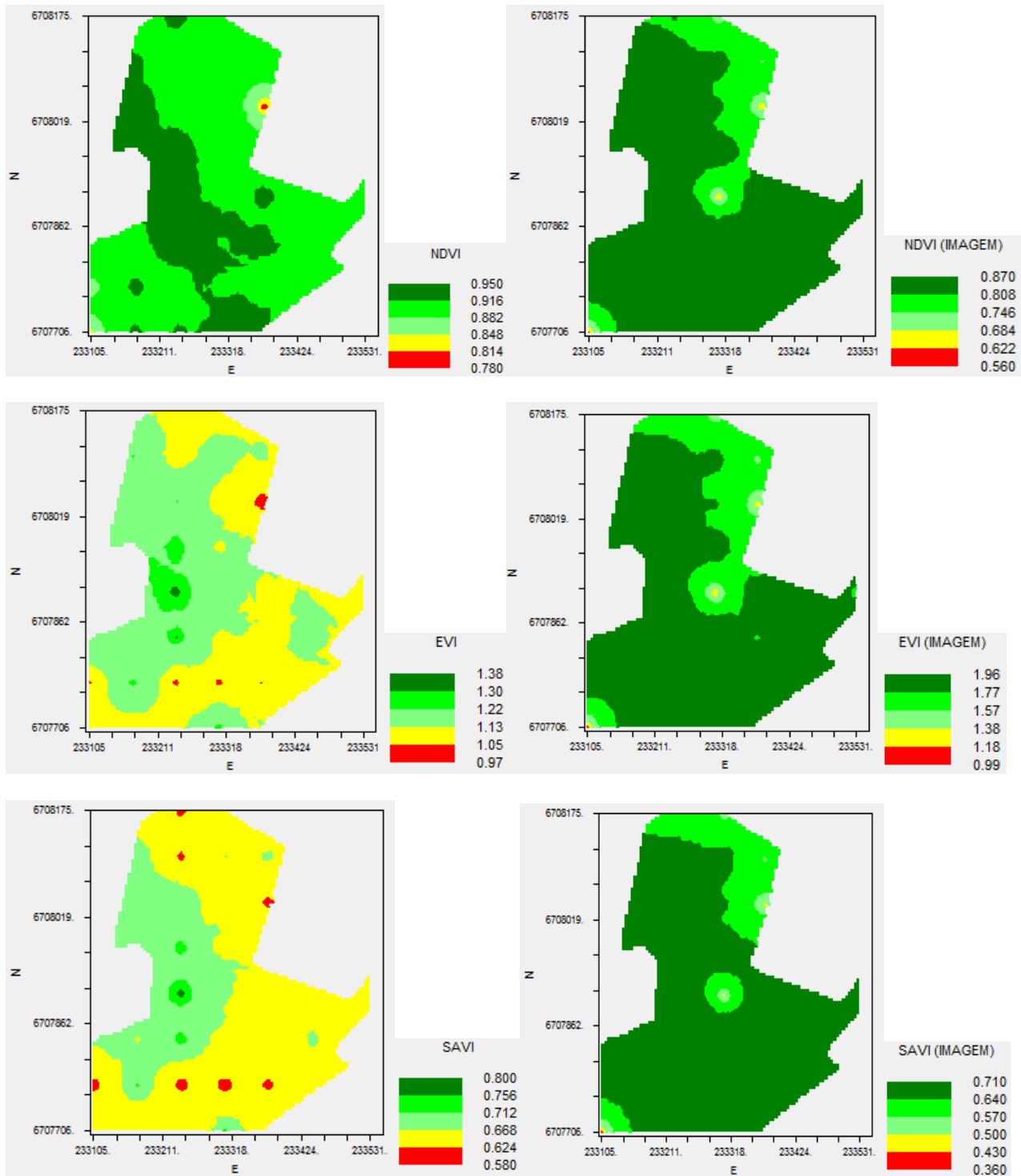
Na Figura 1, apresenta-se os valores dos índices de vegetação NDVI, EVI, SAVI calculados por meio da imagem de satélite Sentinel.

Figura 1 – Mapa de índices de vegetação do sensor Sentinel



Já na figura 2, os mapas de interpolação por inverso do quadrado da distância dos índices de vegetação calculados através dos dados do espectrorradiômetro e do satélite Sentinel.

Figura 2 – Mapas de interpolação dos índices de vegetação



## 4 CONCLUSÕES

De uma forma geral, a análise das correlações demonstrou que os índices de vegetação são correlacionados de forma significativa entre os valores calculados da imagem de satélite com o índice NDVI do espectrorradiômetro. Já para a geoestatística, os ajustes variográficos foram fracos e não ocorrendo dependência espacial entre eles, utilizando-se então, o método de inverso do quadrado da distância para os procedimentos de interpolação espacial. Assim, podemos verificar a importância de realizar-se mais estudos estatísticos de correlação com o uso de outros índices de vegetação além desses estudados aqui. E conclui-se a importância dos sensores na identificação, na qualificação, na quantificação e no monitoramento das áreas agrícolas, possibilitando a geração de mapas e análises de informações geoespaciais de forma mais efetiva, rápida e precisa, contribuindo assim na tomada das decisões agrícolas.

## REFERÊNCIAS

CRUSIOL, L. G. T.; NEIVERTH, W.; RIO, A.; SIBALDELLI, R. N. R.; FERREIRA, L. C.; CARVALHO, J. F. C.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B. **NDVI de estádios de desenvolvimento da soja BRS 284 em condições de campo**. VIII Jornada Acadêmica da Embrapa Soja. In: VIII Jornada Acadêmica da Embrapa Soja – Resumos Expandidos. EMBRAPA: Londrina, PR. P. 87-91. 2013.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solo. 3.ed. Brasília: EMBRAPA, 2013.

FIORIN, J. E.; AMADO, T. J. C. **Agricultura de precisão no Rio Grande do Sul** / organizadores: Antonio Luiz Santi...(et al.). – 1. Ed. – Santa Maria: CESPOL, 2016. 309 p. ; il. ; 25 cm. Capítulo 2.

HUETE, A. R. **A soil-adjusted vegetation index (SAVI)**. Remote Sensing Environment, 1988, 25, 295–309.

HUETE, A. DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. **Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices**. Remote Sensing of Environment, v.83, n.1-2, p.195–213, 2002.

JENSEN, JOHN R., 1949- **Sensoriamento remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**. John R. Jensen; tradução José Carlos Neves Epiphanyo (coordenador)...(et al.) São Jose dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 357-410 p.

MARTINS V. S., BARBOSA C. C. F., CARVALHO L. A. S., JORGE D. S. F., LOBO F. L., and NOVO E. M. L. M. **Assessment of Atmospheric Correction Methods for Sentinel-2 MSI Images Applied to Amazon Floodplain Lakes**. Remote Sensing 2017, 9(4), 322p.

MOLIN, J. P., AMARAL, L. R., COLAÇO, A. F. **Agricultura de precisão**. 1. Ed. São Paulo: oficina de textos, 2015. 119-130 p.

MORENO J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Boletim geográfico do Rio Grande do Sul, 1961. <<http://revistas.fee.tche.br/index.php/boletim-geografico-rs/article/view/3236/3310>> Acesso em: 20 de agosto de 2017.

YAMAMOTO, J. K., LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos + aplicações**. São Paulo: oficina de textos, 2013. 1-55 p.

**NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL**, <https://nacoesunidas.org/populacao-mundial-deve-atingir-96-bilhoes-em-2050-diz-novo-relatorio-da-onu/>. Acesso em 28 de agosto de 2017.

PINTO, D. G.; VICARI, M. B.; FOTANA, D. C.; DALMAGO, G.; da CUNHA, G. R.; de GOUVÊA, J. A.; MENGE, V.; KOVALESKI, S.; FOCHESSATO, E.; SANTI, A. **ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NDVI E EVI, IAF E FPAR DA CANOLAA PARTIR DE IMAGENS DO SATÉLITE MODIS**. 1º Simpósio Latinoamericano de Canola. 2014. Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/slac/cd/poster.htm> > Acesso em 31 jul. 2017.



PANDA, S. S., DANIEL P. A., SURANJAN P. **Application of Vegetation Indices for Agricultural Crop Yield Prediction Using Neural Network Techniques.** Remote Sensing 2010, 2, 673-696p.

ROUSE, J. W., HAAS, R. H., SCHELL, J. A. and D. W. DEERING, 1974, **Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS.** In: Third ETRS Symposium, 1973. NASA SP 353, Proceedings, Washington DC. 309-317 p.

SEBEM E. **Aportaciones de la teledetección en el desarrollo de um sistema metodológico para la evaluación de los efectos del cambio climático sobre la producción de las explotaciones agrarias.** Tese (Doutorado em Fotogrametria, Teledetección e Ingeniería Gráfica) – Universidad Politécnica de Madrid, 2006.

SWINTON, S. M.; LOWENBERG-DEBOER, J. **Evaluating the profitability of Site-specific farming,** *Journal of Production Agriculture*, Madison, v. 11, n.4, p. 439-446, 1998.

VICARI, M. B. **Estimativas de variáveis biofísicas da canola com dados espectrais multisensor.** Dissertação ( Mestrado em Sensoriamento Remoto Aplicado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

# SENSORES ÓPTICOS NA AVALIAÇÃO DA RESPOSTA FENOLÓGICA DO ALGODOEIRO EM FUNÇÃO DE DOSES DE REGULADOR DE CRESCIMENTO

*Optical sensors in the evaluation of the phenological response of  
cotton in the function of doses of growth regulator*

Diego Lima Gasparelli<sup>1</sup>, Marco Antônio Vrech de Souza<sup>2</sup>, Luan Pereira de Oliveira<sup>3</sup>,  
Fernando Henrique Queiroz Souza<sup>4</sup>, Victor Silva Pereira<sup>5</sup>, Fábio Henrique Rojo Baio<sup>6</sup>,  
Danilo Tedesco de Oliveira<sup>7</sup>, Rafael De Graaf Corrêa<sup>8</sup>

<sup>1,4,5,6</sup> Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Rodovia MS 306 Km 105, CEP 79560-000,  
Chapadão do Sul-MS, Brasil, [e.eujacio@gmail.com](mailto:e.eujacio@gmail.com); [victor.pereira91@hotmail.com](mailto:victor.pereira91@hotmail.com);  
[fabioabaio@ufms.br](mailto:fabioabaio@ufms.br)

<sup>2,3,7,8</sup> Universidade Estadual Paulista 'Júlio Mesquita Filho' Via de Acesso Prof. Paulo Donato  
Castellane s/n, CEP 14884-900, Jaboticabal-SP, Brasil, [marcovrech@hotmail.com](mailto:marcovrech@hotmail.com);  
[rafadegraaf@gmail.com](mailto:rafadegraaf@gmail.com); [danilotedesco@outlook.com](mailto:danilotedesco@outlook.com); [rafadegraaf@gmail.com](mailto:rafadegraaf@gmail.com)

## RESUMO

O regulador de crescimento é dosado em função do crescimento da cultura, que por sua vez pode ser mensurado utilizando técnicas de sensoriamento remoto por índices de vegetação. O presente estudo teve como objetivo a avaliação da resposta fenológica do algodoeiro pela variação de doses do regulador de crescimento aplicado em VRT e sua correlação valores dos índices de vegetação de sensores óticos passivos e ativos. O regulador foi aplicado no estágio fenológico F5. Todas as doses do regulador (tratamentos) foram aplicadas em VRT nas três classes de índice de vegetação (NDVI) regionalizadas no talhão: alto NDVI (plantas de alto vigor, maior taxa fotossintética e maior porte); médio NDVI (médio vigor); e baixo NDVI (plantas de baixo vigor). A maior correlação positiva entre a altura da planta e o índice de vegetação foi obtida pelo uso do sensor passivo por câmera multiespectral. A aplicação do regulador de crescimento em VRT permitiu uniformizar a altura das plantas do algodoeiro, diminuindo a taxa de crescimento nas zonas de elevado índice de vegetação.

**Palavras-chave:** Índice de vegetação. Vigor. Aplicação em VRT.

## ABSTRACT

The growth regulator is dosed as a function of crop growth, which in turn can be measured using techniques of remote sensing by vegetation indices. The present study had as objective the evaluation of the phenological response of the cotton by the variation of doses of the growth regulator applied in VRT and its correlation values of vegetation indices of passive and active optical sensors. The regulator was applied at the F5 phenological stage. All doses of the regulator (treatments) were applied in VRT in the three vegetation index classes (NDVI) regionalized in the field: high NDVI (high vigor plants, higher photosynthetic rate and greater size); mean NDVI (medium vigor); and low NDVI (low vigor plants). The highest positive correlation between plant height and vegetation index was obtained by the use of passive multispectral camera. The application of the growth regulator in VRT allowed to standardize the height of cotton plants, reducing the growth rate in areas with high vegetation index.

**Keywords:** Vegetation index. Vigor. VRT application.

## 1 INTRODUÇÃO

O controle da arquitetura do algodoeiro com a utilização dos reguladores de crescimento é uma estratégia que pode contribuir para a melhoria da produtividade do algodoeiro. Souza (2007) relata que a aplicação exógena de reguladores vegetais poderia uniformizar as plantas, facilitando a colheita manual ou mecanizada. Segundo Carvalho et al. (2013), quando há excesso de crescimento vegetativo a maturação dos frutos é retardada e os problemas com pragas, doenças e podridões de maçãs se tornam mais severos. No entanto, o excesso de frutificação também pode ser indesejável, pois atua de modo a antecipar o ciclo da cultura, diminuindo, conseqüentemente,

a produção (menor peso dos capulhos) e a qualidade da fibra (fibras imaturas). Nesse sentido, os reguladores de crescimento devem ser utilizados para adequar a altura e, principalmente, a arquitetura das plantas ao espaçamento e a densidade de plantas na área.

Vários estudos têm mostrado a viabilidade da aplicação de reguladores de crescimento na agricultura, principalmente na cultura do algodoeiro (ZAGONEL et al., 2002; AMABILE et al., 2004; LINZMEYER JUNIOR et al., 2008; SILVA, 2009) e é amplamente relatada na literatura, visando a redução da altura da planta e uniformidade de maturação das maçãs. Segundo Baio & Antuniassi (2011) a variação de dosagens de agrotóxicos é possível pela aplicação de pulverizadores agrícolas com tecnologia VRT ("Variable Rate Technology"). Esse sistema pode aplicar doses variáveis do insumo de acordo com um mapa de prescrição. O mapa de prescrição é aquele que contém diferentes recomendações do agrotóxico georreferenciado dentro do talhão. Essas recomendações de doses diferentes podem ser provenientes de informações do campo, que para a aplicação do regulador de crescimento, podem ser de índices de vegetação do algodoeiro.

O índice de vegetação mais utilizado na agricultura é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada ou Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Esse índice é um indicador da quantidade e condição da vegetação verde, representando o vigor da cultura, sendo obtido através de combinações da refletância medidas nas faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético. Para a obtenção desse índice são aplicadas técnicas de sensoriamento remoto: como mapas temáticos provenientes de satélites orbitais; ou mesmo de sensores terrestres passivos ou ativos.

Na faixa do visível há grande absorção da radiação incidente pelas clorofilas das plantas, enquanto que no infravermelho próximo há grande refletância do mesófilo das folhas. O contraste entre as duas faixas de comprimento ressalta a vegetação, permitindo uma clara identificação desta e das suas propriedades fotossintéticas. Esse índice vem sendo largamente utilizado para identificação de áreas degradadas, caracterização de culturas, estimativa da biomassa e previsão de safras (MKHABELA et al., 2011, PICOLI et al., 2009).

O presente estudo teve como objetivo a avaliação da resposta fenológica do algodoeiro pela variação de doses do regulador de crescimento aplicado em VRT e sua correlação valores dos índices de vegetação de sensores óticos passivos e ativos.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado em área de algodão na fazenda Campo Bom no município de Chapadão do Céu, GO na safra 2014/15, com coordenadas geográficas aproximadas 52°40'16"O e 18°39'30"S. O solo da área é classificado como LATASSOLO Vermelho Amarelo distrófico, textura média (EMBRAPA, 2006). A altitude média é de 815 m, com relevo predominantemente suave de inclinação entre 1 e 2%. A semeadura foi realizada no dia 24/01/2015, com o cultivar WideStrike. O delineamento foi conduzido em três blocos casualizados com cinco repetições. Cada parcela possui 10 m de comprimento e a largura com seis fileiras de plantas com espaçamento de 0,80 m. As coletas de fenologia e as leituras do índice de vegetação pelos sensores foram realizadas aos 29, 49, 69, 84,98 e 132 DAE (Dias Após Emergência).

Os valores dos índices de vegetação foram coletados nas duas fileiras centrais, descartando-se duas fileiras de bordadura de cada lado da parcela. Foram utilizados vários sensores de índices de vegetação ao mesmo tempo nas leituras em estádios de desenvolvimento programados: sensor ativo GreenSeeker® RT 200 (Trimble); sensor passivo da câmara multiespectral TETRACAM® ADC Lite (TETRACAM Industries, Inc. Chatsworth, CA); sensor ativo ACS-470 Active Crop Canopy Sensor (Crop Circle); e o sensor ativo GreenSeeker Handheld (Trimble). Nos mesmos estádios de desenvolvimento e para fins comparativos foi utilizado o Analisador de Gás a Infravermelho (IRGA) modelo LI-6400xTF2 (LI-COR Biosciences) e o sensor de verde ClorofiLOG modelo CFL 1030 (FALKER). Todos os equipamentos foram operados de acordo com as indicações nos manuais dos fabricantes.

Os sensores ativos dos índices de vegetação foram montados em suporte manual, operando à 0,80 m acima do dossel das plantas. A câmara multiespectral Tetracam (TCAM) possui as bandas Verde/GREEN (520-600nm), Vermelho/RED (630-690nm) e Infravermelho/NIR

(760-900nm), necessita da luz do sol para obter as imagens, classificada como passivo (TETRACAM Industries, 2014). A captura das imagens pelo sensor da Tetracam foi realizada acoplado-a em um suporte manual a 4 m de altura do solo.

Uma região que tem mostrado fortes correlações ao status N algodão na escala folha de reflexão é a borda vermelha, ou a região imediatamente entre a máxima absorção de vermelho e da reflexão no infravermelho próximo (Fridgen e Varco 2004; Buscaglia e Varco, 2002). As imagens multiespectrais em falsa-cor obtidas pela câmera Tetracam, foram processadas pelos programas PixelWrench2 para o processo de retificação e cálculo do NDVI (Equação 1).

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

Em que: NIR – Valor da Banda do Infravermelho; RED – Valor da Banda Vermelha.

O sensor ativo crop circle ACS 470 foi utilizado com os seguintes filtros espectrais: 650, 730 e 760 nm, possibilitando o cálculo dos índices de vegetação NDVI e Rededge (Equação 2)

$$IV = \frac{(\ln 760 - \ln 730)}{100} \quad (2)$$

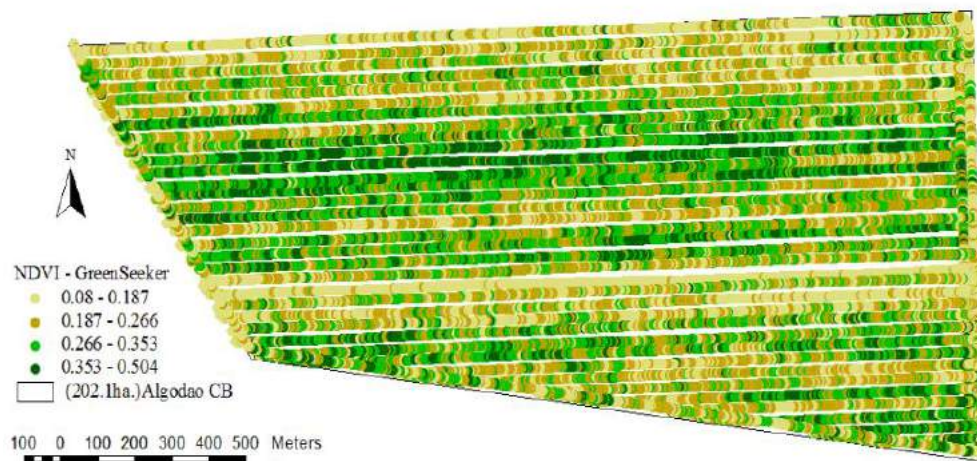
Em que: IV = Índice de vegetação; ln = Logaritmo natural; 760 = Reflectância do comprimento de onda 760 nm; 730 = Reflectância do comprimento de onda 730 nm.

Sensores de culturas em estreita proximidade com o dossel da planta têm o potencial de fornecer essas informações em tempo hábil e, simultaneamente, fornecimento de informações de entrada para a fertilização variável N (Zhao et al., 2005). Os resultados das análises estatísticas, incluindo a análise da variância, foram obtidos pelo uso de um macro pelo programa Excel versão 2010.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o uso do sensor ativo ACS-470 Active Crop Canopy Sensor (Crop Circle), foi gerado um mapa onde se encontra as três classes de NDVI. A Figura 1 expõe a variabilidade espacial das quatro classes de NDVI regionalizadas no talhão, de acordo com a metodologia de Salvador & Antuniassi (2011), as quais são: alto NDVI (plantas de alto vigor, maior taxa fotossintética e maior porte); médio NDVI (médio vigor); e baixo NDVI (plantas de baixo vigor), de forma a identificar as zonas de manejo.

Figura 1. Mapa de pontos de NDVI (passadas a cada 30 m) do talhão inteiro obtido pelo sensor instalado no pulverizador.

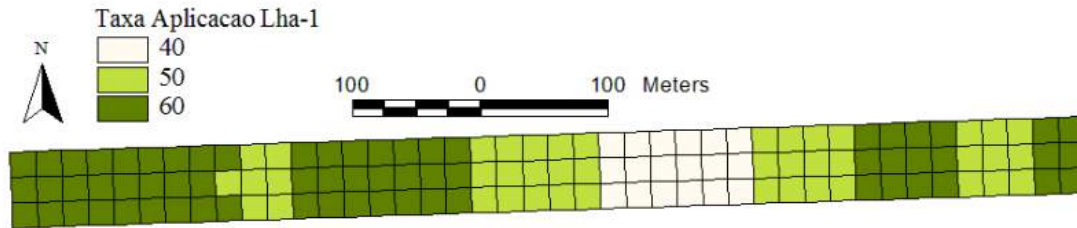


Zonas de elevado índice de vegetação (NDVI) contêm plantas de algodoeiro com maior altura, assim, são zonas nas quais foram aplicadas doses maiores do regulador de crescimento. Zonas de menor índice de vegetação são aquelas receberam uma dose menor do regulador de

crescimento, permitindo um maior desenvolvimento da planta.

A partir das leituras do índice de vegetação (NDVI) foi realizada a recomendação em VRT de regulador de crescimento pela elaboração de um mapa de prescrição (Figura 2). O mapa de prescrição mostra as regiões onde as doses variaram.

Figura 2. Mapa de prescrição contendo as três taxas de aplicação regionalizadas pelo NDVI.

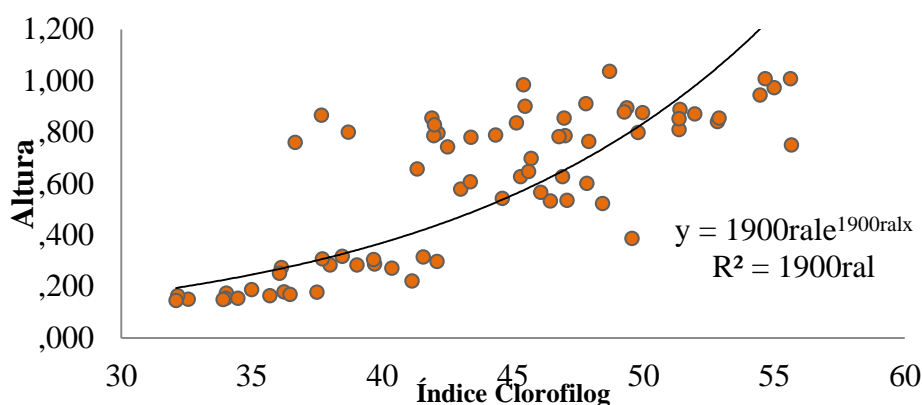


De acordo com Ma et al. (2001) e Antuniassi et al. (2007), existe correlação positiva entre a refletância do dossel das plantas, expressa em valores de NDVI, e a produtividade das culturas. Houve correlação positiva entre os valores mensurados pelos equipamentos e a altura da planta (Figuras 3 a 7). A maior correlação entre o índice de vegetação e a altura da planta do algodoeiro foi obtida pelo uso do sensor ativo GreenSeeker® RT 200 (Trimble).

O valor do índice de clorofila obtido pelo sensor de verde ClorofiLOG modelo CFL 1030 (FALKER) exposto na (Figura 3) possui um aumento constante com o crescimento da planta de algodão. De acordo com Liu et al. (2012), o teor de clorofila na planta é o fator de maior influência sobre o NDVI, podendo a margem de erro da leitura ser aumentada ou diminuída de acordo com as alterações no índice de área foliar.

Pesquisas sugerem que a capacidade de deslocamento da borda do vermelho para determinar o status de clorofila e Índice de Área Foliar (IAF) independente da cobertura do solo permite que ele seja uma opção para a detecção precoce de stress (Horler et al. 1983). Schlemmer et al. (2005) observou um forte relacionamento entre a posição da borda vermelha e conteúdo de clorofila na cultura do milho (*Zea mays* L.).

Figura 3. Relação entre o índice do sensor de verde e altura da planta.



O índice NDVI obtido pelo uso do Greenseeker Handheld (Figura 4) também apresentou correlação com a altura da planta do algodão. O aumento dos valores médios de NDVI de acordo com o desenvolvimento da planta provavelmente está diretamente relacionado ao aumento de sua biomassa devido à maior área verde. Segundo Beltrão et al. (2007), a maior biomassa resulta em aumento da taxa fotossintética e, conseqüentemente, maior absorção de CO<sub>2</sub> atmosférico.

Figura 4. Relação entre o índice NDVI do Greenseeker Handheld e altura da planta.

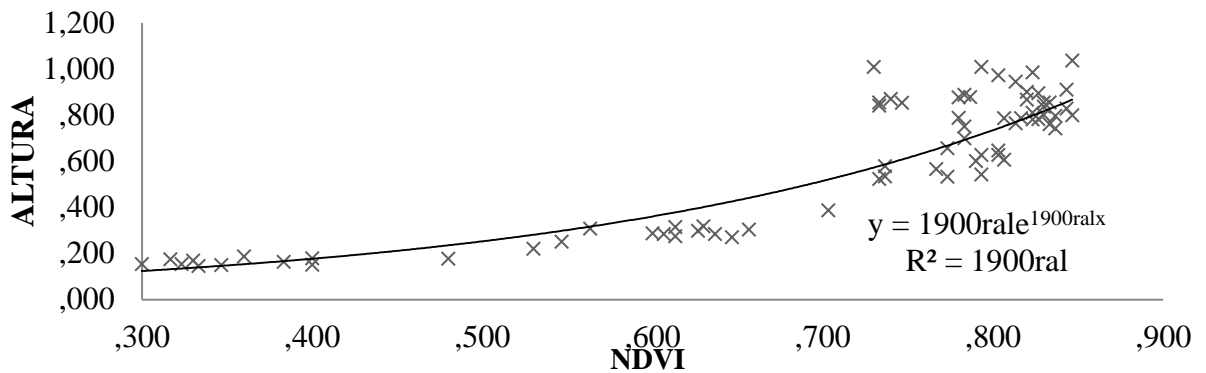
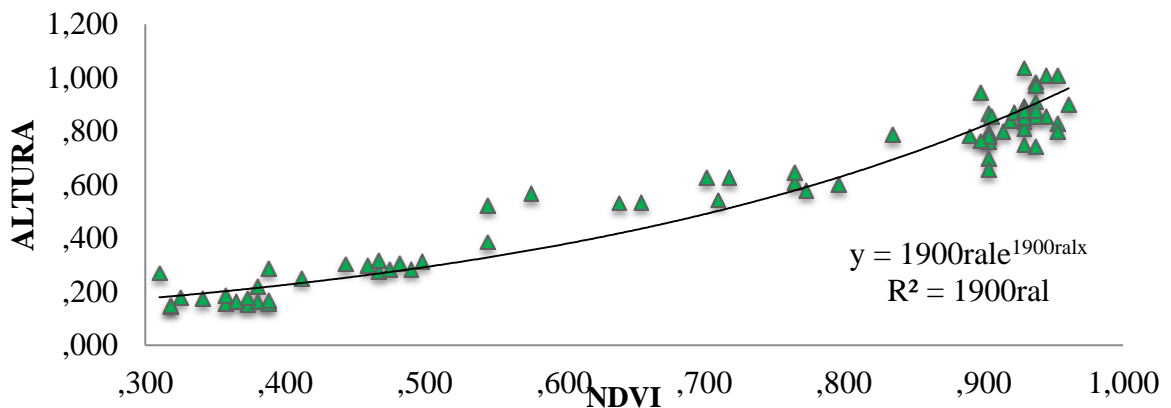


Figura 5. Relação entre o índice NDVI da câmera Tetracam e altura da planta.



Os resultados da câmara multiespectral Tetracam proporcionou uma boa correlação do índice NDVI com altura da planta (Figura 5). Samseemoung et al. (2012), trabalhando com sensoriamento de soja em baixa altitude de captação de imagem em diferentes plataformas, o guindaste (estável) e o veículo aéreo não tripulado (instável), observaram que as imagens com maior qualidade foram aquelas acopladas no guindaste a 5 m, devido a sua maior estabilidade.

Figura 6. Relação entre o índice NDVI do Greenseeker e altura da planta.

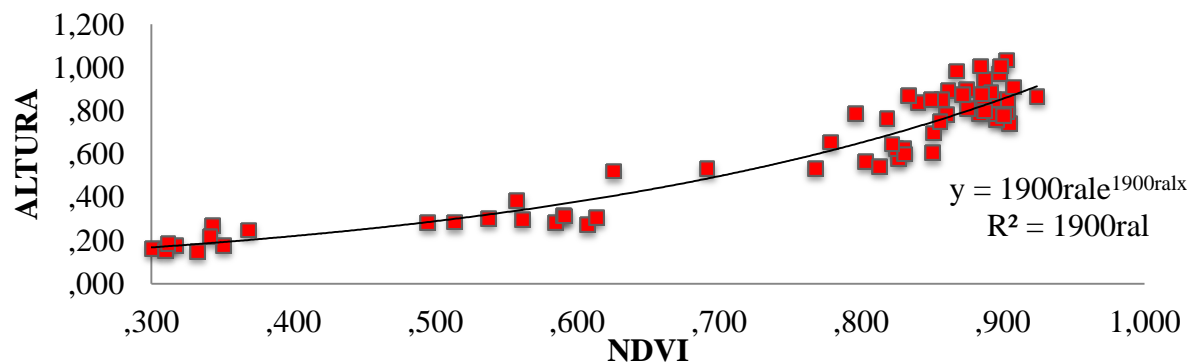
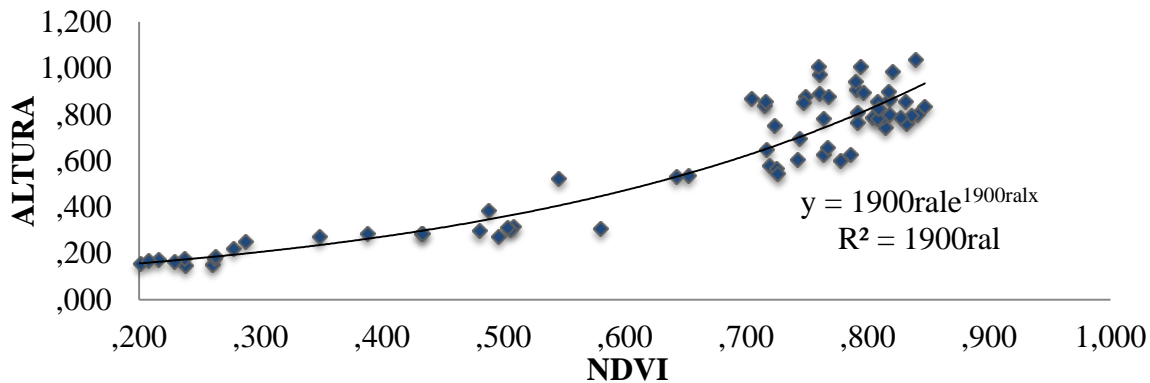
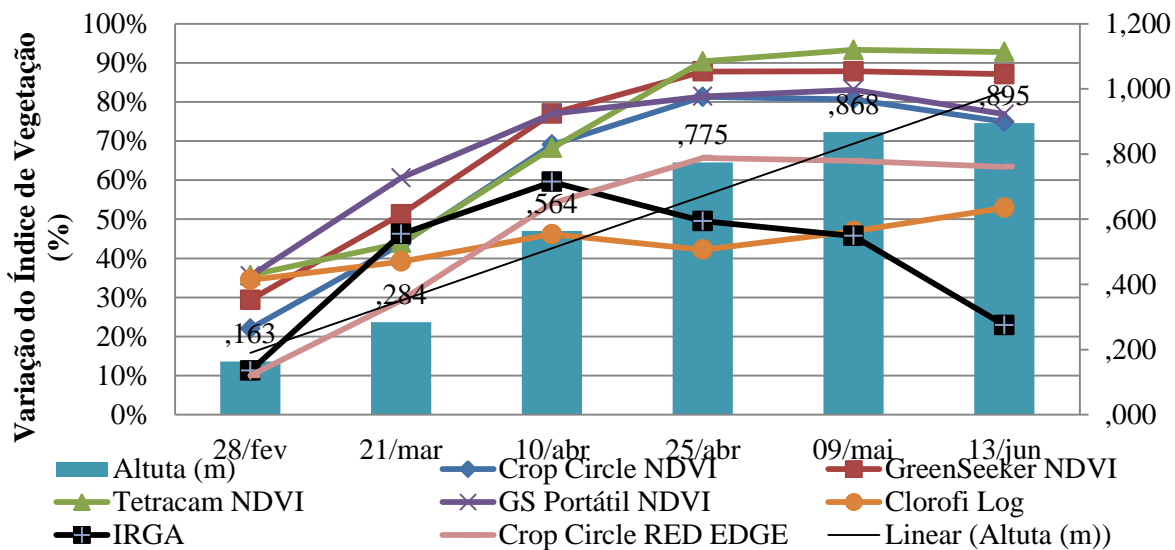


Figura 7. Relação entre o índice NDVI do Crop Circle e altura da planta.



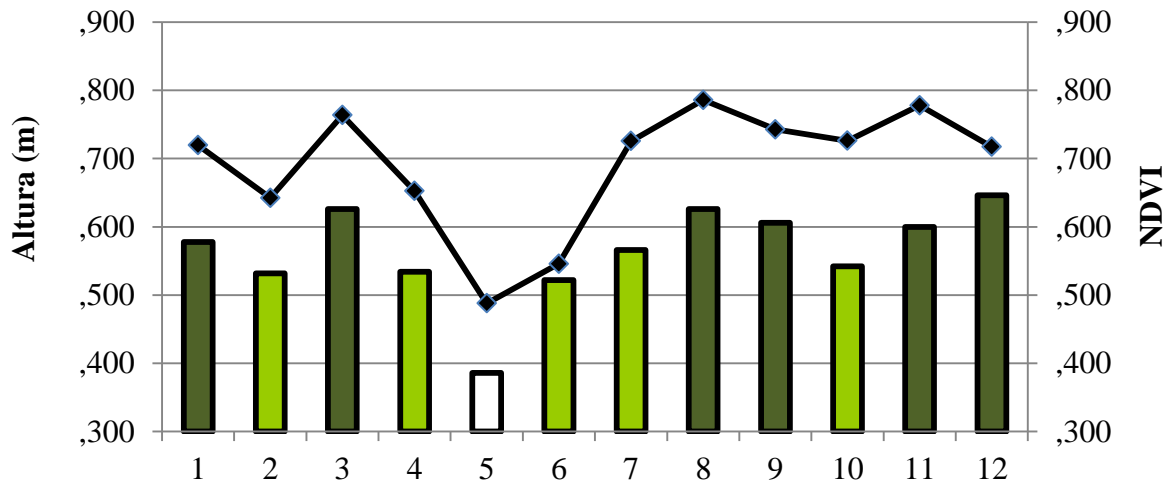
Os valores dos índices obtidos pelo uso dos equipamentos Greenseeker (figura 6) e do Crop Circle (figura 7) se aproximaram bastante, e ambos mostraram correlação positiva com a altura da planta. Os resultados corroboram com a alta correlação do NDVI com a altura das plantas observada por Peterson & Varco (2001).

Figura 8. Comparação relativa entre os índices obtidos pelos equipamentos e altura das plantas do algodoeiro nas diferentes datas de leitura.



A Figura 9 apresenta a relação do índice de vegetação NDVI e da altura das plantas do algodoeiro estratificado para as três classes de NDVI antes da aplicação do regulador de crescimento com variação das doses (VRT) no talhão. Vellidis et al. (2009) utilizou o NDVI em leituras antes dos 50 DAE para demarcar regiões para a aplicação diferenciada de controlador de crescimento no algodoeiro, com economia na aplicação do insumo. A aplicação de regulador de crescimento apresentou uma economia de 7% em relação à aplicação uniforme em três talhões. As colunas mais escuras representam os locais onde receberam doses maiores do regulador de crescimento.

Figura 9. Relação entre a altura das plantas e o índice NDVI antes da aplicação do regulador de crescimento.



As Figuras 10 e 11 apresentam a relação do índice de vegetação NDVI e da altura das plantas do algodoeiro estratificado para as três classes de NDVI após a aplicação do regulador de crescimento com variação das doses (VRT) no talhão. Foi observado que na região do talhão onde a dose do regulador de crescimento foi menor, houve um maior crescimento das plantas de algodoeiro, melhorando a uniformidade da altura.

Figura 10. Relação entre a altura das plantas e o índice NDVI após a aplicação do regulador de crescimento.

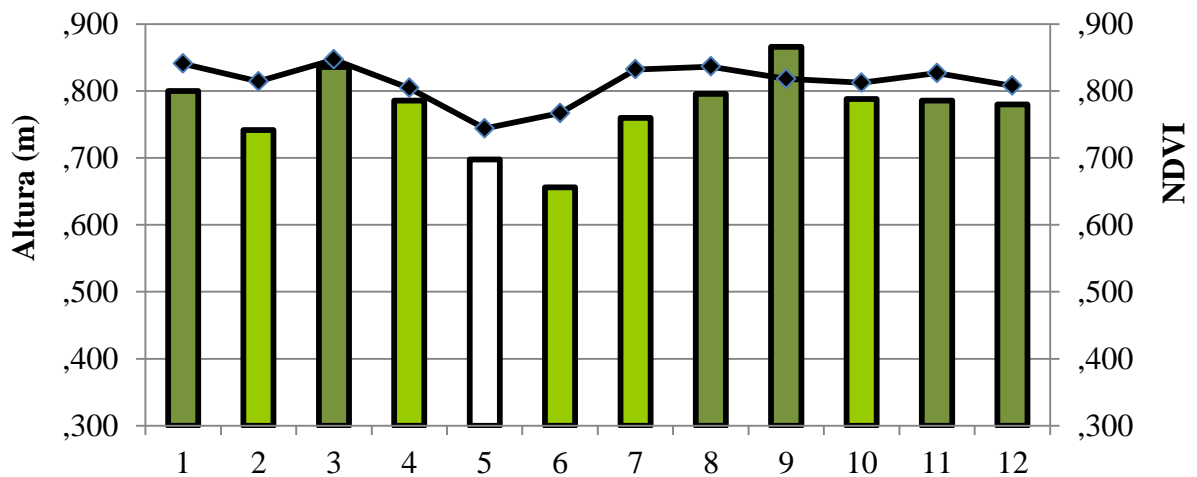
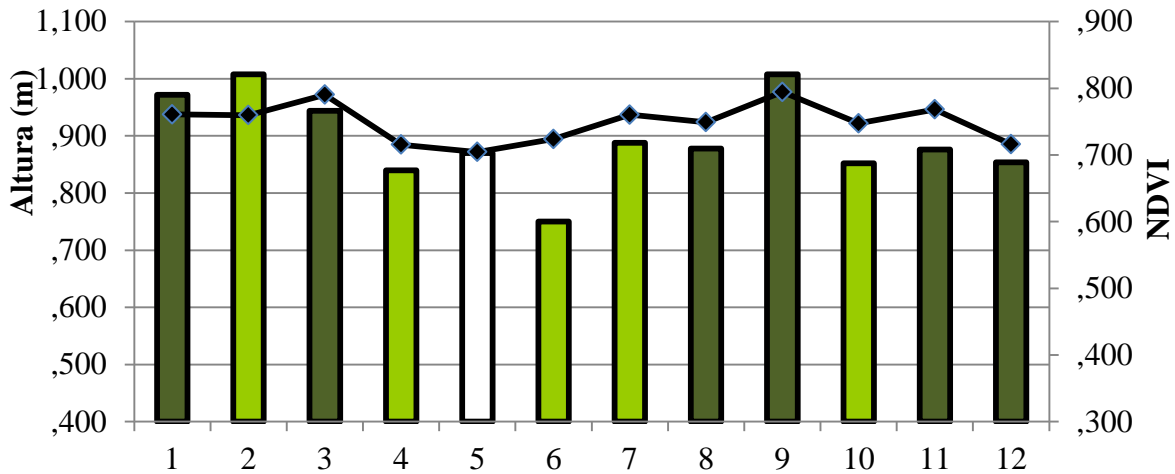


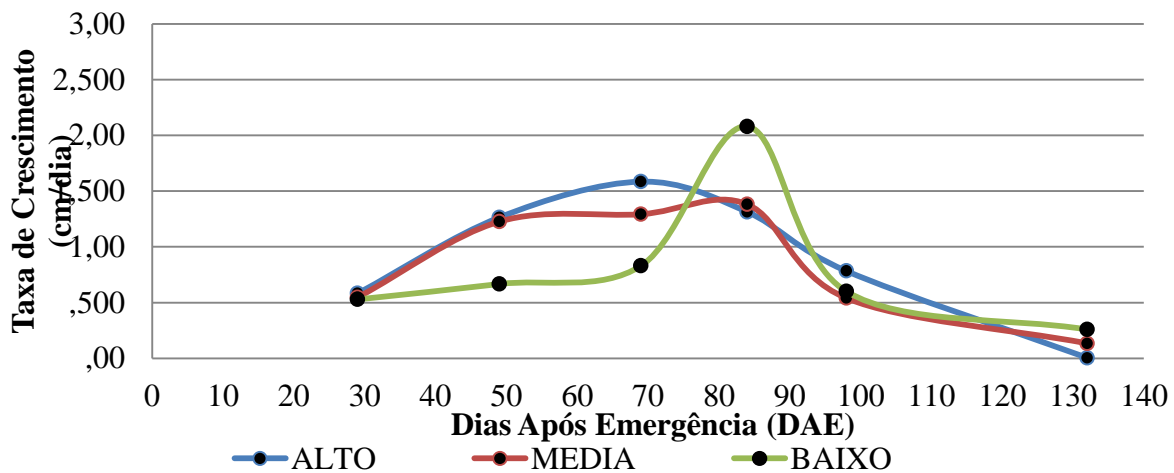


Figura 11. Relação entre a altura das plantas e o índice NDVI na última data de leitura.



A Figura 12 apresenta a taxa de crescimento diário das plantas de algodoeiro situadas nas diferentes regiões de manejo, segundo o índice NDVI. A região onde houve a aplicação de dose menor de regulador de crescimento apresenta maior crescimento diário da planta, e as regiões onde houve a aplicação de doses maiores (plantas maiores) apresenta um menor crescimento vegetativo diário.

Figura 12. Taxa de crescimento diário das plantas de algodoeiro situadas nas diferentes regiões de manejo, segundo o índice NDVI.



## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A maior correlação positiva entre a altura da planta e o índice de vegetação foi obtida pelo uso do sensor ativo Greenseeker.

A aplicação do regulador de crescimento em VRT permitiu uniformizar a altura das plantas do algodoeiro, diminuindo a taxa de crescimento nas zonas de elevado índice de vegetação.

## REFERÊNCIAS

AMABILE, R. F. et al. Efeito do regulador de crescimento trinexapac-etil em cevada

- cervejeira irrigada em áreas de Cerrado no Distrito Federal. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 120).
- ANTUNIASSI, U. R.; BAIQ, F. H. R.; SHARP, T. C. **Agricultura de Precisão**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 6., 2007, Uberlândia. Anais... Uberlândia: CNPA, 2007. p. 11-21.
- BAIO, F.H.R.; ANTUNIASSI, U.R. Sistemas de controle eletrônico e navegação para pulverizadores. In: ANTUNIASSI, U.R.; BOLLER, W. (Org). **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. 1.ed., Passo Fundo: Aldeia Norte, 2011, p.123-142.
- BELTRÃO, N. E. M.; CARDOSO, G. D.; VALE, L. S. **Balanço energético e "sequestro" de carbono em culturas oleaginosas**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2007. 22 p. (Embrapa Algodão. Documentos, 167).
- BRASILEIRO DE ALGODÃO, 4., 2003, Goiânia. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. (CD-ROM).
- BUSCAGLIA, H. J., & VARCO, J. J. (2002). **A detecção precoce da folha de algodão status de azoto utilizando folha de reflectância**. *Jornal de Nutrição de Plantas*, 25, 2067-2080.
- CARVALHO, R.H.; MAIOLO, P.G.; JORGE, M.J.P. **A importância do uso de regulador de crescimento no manejo do algodoeiro**. ESALQ/USP. 2013. Disponível em: [http://www.esalq.usp.br/cprural/boaspraticas.php?boa\\_id=59](http://www.esalq.usp.br/cprural/boaspraticas.php?boa_id=59). Acesso em: 08 julho 2015.
- EMBRAPA Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed., Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 306p. 2006.
- FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA LTDA. **Manual do medidor eletrônico de clorofila ClorofiLOG CFL 1030**, Porto Alegre, 2008. 4p.
- FRIDGEN, J. L.; & VARCO, J. J. (2004). **Dependência de nitrogênio na folha de algodão, clorofila, e em reflectância azoto e disponibilidade de potássio**. *Agronomia Journal*, 96, 63-69.
- HORLER, D.N.H.; DOCKRAY, M., BARBER, J.; BARRIGNER, A.R. (1983). **Medição de arestas vermelhas para remotamente conteúdo de clorofila da planta de detecção**. *Avanços em Pesquisas Espaciais*, 3, 273-277.
- LIU, J.; PATTEY, E.; JÉGO, G. **Assessment of vegetation indices for regional crop green LAI estimation from Landsat images over multiple growing seasons**. *Remote Sensing of Environment*, v.123, p. 347-358, 2012.
- MA, B. L.; DWYER, L. M.; COSTA, C.; COBER, E. R.; MORRISON, M. J. **Early prediction of soybean yield from canopy reflectance measurements**. *Agronomy Journal*, Madison, v. 93, n. 6, p. 1227-1234, 2001.
- MKHABELA, M. S.; BULLOCK, P.; RAJ, S.; WANG, S.; YANG, Y. **Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data**. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.151, n.3, p.385-393, 2011.
- PETERSON, W. M.; VARCO, J. J. **Utilization of remote sensing to detect fertilizer nitrogen effects on cotton growth**. In: BELTWISE COTTON CONFERENCE, 2001, Anaheim. *Proceedings...* Memphis: National Cotton Council, 2001. p. 568-9.
- PICOLI, M. C. A., RUDORFF, B. F. T., RIZZI, R., GIAROLLA, A. **Índice de vegetação do sensor MODIS na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar**. *Bragantia*, v.68, n.3, p.789-795. 2009.
- SALVADOR, A.; ANTUNIASSI, R. U. **Imagens aéreas multiespectrais na identificação de zonas de manejo em áreas de algodão para aplicação localizada de insumos**. *Revista Energia na Agricultura*. v. 26, n.2, p.1-19, 2011.
- SAMSEEMOUNG, G., SONI, P., JAYASURIYA, H. P. W., SALOKHE, V. M. **Application of low altitude remote sensing (LARS) platform for monitoring crop growth and weed infestation in a soybean plantation**. *Precision Agriculture*, v.13, p. 611-627, 2012.
- SCHLEMMER, M.R.; FRANCIS, D.D.; SHANAHAN, J.F.; E SCHEPERS, J.S. (2005). **Remotamente medição clorofila conteúdo na cultura do milho com diferentes níveis de nitrogênio e conteúdo relativo de água**. *Agronomia Journal*, 97, 106-112.
- SILVA, M. R. R. **Regulador de crescimento etil-trinexapac em diferentes densidades de semeadura na cultura do arroz de terras altas**. 2009. 81 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

SOUZA, S. F. **Ação de reguladores de crescimento no algodoeiro em função da ocorrência de chuvas, temperatura e adjuvante.** 118f. Tese (Doutorado em agronomia) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Botucatu, 2007.

TETRACAM Industries, **Agricultural Digital Camera User's Guide:** Inc. Chatsworth, USA. Disponível em: <http://www.tetracam.com/pdf/ADC/ADC%20User%20Manual.pdf>. Acesso em 26 agosto 2015.

TETRACAM Industries, **Agricultural Digital Camera User's Guide:** Inc. Chatsworth, USA. Disponível em: <http://www.tetracam.com/pdf/ADC/ADC%20User%20Manual.pdf>. Acesso em 18 maio 2014.

VELLIDIS, G.; ORTIZ, B.; RITCHIE, G.; PERISTEROPOULOS, A.; PERRY, C.; RUCKER, K. **Using GreenSeeker® to drive variable rate application of plant growth regulators and defoliants on cotton.** In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 7th, Wageningen. Proceedings... Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2009, p. 55-72.

ZAGONEL, J.; VENANCIO, W.S.; KUNZ, R.P.; TANAMATI, H. **Doses de nitrogênio e densidades de plantas com e sem um regulador de crescimento afetando o trigo, cultivar OR-1.** Ciência Rural, Santa Maria, v.32, n.1, p.25-29, 2002.

ZHAO, D.; REDDY, K.R.; KAKANI, V.G.; READ, J.J.; E KOTI, S. (2005). **Seleção das razões ótimas de reflectância para estimar as concentrações de nitrogênio e de clorofila folha de algodão cultivado em campo.** Agronomia Journal, 97, 89-98.

## SENSORES PARA DETECÇÃO DE PLANTAS DANINHAS EM PÓS-EMERGÊNCIA NA CULTURA DA SOJA

### *Sensors for weed detection in post-emergence in soybean crop*

Luan Pierre Pott<sup>1</sup>, Telmo Jorge Carneiro Amado<sup>2</sup>, Elodio Sebem<sup>3</sup>, Marcos Santos<sup>4</sup>,  
Geovane Boschmann Reimche<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000, 97105-900, Santa Maria – RS,  
Brasil, [luanpierrepott@hotmail.com](mailto:luanpierrepott@hotmail.com); [florestatel@hotmail.com](mailto:florestatel@hotmail.com);  
[elodiosebem@politecnico.ufsm.br](mailto:elodiosebem@politecnico.ufsm.br); [marcosgeoufsm@gmail.com](mailto:marcosgeoufsm@gmail.com);  
[geovane\\_reimche@yahoo.com.br](mailto:geovane_reimche@yahoo.com.br)

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar curvas espectrais de plantas daninhas e da cultura da soja com intuito de selecionar comprimentos de ondas com maiores amplitudes de diferenciação destas. Foi utilizado o espectrorradiômetro HandHeld 2, ASD®, com comprimentos de onda de 325-1075nm, para realizar leituras das curvas espectrais de espécies de plantas daninhas: *Euphorbia heterophylla*, *Ipomoea grandifolia* e *Panicum sp.* e da cultura da soja em dois estádios de desenvolvimento. Os resultados obtidos comprovaram a efetividade de certos comprimentos de onda na diferenciação dos alvos analisados. Para determinados estágios de desenvolvimento das plantas, a amplitude de diferenciação é modificada, podendo utilizar índices para obter esta diferenciação com maior precisão. Estas distinções entre plantas daninhas e a cultura da soja possibilitam a automação de máquinas agrícolas com sensores embarcados, os quais são capazes de identificar e pulverizar plantas daninhas de forma dirigida em pós-emergência, on-the-go.

**Palavras-chave:** Plantas daninhas. Sensores. Pós-emergência.

### ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate spectral curves of weeds and soybean in order to select wavelengths with higher amplitudes of differentiation. We used the spectroradiometer HandHeld 2, ASD® with wavelengths 325-1075nm to perform readings of the spectral curves of weed species: *Euphorbia heterophylla*, *Ipomoea grandifolia* and *Panicum sp.*, and soybean in two stages of development. The results proved the effectiveness of determined wavelengths in differ the targets in this study. For certain plant development stages, the extent of differentiation is modified and can use indexes for this differentiation with greater precision. These distinctions between weeds and soybean enable automation of agricultural machinery with embedded sensors, which are able to identify and spray weeds so directed in post-emergence, on-the-go.

**Keywords:** Weeds. Sensor. Post-emergence.

## 1 INTRODUÇÃO

O controle de plantas daninhas em pós-emergência é efetuado com objetivo de evitar sua competição por luz, água, nutrientes e espaço físico com a cultura cultivada, além de outros fatores indiretos que interferem na produção agrícola. O período crítico de prevenção da interferência (PCPI), segundo estudos com competição de plantas daninhas na soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é de 20 a 50 DAE (dias após emergência). Para a cultura do milho (*Zea mays* L.), o PCPI está compreendido entre 15 - 20 e 45 - 50 DAE, (BORGES, 2011). Para o trigo (*Triticum aestivum* L.) medidas de controle das plantas daninhas devem ser adotadas no período entre 12 a 24 DAE, (AGOSTINETTO et al., 2008).

Para tanto, o controle destas plântulas involuntárias que causam perdas nas culturas é realizado comumente observando apenas a necessidade geral da lavoura, não levando em consideração a variabilidade espacial das plantas daninhas, ou até mesmo o histórico de “reboleiras” de plantas daninhas, e outros atributos que influenciam sua presença e densidade na área. Métodos convencionais de levantamento de plantas daninhas em áreas comerciais são

muito trabalhosos e onerosos, além de gerar muitas vezes informações pouco precisas.

Uma alternativa para levantamento de plantas daninhas em pós-emergência é a utilização de sensores ópticos desenvolvendo algoritmos capazes de diferir plantas daninhas da cultura cultivada, obtendo informações mais rápidas e precisas. A vegetação possui uma curva espectral característica, porém certos gêneros, famílias de plantas possuem especificidades em certos comprimentos de ondas, o que possibilita esta diferenciação.

Neste sentido o objetivo deste trabalho foi avaliar curvas espectrais de plantas daninhas e da cultura da soja com intuito de selecionar comprimentos de ondas, os quais sejam capazes de diferir plantas daninhas da cultura cultivada, neste caso, a soja.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Universidade Federal de Santa Maria, em área destinada a produção de grãos com fins didáticos. O solo predominante da região é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico, (Embrapa, 2006). Segundo classificação climática de Köppen (1931), o clima da região é Cfa, com precipitações normais e regulares.

Para realização das medições espectrais foi utilizado um espectrorradiômetro, HandHeld 2, ASD® com faixa de comprimentos de onda 325-1075nm, para tanto, devido à ruídos nos extremos dos comprimentos de onda é utilizado apenas a faixa de 400-900nm para a análise. Foi selecionado comprimentos de onda que a partir da análise possuía maior amplitude de diferenciação de plantas daninhas da cultura cultivada, que no experimento foi a soja, diferença esta que possibilitaria com a automação agrícola a detecção de invasoras e controle dirigido em pós-emergência.

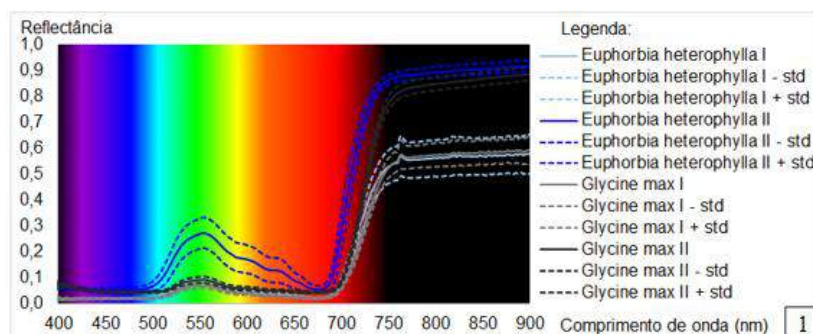
As leituras dos comportamentos espectrais foram feitas nas espécies de plantas daninhas: *Euphorbia heterophylla*, *Ipomoea grandifolia* e *Panicum* sp., além de leituras ao longo do ciclo na cultura da soja. A semeadura das espécies daninhas e da cultura da soja foram realizados manualmente em linhas de 0,5m de espaçamento, formando parcelas de 2x2m<sup>2</sup>. O delineamento da área foi inteiramente casualizado, com 4 repetições. Após suas emergências foram realizadas duas leituras, que decorreram ao longo de seu ciclo.

Para análise dos dados foi realizado o teste de comparação de médias Tukey (1953), ( $p < 0,001$ ), por meio da linguagem de programação científica R, (Experimental Designs package).

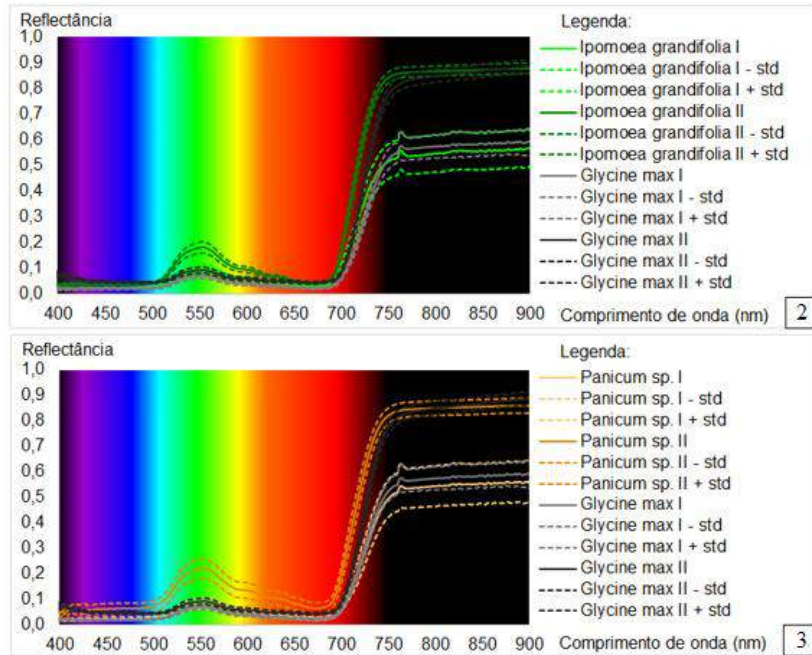
## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das leituras indicaram que certos comprimentos de onda possuem maior amplitude de diferenciação de plantas daninhas da cultura cultivada soja, o que possibilitaria a identificação e com a automação agrícola a pulverização dirigida de plantas daninhas em pós-emergência. (Figura 1).

Figura 1 - Comportamento espectral de espécies de plantas daninhas. Cada gráfico possui a curva espectral da soja e de uma planta daninha.



Continua na próxima página



Legenda: I = estágio inicial da soja em V4. II = estágio reprodutivo da cultura, soja em R2. Gráficos: 1 leiteiro (*E. heterophylla*), 2 corda-de-viola (*I. grandifolia*), 3 capim-colônião (*Panicum* sp.). Linha contínua refere-se a média das leituras. n=30. Linhas pontilhadas referem-se à média mais ou menos std (desvio-padrão).

Na figura 1 pode-se observar que para o estágio II das plantas daninhas em geral, a reflectância na região do espectro verde é maior que a cultura da soja, sendo explicada pela coloração verde mais clara das espécies de plantas daninhas comparada com a da oleaginosa, a qual apresentava cor verde mais escura. Também se observa no estágio II na região de transição do vermelho para o infravermelho próximo, no chamado *red-edge*, um deslocamento das curvas espectrais da soja para a direita, sendo este um ponto de diferenciação das plantas daninhas da cultura da soja, já que as espécies de plantas daninhas avaliadas possuem uma taxa de variação da curva alta nos comprimentos de onda menores se comparadas à soja.

No entanto para o estágio I, a diferenciação nestas regiões acima descritas torna-se mais difícil, visto a aproximação das curvas espectrais das plantas daninhas com a da cultura da soja. Alternativa para esta observação é a confecção de índices de vegetação que são amplamente utilizados na avaliação do estado nutricional, e na prescrição de doses de fertilizantes nitrogenados. Estes índices teriam objetivo de aumentar a amplitude de diferenciação da cultura cultivada das plantas daninhas através de cálculos que compusessem reflectâncias de comprimentos de ondas selecionados. Realizando uma análise de variância e utilizando teste de separação de médias proposto por Tukey, demonstrado na figura 2, pode-se observar a capacidade de alguns índices em diferir a cultura cultivada soja das plantas daninhas, que é o caso do *Simple ratio* (730/550). Outros índices têm alguma similaridade na reflectância dos comprimentos de onda da soja e das plantas daninhas que compõem a equação do índice, que acarreta em dificuldade de diferenciação dos mesmos.

Figura 2 - Teste de separação de médias dos índices calculados.

NDVI (770:660)			Simple ratio (730:550)		
Espécie	Média	Tukey	Espécie	Média	Tukey
IG	0,91	a	GM	5,97	a
GM	0,9	ab	IG	3,95	b
EH	0,85	c	PS	3,16	cd
PS	0,84	c	EH	2,96	d
CV		3,41%	CV		11,32%

Legenda: IG (*Ipomoea grandifolia*), GM (*Glycine max*), EH (*Euphorbia heterophylla*), PS (*Panicum* sp.). n=16. CV= coeficiente de variação. p<0,001. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

Desta forma a confecção de índices com a sensibilidade de diferenciação das plantas daninhas das plantas cultivadas, tornaria possível a identificação e controle dirigido de plantas daninhas em pós-emergência com culturas estabelecidas, *on-the-go*. Resultados corroboram com Koger et al. (2003) o qual trabalhou com sensores hiperespectrais para detectar a planta daninha *Ipomoea lacunosa* em cultivos de soja, tendo determinados comprimentos de onda com possíveis distinções de plantas daninhas das culturas cultivadas.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que sensores hiperespectrais possibilitam a diferenciação de plantas daninhas da planta cultivada, soja.

Em estádios avançados de desenvolvimento tanto de plantas daninhas como da soja a diferenciação torna-se facilitada, com a possibilidade de uso de apenas um determinado comprimento de onda.

Em estádios iniciais do desenvolvimento das plantas daninhas e da soja a reflectância nos comprimentos de onda se aproximam, dificultando a diferenciação, nestes casos a confecção de índices pode ser utilizada.

São necessários mais estudos, com diversas plantas daninhas, culturas e genótipos de plantas cultivadas para desenvolver algoritmos com possíveis implantações em pulverizadores, possibilitando o controle dirigido de plantas daninhas em pós-emergência.

## REFERÊNCIAS

ANTUNIASSI U. R.; BAILO, F. H. R. Tecnologia de aplicação de defensivos. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**, 2001.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C.E. Stages of soybean development. **Ames: Iowa State University of Science and Technology**, 1977. 11p. (Especial Report, 80).

GALON et al. Nível crítico de dano de infestantes na cultura da cana-de-açúcar. **Cap 3: Teoria e prática do manejo de infestantes na cultura da cana-de-açúcar no Brasil**. Vidal R., 2011.

HARRI L. **Manual de Identificação e Controle de Plantas Daninhas**. UFV 7ª Edição.

HESTIR, E. L. et al. Identification of invasive vegetation using hyperspectral remote sensing in the California Delta ecosystem. **Remote Sensing of Environment**, 4034-4047, 2008.

JORGE, L. A. C.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em Agricultura de Precisão. **Agricultura de Precisão Resultados de um Novo Olhar**. 1ª Edição, p. 109-134, 2014.

KOGER, C. H. et al. Wavelet analysis of hyperspectral reflectance data for detecting pitted morningglory (*Ipomoea lacunosa*) in soybean (*Glycine max*). **Remote Sensing of Environment**. V. 86, p.108– 119, 2003.

POTT, L. P. et al. Novas perspectivas no controle de plantas daninhas com base na agricultura de precisão. **Plantio Direto**. 152ª Edição, 2016.

SHIRATSUCHI L. S. MOLIN, J.P. e CHRISTOFFOLETI, P.J. Mapeamento da distribuição espacial da infestação de *Panicum maximum* durante a colheita da cultura de milho. **Planta daninha**, n.2, p. 269-274, 2004.

THORP, K. R., & TIAN, L. F. A review on remote sensing of weeds in agriculture. **Precision Agriculture**, 5, 477–508, 2004.



## UTILIZAÇÃO DE REFLECTÂNCIA DE ALVOS PARA DETECÇÃO DE PLANTAS DANINHAS EM PRÉ-SEMEADURA

### *Use of reflectance of targets for weed detection in pre-sowing*

Luan Pierre Pott<sup>1</sup>, Telmo Jorge Carneiro Amado<sup>2</sup>, Nelson Diehl Kruse<sup>3</sup>, Elodio Sebem<sup>4</sup>, Darlan Preuss<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000, 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil,  
luanpierrepot@hotmail.com, florestatel@hotmail.com, nelsondkruse@gmail.com,  
elodiosebem@politecnico.ufsm.br, darlanpreuss@hotmail.com

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar curvas espectrais de alvos bióticos e abióticos com intuito de selecionar comprimentos de ondas com maiores amplitudes de diferenciação de vegetação de outros elementos presentes em uma pulverização em pré-semeadura (dessecação). Foi utilizado o espectrorradiômetro *HandHeld 2, ASD®*, com comprimentos de onda de 325-1075 nm, para realizar leituras das curvas espectrais de espécies de plantas daninhas: *Amaranthus hybridus*, *Bidens pilosa*, *Brachiaria spp.*, e elementos abióticos: solo, palha e concreto. Os comprimentos de onda referentes a faixa do verde, amarelo e vermelho apresentaram maior capacidade de distinção. Também foi observado boa capacidade de distinção a partir da análise derivativa das curvas espectrais. Estas distinções entre plantas daninhas e outros elementos comuns em pulverizações possibilitam a automação de máquinas agrícolas com sensores embarcados, os quais são capazes de identificar e pulverizar plantas daninhas de forma dirigida em pré-semeadura, *on-the-go*.

**Palavras-chave:** Comprimento de onda. Sensores. Reflectância.

### ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate spectral curves of biotic and abiotic targets in order to select wavelengths with more differentiation with vegetation of other elements present in a spray in pre-sowing. The spectroradiometer used was *HandHeld 2 ASD®* with wavelengths 325-1075nm, to make assay of spectral curves of this species: *Amaranthus hybridus*, *Bidens pilosa*, *Brachiaria spp.* and abiotic factors: soil, straw and concrete. The wavelength band concerning the green, yellow and red showed higher capacity of differentiation. The derivative spectral was other method with good capacity to distinguish. These distinctions between weeds and other common elements in sprays make possible the automation of agricultural machinery with embedded sensors, which are able to identify and spray weeds so directed in pre-seeding, *on-the-go*.

**Keywords:** Wave length. Sensors. Reflectance.

## 1 INTRODUÇÃO

Planta daninha é conceituada como toda e qualquer planta que se localiza em espaços indesejados que causam interferência à atividade, seja em meio ambiental, em meio social ou agrícola, este último ocasionando, além de diminuição da produtividade de culturas, problemas indiretos, como dificuldade de colheita e liberação de substâncias químicas, entre outras. Seu controle pode ser realizado por métodos preventivos, mecânicos, físicos, culturais e o mais utilizado nos dias atuais, o método químico, com a utilização de herbicidas. Para tanto, uso de agrotóxicos em geral e, especificamente, herbicidas possuem alto custo, somado à questão de impacto ambiental destes produtos.

Os manejos rotineiramente são realizados visto a necessidade geral da área, não levando em consideração a variabilidade espacial da presença e densidade de plantas daninhas da área. No entanto as técnicas de sistema de informações geográficas (SIG) aliadas a agricultura de precisão possibilitam um mapeamento desta variabilidade espacial de forma convencional, coletando informações qualitativas e quantitativas das plantas daninhas com sua localização geográfica. Entretanto, esta atividade se torna trabalhosa, onerosa, e em alguns casos, pouco

precisa.

Desta maneira, tecnologias disponíveis em sensores remotos têm ganhado atenção e espaço no mercado agrícola nos últimos anos. Alternativas utilizando sensores que sejam capazes de identificar plantas daninhas e que, com a automação agrícola, possibilitam o controle dirigido de plantas daninhas aumentariam a eficiência das pulverizações, com ganhos econômicos, sociais e ambientais.

O objetivo deste trabalho foi avaliar curvas espectrais de plantas daninhas e alvos não-biológicos, com intuito de selecionar comprimentos de ondas com maiores amplitudes de diferenciação de vegetação de outros elementos presentes em uma pulverização em pré-semeadura (dessecação).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Santa Maria - RS, área pertencente à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), denominada como "Área Nova", com coordenadas geográficas 29,7180° S, 53,7375° O, com altitude média de 110 m. O clima do local é classificado como Cfa com temperatura média de 19,3° C e precipitação média anual de 1688mm, (Köppen, 1928). O solo predominante na área é o Argissolo Vermelho Distrófico arênico (Embrapa, 2006).

Foi utilizado o equipamento espectrorradiômetro HandHeld 2, ASD®, com comprimentos de onda de 325-1075nm, porém neste estudo foi utilizado apenas a faixa de 400-900nm para análise, devido à presença de ruídos nos extremos. Procurou-se definir comprimentos de ondas com maiores amplitudes de diferenciação de vegetação de outros elementos presentes em uma pulverização em pré-semeadura, utilizando nesta avaliação a análise derivativa das curvas espectrais como a criação de índices relacionando suas reflectâncias.

Foram realizadas avaliações de comportamentos espectrais de espécies de plantas daninhas: *Amaranthus hybridus*, *Bidens pilosa*, *Brachiaria* spp., e comportamentos espectrais dos outros alvos (solo, resíduo vegetal e concreto). As espécies de plantas daninhas foram semeadas manualmente em parcelas de 2x2m<sup>2</sup>, com delineamento inteiramente casualizado, com 4 repetições.

Logo após a emergência das espécies foram realizadas leituras ao longo de seu desenvolvimento. Todas as leituras foram realizadas próximas do horário 12:00, Brasil (UTC-3). Foi realizado o teste de comparação de médias pelo teste de Tukey ( $p < 0,001$ ), utilizando Software R, (Experimental Designs Package), pela medida da reflectância de cada curva espectral, com o objetivo de verificar em quais comprimentos são distinguidas.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das leituras indicaram que certos comprimentos de onda possuem maior amplitude de diferenciação da vegetação tanto de palha, solo e concreto, (Figura 1).

Os comprimentos de onda referentes às faixas de verde (500-565nm), amarelo (565-590nm) e vermelho (625-700) e infravermelho próximo (700-1500nm) obtiveram maiores diferenças nos valores de reflectância, sendo que as espécies de plantas daninhas possuem uma curva espectral característica, apresentando menores valores nestes comprimentos de ondas comparado aos elementos solo, resíduos vegetais e concreto.

Realizando o teste de comparação de médias obteve-se diferença estatística nos comprimentos de onda citados acima, onde para os comprimentos de onda referentes ao vermelho, a vegetação possui reflectância menor em relação aos elementos abióticos avaliados (Tabela 1).

Figura 1 - Curvas espectrais de elementos bióticos e abióticos.

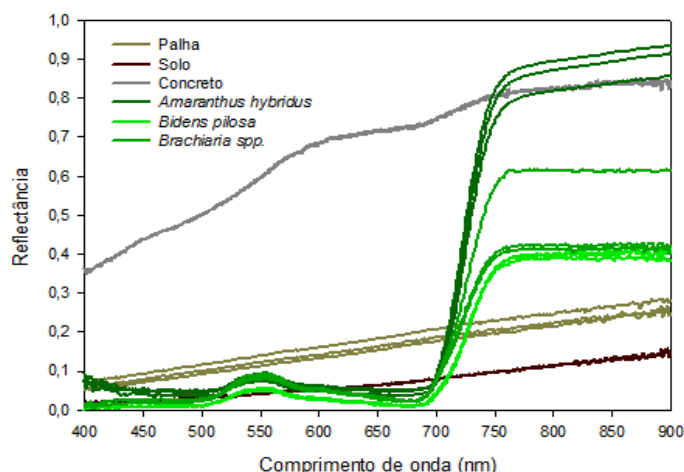


Tabela 1 - Resultados da análise de comparação de médias das reflectâncias dos alvos no comprimento de onda de 650nm e 850nm.

Alvos	Comprimento de onda (nm)		Alvos	Comprimento de onda (nm)	
	$\rho$ 650			$\rho$ 850	
Concreto	0,701 a*		Concreto	0,826 a*	
Palha	0,167 b		<i>Amaranthus</i> sp.	0,876 a	
Solo	0,065 b		<i>Bidens</i> sp.	0,403 b	
<i>Amaranthus</i> sp.	0,044 c		<i>Brachiaria</i> spp.	0,425 b	
<i>Bidens</i> sp.	0,018 c		Palha	0,225 c	
<i>Brachiaria</i> spp.	0,022 c		Solo	0,114 d	
CV	35,95%		CV	23,58%	

\* Médias seguidas de mesmas letras não diferem estatisticamente, Tukey ( $p < 0,001$ ). CV= coeficiente de variação.  $\rho$  corresponde reflectância.

Para tanto, apesar de possuir diferença significativa, a diferença relativa numérica é pequena, e variável para os estágios de desenvolvimento da vegetação. Neste caso, haveria a possibilidade de confecção de índices de vegetação, os quais poderiam envolver equações com as reflectâncias dos comprimentos de onda que obtiveram maiores amplitudes de diferenciação, a exemplo uma simples razão entre infravermelho próximo (NIR) e vermelho (RED) ( $\rho$  850 /  $\rho$  650).

Resultados corroboram com Scottford & Miller (2005) onde maioria das medidas usadas para detecção de plantas daninhas são os comprimento de onda visível entre 400-700nm e regiões do infravermelho próximo 700-2500nm do espectro eletromagnético.

Com a automação agrícola é possível embarcar sensores ao pulverizador que detectam a planta daninha, acionando a pulverização (ANTUNIASSI, 2002). Muitos casos já vem sendo utilizados principalmente na cultura da cana-de-açúcar, no entanto é necessário cuidados com calibração para melhor efetividade da prática.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que sensores hiperespectrais possibilitam a diferenciação de plantas daninhas de elementos abióticos com presença comum em pulverizações, como palha de culturas antecessoras, do solo em geral e concreto.

Comprimentos de onda referentes ao verde, amarelo e vermelho possuem maior amplitude de diferenciação, com a possibilidade de confecção de índices para distinção.

## REFERÊNCIAS

ANTUNIASSI, U.R. Agricultura de Precisão: precisão na aplicação para controle de plantas daninhas. **Seminário Nacional Sobre Plantas Daninhas**. Passo Fundo. Resumos. p.53, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 306p. 2006.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.

HARRI L. **Manual de Identificação e Controle de Plantas Daninhas**. UFV 7ª Edição.

HERRMANN, I et al. Ground-level hyperspectral imagery for detecting weeds in wheat fields. **Precision Agriculture** v.14 n 3, 2013.

NUSPL, S. J.; RUDOLPH, W. W.; GUTHLAND, R. Use of injection for Site-specific Chemical Application. **Precision Agriculture**. Proceedings, 1996. p. 739-744.

POTT, L. P. et al. Sensores para detecção de plantas daninhas em pós-emergência na cultura da soja. **Resumo ConBAP 2016**.

SCOTFORD, I.M.; MILLER, P.C.H. Applications of spectral techniques in northern European cereal production: a review. **Biosystems Engineering**. v.90, n.3, p.235-250, 2005.

SHIRATSUCHI L. S. et al. **Mapeamento da variabilidade espacial das plantas daninhas**. 1º Edição, 2003.

## USO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (ARP) PARA OBTENÇÃO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS E GERAÇÃO DE ORTOMOSAICO PARA A SILVICULTURA

*Use of remotely piloted aircraft (RPA) for obtaining air photographs and  
generating orthomosaic for silviculture*

Lúcio de Paula Amaral <sup>1</sup>, Deoclides de Oliveira Neto <sup>2</sup>, Dionatas Henrique Honnef <sup>3</sup>, Guilherme  
Silveira de Oliveira <sup>3</sup>, Vilmar Ferando Kunz de Santana <sup>3</sup>

<sup>1</sup> UFSM, DER-CCR; PPGAP, Av. Roraima 1000 – Prédio 44J, Sala 213, 97105-900, Santa Maria – RS,  
Brasil, [amaralufsm@gmail.com](mailto:amaralufsm@gmail.com)

<sup>2</sup> Dron Geotecnologia Ltda, Tupanciretã – RS, Brasil, [deoclidesoliveiraneto@gmail.com](mailto:deoclidesoliveiraneto@gmail.com)

<sup>3</sup> UFSM, Curso de Graduação em Engenharia Florestal, CCR, Av. Roraima 1000 – Prédio 42, 97105-900,  
Santa Maria – RS, Brasil, [dionatas.honnef@gmail.com](mailto:dionatas.honnef@gmail.com), [guioliveira16@hotmail.com](mailto:guioliveira16@hotmail.com),  
[fernandokunzsantana@gmail.com](mailto:fernandokunzsantana@gmail.com)

### RESUMO

Este estudo descreve o uso de aeronave remotamente pilotada (ARP) para coleta de fotografias aéreas e geração de ortomosaico para floresta plantada (Silvicultura). A empresa DRON Geotecnologia Ltda realizou o trabalho para uma empresa do setor florestal no Rio Grande do Sul. As fotografias aéreas foram obtidas com uma câmera RGB transportada por ARP de asa fixa, o *Maptor* fabricado pela *Horus*. O planejamento do voo foi feito no *software Mission Planner*. As fotografias foram processadas com o *software PIX4D*, serviço realizado pela *Horus*, que o disponibiliza a quem adquire seus ARP. O ortomosaico apresentou resolução espacial de 6,86 cm/pixel, atendendo a exigência da contratante de ter resolução melhor que 10 cm/pixel, para que seu corpo técnico realizasse estudos de volumetria. Conclui-se que o trabalho realizado pode atender as necessidades das empresas e produtores que exploram a silvicultura, podendo ser gerados ortomosaicos de alta resolução produzidos por aerolevantamentos utilizando ARP, dos quais podem ser obtidos dados da floresta, além de dados de planimetria e altimetria.

**Palavras-chave:** VANT. Silvicultura de precisão. Fotogrametria digital.

### ABSTRACT

This study describes the use of remotely piloted aircraft (ARP) or Unmanned Aerial Vehicle (UAVs), to collect aerial photographs and generate orthomosaic for planted forest (Silviculture). The company DRON Geotecnologia Ltda carried out the work for a company of the forestry sector in Rio Grande do Sul. Aerial photographs were obtained with an RGB camera transported by ARP of fixed wing, the *Maptor* manufactured by *Horus*. Flight planning was done in *Mission Planner* software. The photos were processed with *PIX4D* software, a service provided by *Horus*, which makes it available to those who purchased their ARPs. The orthomosaic presented a spatial resolution of 6.86 cm/pixel, meeting the contractor's requirement to have a resolution better than 10 cm/pixel, so that its technical staff performed volumetric studies. It can be concluded that the work carried out can meet the needs of companies and producers that exploit forestry, and high-resolution orthomosaics produced by aerial surveys using ARP from which forest data can be obtained, as well as planimetry and altimetry data.

**Keywords:** Drone. Precision forestry. Digital photogrammetry.

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, segundo o IBGE (2015) que divulgou comentários analíticos e os resultados da Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura - PEVS 2015, o setor florestal vem assumindo nos últimos anos, posição de destaque no cenário nacional. A Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ) aponta o Brasil como o quarto maior produtor de celulose do mundo, atrás de China, Estados Unidos e Canadá, e o primeiro em celulose de eucalipto (*Eucalyptus* sp). O clima favorável é um forte componente do alto rendimento florestal obtido no País. Segundo estimativas da IBÁ, o setor

é responsável por cerca de 3,8 milhões de empregos diretos, indiretos e resultantes do efeito-renda e em 2015, a produção primária florestal somou R\$ 18,4 bilhões (IBA, 2015). A silvicultura contribuiu com 74,3% (R\$ 13,7 bilhões) do total apurado, enquanto a extração vegetal participou com 25,7% (R\$ 4,7 bilhões) (IBGE, 2015).

Para a realização das atividades operacionais nas suas propriedades, os produtores e indústrias florestais contam com um sistema de gestão florestal baseado numa base cartográfica com informações cadastrais bastante detalhadas. O uso constante destes dados faz com que seja necessário um processo de atualização intensiva destas informações de campo, utilizando os métodos e conceitos tradicionais de levantamento de dados, através de equipes de campo, incluindo o uso de receptores GNSS e estações totais, bem como sensoriamento remoto. O processo todo resulta em um gasto elevado com atividades de topografia e levantamentos gerais, bem como na obtenção de imagens orbitais de alta resolução, sem contar com os riscos inerentes a atividade de campo e o tempo despendido para execução entre outros fatores.

O setor florestal, em especial a produção obtida em florestas plantadas, vem assumindo, nos últimos anos, posição de destaque no cenário nacional. As limitações impostas aos métodos tradicionais de topografia e levantamentos gerais, que servem como base cartográfica para que se tenha uma boa gestão florestal, trazem a necessidade de buscarmos alternativas tecnológicas que sejam mais baratas, rápidas, com menor risco e que nos permitam realizar certos levantamentos com maior frequência. Estas demandas podem ser atendidas com o uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) ou, segundo a ANAC (2017), Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP).

O presente trabalho tem por objetivo apresentar um estudo de caso, no qual se mostra a viabilidade técnica e a funcionalidade do uso de ARP como plataforma de obtenção de fotografias aéreas verticais para gerar um ortomosaico, que servirá como base cartográfica para utilização na silvicultura.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

O interesse em Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) (CASTRO JORGE e INAMASSU, 2014) e atualmente, segundo a ANAC (2017), Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP), tem crescido ao redor do mundo. Avanços recentes na tecnologia computacional, desenvolvimento de software, materiais mais leves, sistemas globais de navegação, avançados links de dados, sofisticados sensores e a miniaturização são os motivos do aumento de desenvolvimentos de ARP. Atualmente, mais de 40 países tem trabalho de desenvolvimento de ARP para diferentes mercados. Os Estados Unidos aparecem como um dos líderes em termos de tamanhos, tipos e sofisticções dos sistemas, voltados principalmente para o mercado militar ao lado de Israel. Outros países incluem o Japão, Coréia do Sul, Austrália, França, Inglaterra, Itália, Alemanha e África do Sul. O Japão se destaca com mais de 2000 ARP aplicados em pulverização e outras aplicações na agricultura (SIMPSON, 2003; DE GARMO, 2004).

Com a popularização dos ARP cresce o número de aplicações e de possibilidades para uso profissional. Essas aeronaves remotamente pilotadas apresentam-se ao mercado como uma tecnologia revolucionária. Além de toda a inovação, esta tecnologia traz com ela uma relação custo-benefício extremamente atraente comparado às tecnologias atualmente utilizadas. A tecnologia dos ARP tem sido encarada por muitos como uma TECNOLOGIA DISRUPTIVA, que é a tecnologia que chega para substituir outra existente (FUCCI, 2016).

A realização de Fotogrametria com ARP é amplamente aceita como um novo método para a análise de dados de imagens espaciais (SILVA e COSTA, 2010). Para estes autores os principais aspectos de vantagens da fotogrametria são relativos à grande quantidade de informações que se pode obter com a fotointerpretação, essencial para as fases preliminares dos projetos e estudos das possíveis variantes, mas também quando se deseja um levantamento mais rápido de grande extensão ou em áreas perigosas ou inacessíveis.

Para Laranja et al. (2012) a utilização da fotogrametria tem sido ampliada devido ao crescente desenvolvimento tecnológico. Isso permite que muitos projetos de mapeamento topográfico, outrora considerados inviáveis, hoje, se tornem possíveis. Para esses autores, a

fotogrametria possibilita extrair os elementos geográficos específicos para as mais diversas aplicações. Tommaselli (2009) aponta que a fotogrametria apresenta uma série de vantagens sobre os processos diretos de medição, pois o objeto a ser medido não é tocado, a quantidade de informações semânticas e geométricas é elevada, superfícies de difícil acesso podem ser determinadas, a precisão se adequar às especificações do projeto. Como subdivisão da fotogrametria, Tommaselli (2009) expressa a fotogrametria aérea, em que as fotografias do terreno são obtidas por uma câmera contida em uma aeronave. Nesta pesquisa, as imagens foram captadas por um VANT ou ARP.

Araújo (2006), utilizou-se do ARP AgPlane, para inventário da mortalidade de indivíduos, avaliação de plantio, coeficiente de variação da área das copas em silvicultura. Barbosa (2007) utilizou-se de um ARP de baixo custo (VANT - aeromodelo adquirido em loja de aeromodelismo, peso de 5,2 kg e asa de 0,7 m) para mapeamento de cobertura vegetal Estação Experimental de Santa Rita, gerenciada pela Universidade do Arizona (EUA).

Conforme citado em Araujo e Sartório (2004), em função das limitações dos métodos convencionais de coleta de dados para atualização cartográfica e cadastral utilizados atualmente nas empresas florestais brasileiras, as empresas deste setor tem buscado constantemente avaliar novas tecnologias que possam suplantam estas limitações e entregar produtos melhores e com menor tempo, não somente para a área de geoprocessamento, mas para toda a empresa. Porém essas "novas tecnologias" provavelmente serão utilizadas para gerar ortofotos aéreas ou imagens digitais utilizadas para confecção de ortomosaicos.

As imagens obtidas por câmeras fotográficas embarcadas em ARP são fotografias aéreas verticais, nas quais se tem o eixo óptico da câmara oscilando num ângulo inferior à  $\pm 3^\circ$  em relação ao solo tendo perspectiva central (COELHO e BRITO, 2007). Já uma ortofoto é uma fotografia, que mostra imagens de objetos em suas posições ortográficas verdadeiras (CAMPITELI, 2016). Coelho e Brito (2007) definem ortoimagem como sendo uma imagem em perspectiva ortogonal, ou seja, são diferentes daquelas obtidas por câmeras convencionais que possuem perspectiva central, devido aos inúmeros raios de luz, advindos de diversos objetos imageados, passarem por um só ponto, o centro de perspectiva, localizado no sistema óptico da câmera.

Wolf (1983), citado por Campiteli (2016), relata que as ortofotos são geometricamente equivalentes a mapas convencionais planimétricos de linhas e símbolos, os quais também mostram as posições ortográficas verdadeiras dos objetos. Já as fotografias em perspectiva central não podem ser utilizadas para a obtenção de informação métrica segura, por possuir erros devido à rotação do sensor e deslocamentos devido ao relevo, inerentes a perspectiva cônica (COELHO e BRITO, 2007).

Campiteli (2016) considera que de modo análogo à ortofoto, a ortofotografia é um produto resultante da transformação de uma fotografia aérea vertical bruta (original) em uma foto aérea onde os deslocamentos devido ao relevo e a inclinação da fotografia são eliminados. Segundo o autor é comum a confusão entre uma ortofoto e foto retificada, que é nada mais que fotografia aérea vertical corrigida da inclinação da câmera.

O princípio básico para a construção de uma ortofoto consiste na transferência dos tons de cinza de uma imagem digital, para uma imagem de saída (ortofoto), onde as feições são projetadas ortogonalmente, com escala constante, não apresentando os deslocamentos devidos ao relevo e à inclinação da câmera, este é um produto obtido geometricamente equivalente a uma carta. Para o processamento e posterior geração das ortofotos é necessário além das imagens, informar os parâmetros de orientação interior da câmera e os parâmetros de orientação exteriores de cada imagem usada no processo e do modelo digital de terreno (MDT) (CAMPITELI, 2016). A Figura 1 ilustra o fluxo para a obtenção de ortofotos.

A orientação interior reconstrói a posição dos feixes perspectivos em relação à câmara no momento da tomada da foto. Para materializar esse efeito, são calculados os parâmetros que relacionam o sistema de coordenadas de imagem digital (*pixel*) em um sistema característico de cada câmera, dado pelos parâmetros descritos em seu certificado de calibração (COELHO e BRITO, 2007).

Figura 1 – Fluxograma de obtenção de ortofotos com entrada e saída de dados.



Fonte: Campiteli (2016).

Os parâmetros de orientação interior (POI) são dados que permitem a recuperação da posição da fotografia em relação à câmera, em outras palavras, esses dados permitem a reconstrução do feixe perspectivo que gerou as fotografias. São constituídos pela distância focal ( $f$ ), coordenadas do ponto principal ( $x_0$ ,  $y_0$ ), coeficientes da distorção radial simétrica ( $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ ) e coeficientes da distorção descentrada ( $P_1$ ,  $P_2$ ) (CAMPITELI, 2016). Pode-se dizer que a fotografia aérea digital que estava “solta”, ou seja, não georreferenciada, é atrelada à posição que exercia dentro da câmara quando foi obtida (espaço-imagem) (COELHO e BRITO, 2007).

A orientação exterior relacionam o sistema de câmera reconstituído na orientação interior ao sistema de coordenadas no terreno (espaço-objeto) no instante de obtenção de cada fotografia, por meio da determinação dos parâmetros que regem a posição do centro de perspectiva na tomada da foto, ou seja, posição tridimensional e rotação nos três eixos (resseção espacial). Assim se conhece a posição da imagem no espaço-imagem e no espaço-objeto. Com o conhecimento desses parâmetros, são deduzidas as coordenadas no espaço-objeto, de qualquer ponto representado no espaço-imagem, que é o objetivo da fotogrametria digital, com uso de equações de colinearidade, que consideram as coordenadas do ponto no espaço-objeto incógnitas (interseção espacial) (COELHO e BRITO, 2007).

Os parâmetros de orientação exterior (POE) são dados que permitem a reconstrução da posição e atitude de cada fotografia em relação a um referencial terrestre, geralmente o mesmo referencial que foi utilizado para o levantamento aerofotogramétrico. São constituídos pelas coordenadas dos centros perspectivos (CP's) e os ângulos de orientação ( $kappa$ ,  $fi$ ,  $omega$ ) das imagens. No caso do uso de ARP esses dados são disponibilizados no *log* de voo. É preciso saber que os ângulos de orientação disponibilizados no *log* de voo são em relação ao ARP (*yaw*, *pith*, *roll*) e não em relação às imagens (*kappa*, *fi*, *omega*) (CAMPITELI, 2016).

Segundo Campiteli (2016) POI e POE são de extrema importância para o processo de ortorretificação, pois com estes dados é possível corrigir erros decorrentes no instante da tomada das imagens, que influenciam diretamente na qualidade geométrica da ortofoto.

O modelo digital de terreno (MDT) ou modelo numérico de terreno (MNT) são formas digitais de armazenar ou disponibilizar informações sobre a variação espacial da altitude do terreno na forma de mapa, ou ainda plano de informação ou camada. O MNT é um caso específico de modelos numéricos de elevação (MNE). O MNE se refere a qualquer imagem que armazene dados que possam ser vistos como elevações sobre uma superfície. Caso essa elevação seja a altura média acima do nível do mar, então ele será chamado MNT (MIRANDA, 2015).



O MDT é usado no processo de ortorretificação para determinar a posição do objeto em relação ao terreno e assim corrigir as distorções decorrentes da variação do terreno. Geralmente os *softwares* de processamento de imagens obtidas com ARP utilizam um MNE de superfície, ou seja, um modelo digital de superfície (MDS) ao invés do MDT. Isso pode trazer alguns erros como deformações, duplicações e erros posicionais, áreas que existem objetos com alturas mais elevadas como edificações e árvores são mais propícias a esses tipos de erros (CAMPITELI, 2016).

Para Horus (2016) mosaico é um conjunto de fotos aéreas verticais de escala aproximada, de uma determinada região, recortada e montada através de *software* de processamento de imagens de tal forma a dar impressão de que todo o conjunto é uma única fotografia. Segundo Campiteli (2016) um mosaico de ortofotos ou ortomosaico é um produto gerado do processo de mosaicagem de várias ortofotos. Neste processo é realizada a busca de pontos homólogos entre duas ou mais imagens sobrepostas entre si, sendo esta sobreposição condição básica para o mesmo, no qual também é realizada a correção radiométrica das cores para que não ocorra descontinuidade entre elas.

Ortomosaico é um tipo especial de mosaico digital, obtido a partir de imagens retificadas diferencialmente. Este produto é bem mais complexo do que um simples mosaico, pois o produto gerado tem todas as características geométricas de uma carta com a vantagem de conter as informações radiométricas da imagem e possuir uma vista ortogonal ao plano da imagem (HORUS, 2016).

Na geração de ortomosaicos de fotografias aéreas obtidas por ARP podem ou não ser utilizados pontos de apoio a campo, dos quais as coordenadas são obtidas por rastreamento de sinais de posicionamento com receptores GNSS (SILVA et al., 2015). Para Costa (2012) o objetivo mais comum para os pontos notáveis em fotografias aéreas pré-sinalizados é proporcionar medições mais precisas das coordenadas dos pontos de apoio em campo necessários na fototriangulação.

Quando não se tem pontos de apoio, são utilizados como referência apenas os dados do GPS de navegação embarcado no ARP. No entanto, a geometria das suas feições poderá estar relativamente consistente com a realidade, mas o ortomosaico estará deslocado nas componentes x e y, devido aos erros sistemáticos e de precisão posicional (SILVA et al., 2015).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A área de realização deste trabalho é referente a um empreendimento florestal localizado no município de Eldorado do Sul, estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

O aerolevanteamento foi realizado com um ARP do tipo asa fixa, marca Horus, modelo *Maptor* (Figura 2.a), embarcado com uma câmera RGB compacta da marca *Canon*, modelo G9X (Figura 2.b), que possui um sensor de 20.2 MP, 13.200 mm x 8.800 mm, de alta sensibilidade e uma lente grande angular com distância focal de 28-80 mm, para obtenção das fotografias aéreas.

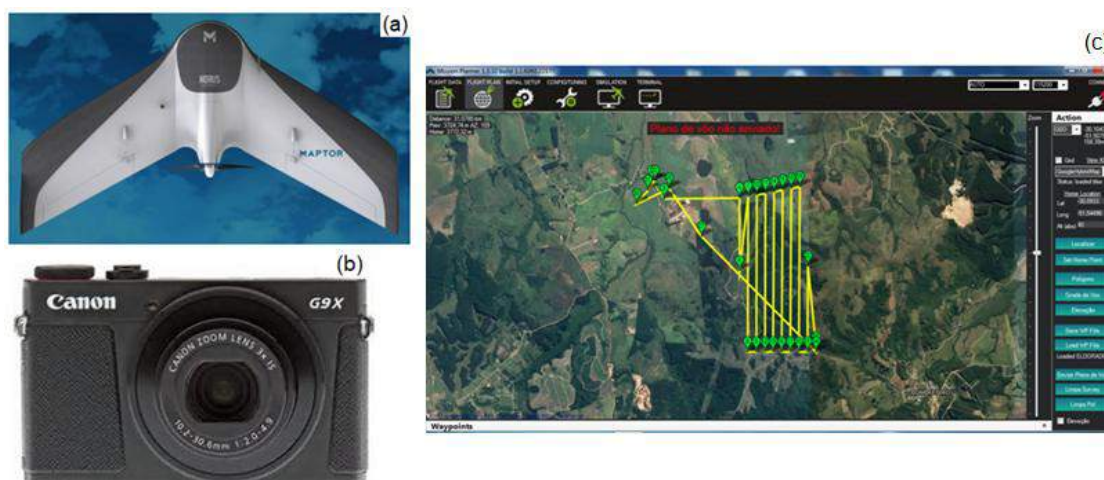
O voo foi planejado no *software Mission Planner* (Figura 2.c), com velocidade aproximada de 15 m/s, a uma altura de voo de 360 m (considerada a altura de lançamento), recobrimento longitudinal de 80% e lateral de 70% e distância de amostragem de solo (GSD), esperada de 6,80 cm. O voo teve duração aproximada de 36 minutos, com grade de voo de 11 faixas, totalizando 437 fotografias aéreas verticais digitais. Após a realização do voo as fotografias foram extraídas da câmera e foram gerados os *logs* de voo armazenados em arquivo de texto (formato *.txt*) com a utilização do mesmo *software*.

O processamento das fotografias aéreas foi realizado com o *software PIX4D*, onde foram inseridas as fotografias e os *logs* do voo, que gerou o ortomosaico. Este serviço especializado foi realizado pela Hórus, que oferta o mesmo para quem adquirir seus ARP e outros interessados, disponível no *website*: <http://processamento.horusaeronaves.com/>.

No processamento destes dados, o *PIX4D* executa automaticamente o *geotag* das imagens, que são etiquetas de localização inseridas nas propriedades das fotos, por meio de sincronismo com o receptor GNSS embarcado na ARP, identifica pontos homólogos nas fotografias e gera a nuvem de pontos, o MDS, a retificação das fotografias e a geração do

ortomosaico. O fluxo de trabalho automático realiza todo o processamento para que se garanta precisão centimétrica para os resultados. Ainda permite importação de arquivos GIS e CAD para seu fluxo de trabalho. Para o presente trabalho não foram utilizados pontos de apoio rastreados com GNSS em solo. As coordenadas utilizadas foram do tipo UTM, oriundas do GPS embarcado, tendo como referencial geodésico o WGS84 Fuso 22S.

Figura 2 - Aeronave remotamente pilotada modelo *Maptor* da fabricante Horus (a), Câmera digital modelo G9X da fabricante *Canon* (b) planejamento de missão ou de voo no *software Mission Planner*.



Fonte: adaptado de Horus Aeronaves, Canon (<http://www.imaging-resource.com/PRODS/canon-g9x/Z-canon-g9x-front.jpg>) e dados dos Autores.

No *PIX4D* a criação de ortomosaicos é baseada na ortorretificação, método que remove as distorções de perspectiva das imagens (*PIX4DMAPPER*, 2017). Segundo o relatório de qualidade de processamento, das 437 fotos geradas 428 foram calibradas e 436 foram geolocalizadas, ressaltando que não houve uso de pontos georreferenciados de controle no terreno. A densificação da nuvem de pontos foi configurada para opção de baixa densidade de pontos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O uso de ARP para imagear florestas plantadas não é nenhuma novidade. Araújo e Sartorio (2004), por exemplo, utilizaram esta tecnologia como alternativa para monitoramento florestal na Aracruz Celulose S/A. O diferencial hoje são a qualidade das fotografias aéreas verticais obtidas, seu processamento e geração de mosaicos com alta resolução.

No relatório de qualidade de processamento realizado pelo *Pix4D* é possível observar o comportamento de posicionamento das fotografias aéreas verticais obtidas (Figura 3). Na figura 3.a observa-se a linha verde, representando as 11 linhas de voo, que liga as posições de cada foto (pontos azuis pequenos) à posição inicial (ponto azul grande), no instante de obtenção das mesmas.

Na figura 3.b se observa o deslocamento entre as posições iniciais das fotografias (pontos azuis) e suas posições calculadas (pontos verdes), bem como os deslocamentos entre estes pontos na vista superior (plano XY), vista frontal (Plano XZ) e vista lateral (plano YZ). Os pontos vermelhos indicam fotografias não calibradas ou desativadas. As elipses verdes escuras indicam a incerteza da posição absoluta do resultado do ajuste do bloco de ligações de pontos entre fotos.

Os parâmetros de posição absoluta da câmara e das incertezas de orientação médios

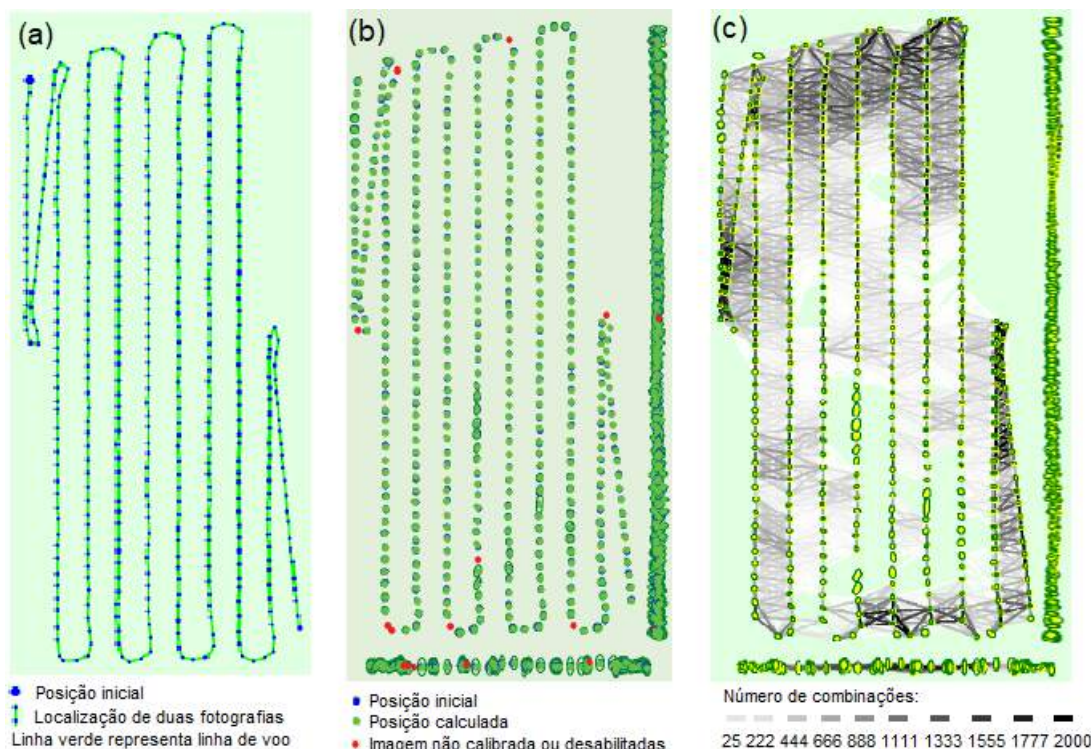
foram  $X = 0,834$  m,  $Y = 1,018$  m e  $Z = 1,534$ , com seus respectivos desvios padrões, para X, Y e Z respectivamente, de 0,253 m, 0,361 m, e 0.571 m. Já os ângulos médios de orientação foram  $\Omega = 0,272^\circ$ ;  $\Phi = 0,204^\circ$  e  $\kappa = 0,079^\circ$ , com seus respectivos desvios padrões de 0,108°; 0,072° e 0,046°.

Na Figura 3.c se tem as posições do ortomosaico com as ligações entre as fotografias correspondentes. Os tons escuros das ligações indica o número de combinações de pontos homólogos em 2D correspondentes entre as fotografias. Já as ligações brilhantes indicam ligações fracas e requerem pontos de ligação manual ou mais fotografias.

Foram utilizados um total de 2365193 pontos homólogos para o ajuste do bloco de ligações de pontos, com erro médio de reprojeção de 0,143 *pixels*. As elipses verdes escuras indicam a incerteza relativa da posição da câmera em relação ao bloco de ligações resultantes. Quanto maior a elipse maior a incerteza, que está associada a baixos números de combinações de pontos homólogos. Nesta figura se observa também, na região central, a não ocorrência de ligações de pontos e a geração de elipses de incertezas grandes.

Os parâmetros de posição relativo da câmera e das incertezas de orientação médios foram  $X = 1,169$  m,  $Y = 1,287$  m e  $Z = 2,352$ , com seus respectivos desvios padrões, para X, Y e Z respectivamente, de 0,234 m, 0,322 m, e 0.482 m. Já os ângulos médios de orientação foram  $\Omega = 0,255^\circ$ ;  $\Phi = 0,260^\circ$  e  $\kappa = 0,087^\circ$ , com seus respectivos desvios padrões de 0,082°; 0,052° e 0,040°.

Figura 3 – Comportamento de posicionamento das fotografias aéreas verticais no processo de geração do ortomosaico no *software Pix4D*.



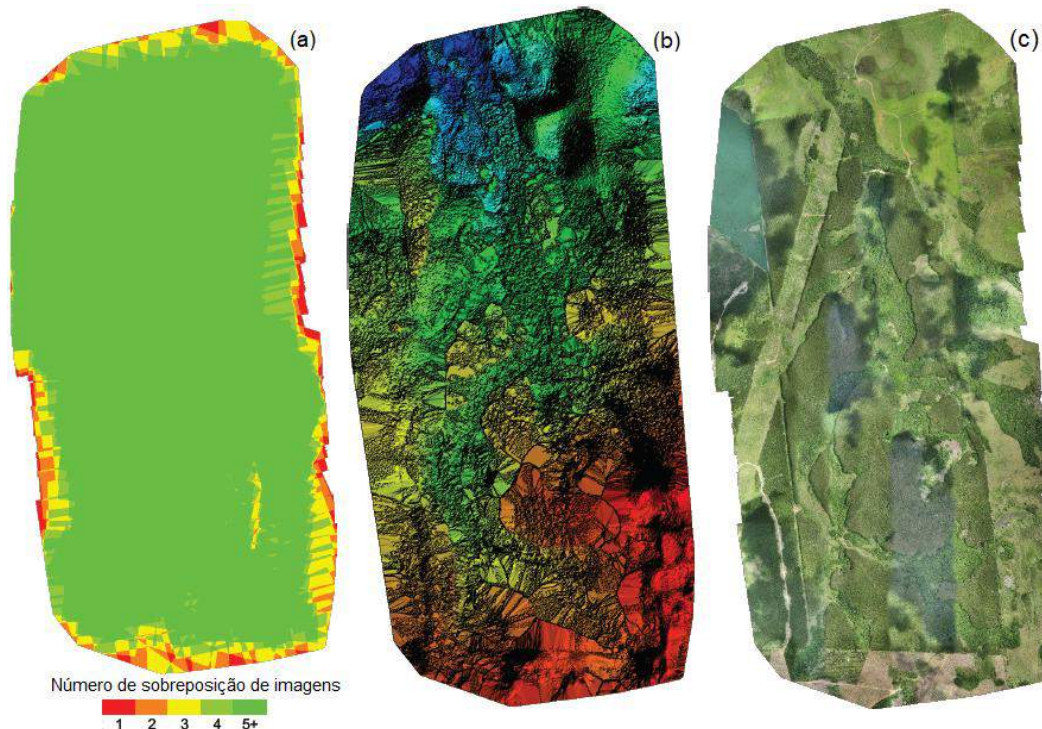
Legenda: a – Posições iniciais das fotografias aéreas verticais no instante de sua geração; b – Cruzamento entre posições iniciais e calculadas das fotografias; c – Posições calculadas da imagem com base nas combinações de pontos homólogos com detalhes das elipses de incertezas.

Fonte: Acervo técnico da Dron Geotecnologias, Relatório de qualidade de processamento de Imagens no Pix4D realizado pela Horus.

Ainda no processamento é realizada uma análise da sobreposição ou recobrimento das

fotografias por *pixel* no mosaico e é obtido o modelo digital de superfície, Figuras 4.a e 4.b. O número de imagens sobrepostas calculadas para cada *pixel* do ortomosaico pode ser visualizado na Figura 4.a. As áreas vermelhas e amarelas indicam baixa sobreposição, para o qual podem ser obtidos resultados ruins. As áreas verdes indicam uma sobreposição de mais de cinco fotografias para cada *pixel*. Nestas áreas serão gerados bons resultados de qualidade, desde que o número de combinações de pontos homólogos também seja suficiente para essas áreas (veja a Figura 3.c para combinações de pontos homólogos).

Figura 4 – Resultados do aerolevanteamento e processamento das fotografias aéreas obtidas.



Legenda: a – Sobreposição ou recobrimento das fotografias aéreas verticais obtidas; b – modelo digital de superfície; c – Ortomosaico obtido.

Fonte: Acervo técnico da Dron Geotecnologias, Relatório de qualidade de processamento de Imagens no Pix4D realizado pela Horus.

Como produto final do processamento, foi obtido um ortomosaico (Figura 4.c), ou seja, uma imagem composta por diversas fotografias aéreas verticais retificadas (em projeção ortogonal), em formato *geotiff*, com área recoberta de 385,17 ha. Segundo o relatório de processamento do *software PIX4D* gerado pela Horus, foi obtida uma resolução espacial (GSD) de 6,86 cm/pixel.

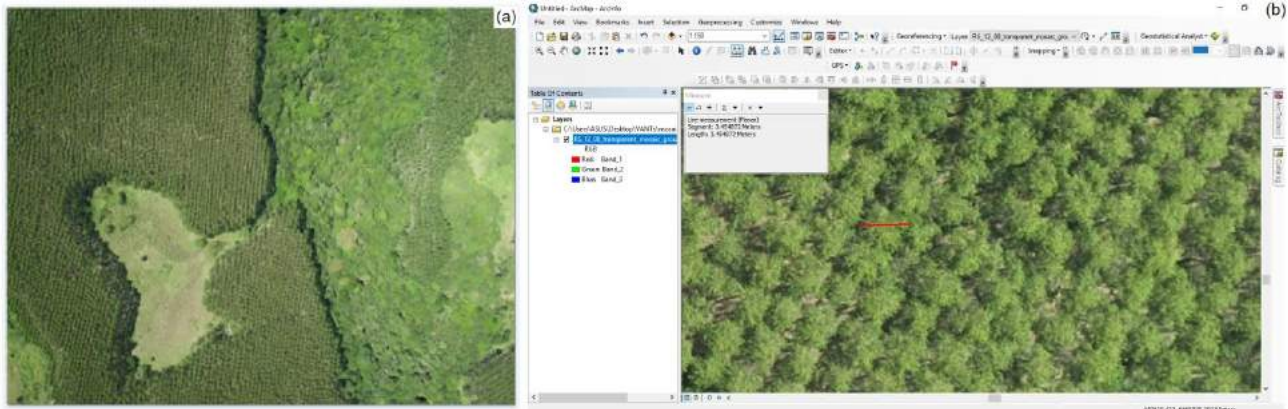
Este mosaico deverá ser georreferenciado, pois suas coordenadas são oriundas do GPS de navegação embarcado no ARP, o que poderia agregar mais qualidade ao mesmo ao localiza-lo em relação ao terreno com coordenadas mais precisas. Os erros máximos de geolocalização em X e Y forma de -15 m, no entanto os erros médios quadráticos para X, Y e Z foram respectivamente de 1,49m; 4,66 m e 1,74 m. A amplitude dos erros representam intervalos de localização entre -1,5 e 1,5 vezes a precisão máxima de todas as imagens. O erro de geolocalização é a diferença entre as posições iniciais e calculadas das fotografias aéreas. Já as acurácias médias da geolocalização em X e Y foram respectivamente de 5,00 m para cada eixo de orientação, e foi de 10,00 m para o eixo Z. Estas estatísticas podem ser melhoradas com uso de pontos de controle a campo.

Para Campitelli (2016) o uso de pontos de apoio em campo é essencial para aumentar a acurácia posicional do mosaico de ortofotos, pois são utilizados para realizar a orientação absoluta do modelo criado e os pontos de verificação são utilizados para aferir a acurácia posicional do

ortomosaico gerado.

Na figura 5 temos uma fotografia aérea vertical contendo floresta planta e floresta nativa obtida com o ARP utilizado (Figura 5.a) e uma fração do ortomosaico na qual se pode mensurar o diâmetro das copas das árvores de *Eucalyptus sp* por exemplo.

Figura 5 – Fotografia aérea vertical e fração do mosaico, sob zoom de visualização, obtidos a partir do aerolevanteamento com o ARP *Maptor*.



Legenda: a – fotografia aérea obtida; b – vista parcial do mosaico gerado visualizado no SIG Arc Map 10.1; - medida de diâmetro de copa.

Fonte: Adaptado da base de dados da Dron Geotecnologias Ltda.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ARP *Maptor* e a câmara utilizada se mostraram adequados para a obtenção de fotografias aéreas verticais para a geração de ortomosaico em área de floresta plantada. Os resultados obtidos neste trabalho atenderam as exigências da empresa florestal contratante, quanto ao GSD do ortomosaico obtido. Este produto poderá fornecer dados para estimar o volume de madeira que poderá ser extraído daquela floresta, método não disponibilizado pela contratante. O ortomosaico poderá ainda ser utilizado na formação da base cartográfica da contratante a ser usado em projetos com uso de SIG, dentre outras finalidades, desde que georreferenciado por pontos de controle a campo rastreados com receptor GNSS.

## REFERÊNCIAS

ARAUJO, M. A., SARTORIO, R. C. O uso de aeronaves não tripuladas como alternativa para monitoramento florestal na Aracruz Celulose S/A. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 6. 2004. Curitiba, **Anais....** Curitiba: FUPEF, 2004.

ARAUJO, M. A.; CHAVIER, F.; DOMINGOS, J. L. Avaliação do Potencial de Produtos Derivados de Aeronaves Não Tripuladas na Atividade Florestal. **Revista Ambiência**, Guarapuava, PR, v. 2, p. 69-82, 2006.

BARBOSA, H. A.; ROHANHORSE, A. S. Mapeamento da cobertura vegetal por meio de aeronave não tripulada na estação experimental de Santa Rita em Arizona: estudo em caso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSOREAMENTO REMOTO, 13. 2007. **Anais do ....** INPE, Florianópolis, p 6323-6328, 2007.

CAMPITELI, M. **Mosaico de ortofotos**: o que você precisa saber. 2016. Disponível em: <<http://blog.droneng.com.br/mosaico-de-ortofotos/>>. Acesso 06 set 2017.

CASTRO JORGE, L. A.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. **Agricultura de Precisão**: resultado de um novo olhar. Brasília: EMBRAPA, 2014. 596 p. Disponível em:<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/114264/1/CAP-8.pdf>>. Acesso 26 de ago 2017.

COELHO, L.; BRITO, J. N. **Fotogrametria digital**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2007. 199 p.

COSTA, G. C. **Pré-sinalização de pontos de apoio em aerofotogrametria com câmeras de pequeno formato**. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife-PE, 2012. p. 001–009.

DE GARMO, M. T. **Issues concerning integration of unmanned aerial vehicles in civil airspace**. McLean: Center for Advanced Aviation System Development-Mitre, 2004.

FUCCI, L. C. **Piloto de drone, uma profissão de futuro**. A tecnologia dos drones. Edição Independente. 2016. 135 p.

HORUS AERONAVES. **Quais os resultados que o processamento de imagens gera?** 2016. Disponível em:< <http://horusaeronaves.com/quais-os-resultados-que-o-processamento-de-imagens-gera/> >. Acesso 08 set 2017.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ARVORES (IBÁ) Disponível em: <http://iba.org/pt/produtos/celulose>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Prod. Extr. veg. e Silvíc.** Rio de Janeiro: IBGE, v. 30, p.1-48, 2015. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2015>. Acesso em 06/09/2017.

LARANJA, R. M.; CORREA, N. C. S; BRITO, J. L. N. S. Mapeamento Fotogramétrico Digital: Um Estudo Comparativo da Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha nos ambientes E-Foto e LPS. In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO. Recife – PE, mai 2012.

AGENCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL Disponível em : <http://www.anac.gov.br/>

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de sistemas de informações geográficas**. 4 ed., Brasília: EMBRAPA, 2015, 399 p.

PIX4DMAPPER. **Pix4Dmapper Pro**: Guia para iniciantes 3.1.23. Disponível em:< <https://s3.amazonaws.com/mics.pix4d.com/KB/Getting+Started+PDFs/Pix4DmapperPro-GuiaParalIniciantes-3.1-PT.pdf> >. Aceso 08 set 2017.

SILVA, C. A. et al. Utilização de VANT para a geração de ortomosaicos e aplicação do padrão de exatidão cartográfica (PEC). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2015. **Anais do ....** João Pessoa, INPE, p.1137-1144, 2015. Disponível em: < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0211.pdf> >. Acesso 07 set 2017.

SILVA, D. C.; COSTA, G. C. **Aerofotogrametria em Projetos de Estradas**. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife – PE, jul-2010.

SIMPSON, A. D. **Development of an unmanned aerial vehicle for low-cost remote sensing**

**and aerial photography.** 2003. Tese (Mestrado em Ciência), University of Kentucky, Lexington, 2003.

TOMMASELLI, A. M. G. **Fotogrametria Básica.** 2009. Disponível em:  
<[http://www.faed.udesc.br/arquivos/id\\_submenu/891/introducao\\_a\\_fotogrametria.pdf](http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/891/introducao_a_fotogrametria.pdf)>. Acesso em:  
15 de jun de 2017.

## USO DE CÂMERA DIGITAL RGB EM SUBSTITUIÇÃO AO CLOROFILÔMETRO NA RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO NITROGENADA A TAXA VARIADA EM PASTAGENS

*Use of a conventional digital camera RGB in replacement to the chlorophyll  
meter to variable rate nitrogen recommendation in pastures*

Lucas de Paula Corrêdo <sup>1</sup>, Francisco de Assis de Carvalho Pinto <sup>2</sup>, Domingos Savio Queiroz <sup>3</sup>,  
Domingos Sárvio Magalhães Valente <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n - Campus Universitário, 36570-000,  
Viçosa – Minas Gerais, Brasil, [lucascorredo@gmail.com](mailto:lucascorredo@gmail.com)

<sup>3</sup> Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Vila Gianneti, 46 – Campus Universitário, 36570-000,  
Viçosa – Minas Gerais, Brasil

### RESUMO

Diversos estudos têm sido realizados aplicando técnicas de sensoriamento remoto com o objetivo de otimizar o processo de produção de diversas culturas agrícolas, entretanto o manejo de fertilizantes em pastagens ainda carece de pesquisas com esse fim. A proposta desse trabalho foi avaliar a possibilidade de uso de uma câmera digital na avaliação do status de nitrogênio (N) em pastagens de Xaraés (*Brachiaria brizantha*). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e seis repetições. Realizou-se o monitoramento da radiação fotossinteticamente ativa (PAR), e aos 75% e 85% de interceptação de PAR pelo dossel, foram realizadas leituras com um clorofilômetro SPAD e imagens com uma câmera RGB. As imagens foram então processadas, aplicando índices de vegetação, avaliada sua correlação com as leituras de SPAD e o número de vezes que a tomada de decisão com base em ambos os aparelhos coincidiu. Entre os índices testado, o NDI apresentou correlação significativa para todos os períodos avaliados, coincidindo a tomada de decisão de ambos os métodos de coleta de dados em mais de 85% das vezes.

**Palavras-chave:** Sensores óticos. Índices de vegetação. Agricultura de Precisão.

### ABSTRACT

Several studies have been carried out applying remote sensing techniques with the objective of optimizing the production process of several agricultural crops, however the management of fertilizers in pastures still needs to be researched for this purpose. The proposal of this work was to evaluate the possibility of using a conventional digital camera in the evaluation of nitrogen (N) status in Xaraés (*Brachiaria brizantha*) pastures. The experiment was conducted in a randomized design with five treatments and six replicates. The photosynthetically active radiation (PAR) was monitored, and at 75% and 85% of PAR interception by the canopy, readings were performed with a SPAD chlorophyll meter and images with a conventional camera. The images were then processed, applying vegetation indexes, evaluated their correlation with the SPAD readings and the number of times that the decision making based on both devices coincided. Among the indexes tested, the NDI showed a significant correlation for all the evaluated periods, agreeing the decision making of both methods of data collection in more than 85% of the time.

**Keywords:** Optical sensors. Vegetation indices. Precision Agriculture.

## 1 INTRODUÇÃO

Técnicas de sensoriamento remoto (SR) vêm demonstrando potencial para o monitoramento de atributos de diferentes culturas agrícolas em tempo real, como estado nutricional, estresse hídrico, fitossanidade, entre outros (Zarco-Tejada et al., 2016; Wang et al., 2014; Diacono et al., 2013; Fitzgerald et al., 2010; Li et al., 2010). Entretanto, algumas culturas ainda carecem de estudos empregando esse tipo de recurso tecnológico para seu manejo, como as pastagens, principal fonte de alimento do rebanho bovino brasileiro e encontradas em estado de degradação em extensas áreas devido ao manejo inadequado.

Entre os atributos mais estudados destaca-se o *status* nutricional de nitrogênio (N). Macronutriente essencial à síntese de clorofila e, conseqüentemente, responsável direto pela



síntese de proteínas e produtividade vegetal. Conhecer as necessidades de N em culturas agrícolas em determinado local e momento é essencial para o manejo sustentável de fertilizantes nitrogenados e aplicação do insumo a taxa variada (Saberioon et al., 2014), resultando em economias significativas no processo de produção.

Os clorofilômetros portáteis, como o SPAD-502 (Minolta Camera Co. Ltd., Osaka, Japão), são uma alternativa para estimar as necessidades nutricionais de N em culturas agrícolas. Isso é possível pelo fato de a reflectância pelas plantas da luz visível ocorrer devido principalmente ao teor de clorofila foliar (Daughtry et al., 2000).

Francis e Piekielek (1999) utilizaram uma metodologia de estimativa de N em plantações de milho por meio do cálculo de um índice de suficiência de nitrogênio (NSI), obtido por meio de leituras espectrais de clorofila foliar com o SPAD. Entretanto, seu uso é limitado devido ao grande número de amostragens pontuais necessárias, por exemplo, para gerar um mapa de prescrição de N.

Uma alternativa economicamente viável e ágil de se extrair essas informações é por meio da realização de imagens digitais remotas e de técnicas de processamento computacional aplicando índices de vegetação (IV). Os IVs são cálculos aritméticos sobre a luz refletida em diferentes comprimentos de onda que permitem estimar alguns atributos agrônômicos nas plantas (Rasmussen et al., 2016).

Silva Júnior et al. (2008) aplicaram técnicas de sensoriamento remoto avaliando a correlação com leituras de SPAD para pastagens de *Brachiaria decumbens* objetivando detectar diferentes *status* nutricionais relativos à aplicação de N. Os resultados do estudo indicaram que os índices de vegetação gerados pelo sistema de SR aplicado foram capazes de detectar variação no *status* nutricional das plantas em todos os períodos testados.

Portanto, diante do potencial apresentado pelas câmeras comuns como ferramentas de manejo de fertilizantes nitrogenados, objetivou-se com esse trabalho avaliar a possibilidade de uso de uma câmera digital RGB em substituição a um clorofilômetro na avaliação do *status* de N, tendo pastagens de Xaraés como objeto de estudo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em campo experimental da EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais) na cidade de Leopoldina-MG, em área estabelecida com *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés no período de março a novembro de 2016. O solo da área experimental é classificado como Vermelho Amarelo, com textura franco argiloso.

Os dados diários de radiação solar foram obtidos da estação meteorológica do INMET, e os dados de precipitação foram coletados com pluviômetro localizado na sede da fazenda.

Os tratamentos foram alocados em parcelas de 4 m x 4 m, espaçadas 1 m entre si, totalizando 30 parcelas em delineamento inteiramente casualizado. Posteriormente, foram retiradas amostras de solo e realizada a calagem para correção de acidez e correção de fertilidade conforme recomendação da 5ª aproximação (Ribeiro et al., 1999), com exceção do nitrogênio.

Os tratamentos foram organizados da seguinte forma:

- T<sub>0</sub>: parcela testemunha, sem aplicação de adubo nitrogenado;
- T<sub>REF</sub>: parcela de referência, com aplicação de 150 kg ha<sup>-1</sup> de adubo nitrogenado em dose única na forma de uréia;
- T<sub>85</sub>: parcela manejada com adubação a taxa variada, utilizando NSI igual a 0,85;
- T<sub>90</sub>: parcela manejada com adubação a taxa variada, utilizando NSI igual a 0,90;
- T<sub>95</sub>: parcela manejada com adubação a taxa variada, utilizando NSI igual a 0,95.

Inicialmente, foram aplicados 50% da quantidade de N da dose única em cada parcela dos tratamentos a taxa variada (75 kg ha<sup>-1</sup>). A partir da aplicação inicial de N, a incidência de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) foi monitorada com auxílio de um ceptômetro AccuPAR,

modelo LP-80 (Decagon). Ao atingir 75% e 85% de PAR pelos dosséis das parcelas de referência, foi calculado o índice de suficiência de nitrogênio (NSI) para os tratamentos a taxa variada. O cálculo do NSI foi realizado conforme a Equação 1 (Francis e Piekielek, 1999):

$$NSI = \frac{VS_{ptv}}{VS_{pr}} \quad (1)$$

em que: NSI – índice de suficiência de nitrogênio;  $VS_{ptv}$  – variável espectral na parcela com aplicação a taxa variada; e  $VS_{pr}$  – variável espectral na parcela de referência.

Quando esse valor foi inferior ao NSI do tratamento, uma dose de 25% da dose de  $T_{REF}$  (equivalente a  $37,50 \text{ kg ha}^{-1}$ ) foi aplicada. O NSI foi calculado por meio do uso da estimativa do teor de N foliar utilizando um clorofilômetro portátil SPAD-502 (Minolta Corporation, Japan) como variável espectral. Foram realizadas 30 leituras em cada parcela, sendo cada valor medido em diferentes folhas, novas e completamente expandidas, selecionadas aleatoriamente ao longo de cada parcela. A média das leituras representou, portanto, o teor de clorofila das plantas da parcela naquele momento. Em seguida, foram realizadas três imagens da parte central de cada parcela com uso de uma câmera Sony Cyber-shot DSC-W710, acoplada a uma haste a 1,80 m de altura em relação ao solo, com a lente voltada em direção aos dosséis vegetais (Figura 1). A câmera foi ajustada para operar no modo ISO automático e equilíbrio de branco no modo "luz do dia". Todas as medições foram realizadas entre as 11 e 14 horas, a fim de minimizar os efeitos de variação da luminosidade ambiente.

Figura 1 – Imagem dos dosséis vegetais de uma parcela.



Esses procedimentos foram repetidos durante quatro ciclos de manejo da pastagem, desde o corte de uniformização inicial até o ponto de colheita a 95% de PAR. Ao final do experimento as imagens foram processadas com o software Matlab (The MathWorks, EUA) versão R2009b. Para efetuar os cálculos dos índices de vegetação por meio do processamento das imagens, considerou-se a reflectância dos dosséis como a média dos pixels da imagem, e o valor do índice de vegetação como a média dos valores de reflectância das três imagens realizadas em cada parcela. Três índices de vegetação (Tabela 1) foram avaliados quanto ao potencial de substituição do SPAD na estimativa do teor de clorofila foliar por meio de imagens, onde, a partir dos valores de reflectância extraídos das faixas vermelha (R), verde (G) e azul (B), foram calculados os valores médios de pixel normalizados das bandas vermelha (r), verde (g) e azul (b) (Equações 2, 3 e 4).

$$r = \frac{R}{R+G+B} \quad (2)$$

$$g = \frac{G}{R+G+B} \quad (3)$$

$$b = \frac{B}{R+G+B} \quad (4)$$

A fim de determinar as relações entre as medições realizadas com o SPAD e os índices de vegetação testados, foram realizadas análises de correlação de Pearson para cada tratamento nos quatro períodos avaliados. As análises estatísticas foram realizadas com o software Rstudio (R Core Team, 2016).

Tabela 1 – Índices de vegetação avaliados

Nome	Equações	Referência
Excesso de verde	$ExG = 2g - r - b$	Mao et al., 2003
Excesso de verde menos excesso de vermelho	$ExGR = ExG - (1,4r - g)$	Mao et al., 2003
Índice da diferença normalizada	$NDI = \frac{g - r}{g + r}$	Pèrez et al., 2000

Legenda:  $r$ ,  $g$  e  $b$ : valores médios de pixels normalizados das bandas vermelha, verde e azul, respectivamente.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O SPAD-502 ainda que se apresente como uma ferramenta eficiente na estimativa do teor de clorofila foliar, é limitado devido à necessidade de um grande número de medições em grandes áreas para que possua representatividade. O uso de câmeras convencionais pode se apresentar como uma alternativa eficiente quanto ao tempo e representatividade de amostragens, além de ser um equipamento de fácil manuseio e baixo custo de aquisição.

A Tabela 2 apresenta os resultados dos testes de correlação entre a determinação do NSI por meio do SPAD e dos índices de vegetação aplicados às bandas do visível para cada ciclo de manejo, aos 75%, 85% e 95% de interceptação de PAR.

Tabela 2 - Coeficientes de correlação entre os índices de vegetação e as leituras de SPAD

PAR (%)	ExG	ExGR	NDI
1º ciclo de manejo			
75	0,5896**	0,6699**	0,7509**
85	0,6012**	0,6899**	0,7741**
95	0,5864**	0,6551**	0,7275**
2º ciclo de manejo			
75	0,7636**	0,8148**	0,8608**
85	0,7282**	0,8251**	0,9010**
95	0,5848**	0,7268**	0,8323**
3º ciclo de manejo			
75	0,7696**	0,8061**	0,8404**
85	0,8055**	0,8096**	0,8060**
95	0,7986**	0,8151**	0,8361**
4º ciclo de manejo			
75	0,1532	0,2812	0,4938**
85	0,4308**	0,5735**	0,7425**
95	0,6951**	0,7558**	0,8220**

Legenda: \*\* $P < 0,05$ . ExG: Excesso de verde; ExGR: Excesso de verde menos vermelho; NDI: Índice da diferença normalizada.

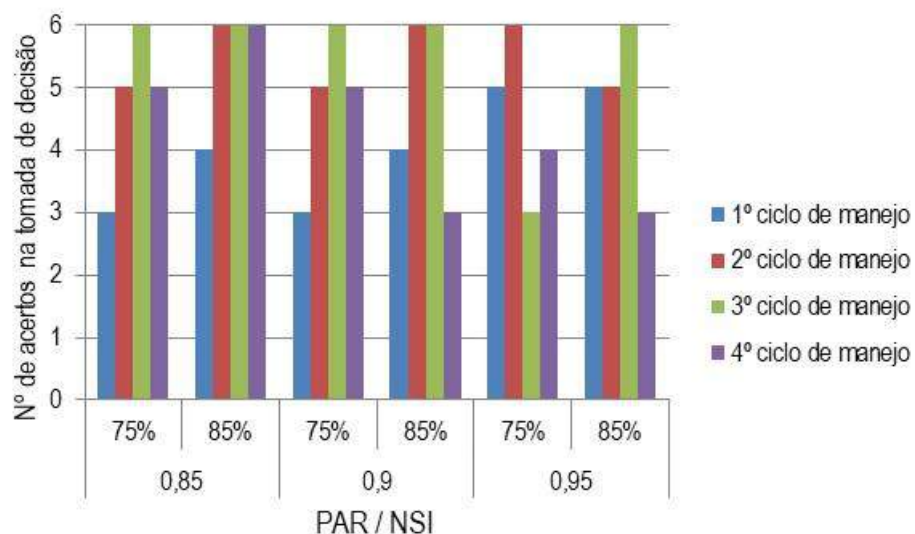
A correlação entre as leituras de SPAD e NDI foi significativa ( $P < 0,05$ ) em todos os períodos de análise, durante os quatro ciclos de manejo, independente das diferentes condições

climáticas observadas e da variação de luminosidade ambiente. Entretanto, os índices ExG e ExGR apresentaram correlações significativas para os primeiros três ciclos de manejo somente. No quarto ciclo de manejo, aos 75% de interceptação de PAR, a correlação apresentada não foi significativa ( $P < 0,05$ ). Durante esse ciclo, as condições climáticas foram mais propícias ao desenvolvimento vegetal. A diferença observada entre o cálculo aritmético do NDI e dos índices ExGR e ExG é a presença da banda azul (b) nestes. Possivelmente, a associação desse fato com as condições climáticas do ciclo podem ter contribuído para a correlação não significativa entre os métodos de análise.

Durante os três primeiros ciclos de manejo, as condições meteorológicas predominantes foram de tempo seco e com menor incidência de radiação solar. A correlação entre os índices de vegetação testados e as leituras de SPAD foi significativa para os três períodos de análise durante os três ciclos, indicando que durante épocas de menor incidência de radiação luminosa, compreendendo os meses de outono e inverno, independentemente do índice de vegetação utilizado, a câmera digital apresenta potencial de ser utilizada em substituição ao SPAD para realizar estimativas do teor de clorofila foliar. Entretanto, o NDI apresentou esse potencial em todos os períodos de desenvolvimento vegetal analisado, independentemente da época em que foram realizadas as imagens.

A Figura 2 apresenta o número de vezes em que a tomada de decisão quanto à realização ou não de adubação nitrogenada em pastagens de Xaraés coincidiu com o SPAD, caso fosse utilizada a câmera digital com aplicação do NDI para cálculo do NSI. Como cada tratamento em que foi aplicado N a taxa variada foi composto por seis repetições, a partir do cálculo do NSI, caso a tomada de decisão com base em ambos os métodos de coleta de dados (SPAD e NDI) fosse a mesma, o número de acertos na tomada de decisão seria de seis.

Figura 2 - Número de coincidências entre SPAD e NDI na tomada de decisão quanto à adubação nitrogenada pela metodologia do NSI



O primeiro ciclo de manejo foi caracterizado por elevada incidência de radiação solar e baixa frequência de precipitações pluviais. Entretanto, esse ciclo foi caracterizado pela implantação do experimento em uma área que não havia recebido manejo com fertilizantes anteriormente à condução do experimento. Esse fato, associado a processos físico-químicos inerentes ao fertilizante utilizado, como volatilização e lixiviação, além do consumo do nutriente pela microbiota do solo, podem ter ocasionado menor assimilação de N pelas raízes, resultando em menor produção de biomassa e, conseqüentemente, menor concentração de clorofila foliar no dossel. Além disso, houve pouco perfilhamento do dossel, deixando faixas de solo exposto, o que pode ter afetado o cálculo do valor de pixels verdes médio.

Observa-se que, no período de desenvolvimento vegetal correspondente a 85% de PAR, no terceiro ciclo de manejo, houve 100% de coincidência nas tomadas de decisões, para qualquer um dos três NSIs testados. Esse ciclo experimental foi caracterizado pelas menores taxas de incidência de radiação solar e ausência de precipitações pluviais nos períodos de amostragem. A associação dos efeitos das condições meteorológicasclimáticas sobre a reflectância das folhas e período mais avançado de desenvolvimento do dossel (85% de PAR), resultando em maior quantidade de biomassa, e conseqüentemente maiores teores de clorofila, podem ter ocasionado uma melhor resposta na estimativa do teor de clorofila foliar por meio do processamento das imagens, coincidindo um maior número de vezes com as respostas de leitura de clorofila foliar realizadas com o SPAD.

O segundo ciclo também foi caracterizado por condições climáticas semelhantes ao terceiro, resultando em respostas semelhantes tanto do SPAD quanto da câmera digital quanto à necessidade ou não de adubação das parcelas, especialmente aos 85% de PAR.

O quarto ciclo de manejo, assim como nos anteriores, apresentou uma boa resposta para o NDI. Entretanto observa-se uma pequena queda no número de acertos aos 85% de IL para os tratamentos com NSI de 0,90 e 0,95. Durante esse ciclo experimental ocorreu maior incidência de precipitações pluviométricas, maiores temperaturas e maior incidência de radiação solar fotossinteticamente ativa, resultando em uma resposta acelerada do desenvolvimento vegetal das plantas.

Para o NSI de 0,85, para os quatro ciclos de manejo, a tomada de decisão entre SPAD e NDI coincidiu em 85,42% das vezes. Para os demais NSI avaliados, 0,90 e 0,95, a tomada de decisão com base em ambos os aparelhos coincidiu em 79,17% e 77,08% das vezes, respectivamente, para todos os ciclos de manejo. Há, portanto, uma tendência de aumento da porcentagem de coincidência na tomada de decisão baseada em ambos os métodos quando o NSI é menor.

Após o primeiro ciclo de manejo, ocorridas algumas precipitações, ainda que em baixa frequência, ocorreu maior perfilhamento da forrageira nas parcelas e houve uma tendência de a tomada de decisão com base em ambos os aparelhos coincidir. Portanto, conclui-se que o uso de câmera digital RGB como método de análise do *status* nutricional de N de pastagens de Xaraés apresentou-se como uma boa alternativa ao uso do SPAD, aplicando a metodologia do NSI, permitindo assim uma tomada de decisão quanto à realização de fertilização de N em menor tempo, sem perdas de eficiência na análise. Entretanto, o uso de métodos de segmentação das imagens a fim de distinguir o dossel vegetal em relação ao solo e restos vegetais pode otimizar ainda mais os resultados, apesar da maior exigência de processamento computacional.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que imagens digitais realizadas com câmeras digitais convencionais possuem potencial como ferramentas de amostragem para analisar as necessidades nutricionais de N pelo método do NSI em pastagens de capim Xaraés.

O índice NDI apresentou correlação significativa com as leituras de SPAD em todas as condições avaliadas, coincidindo a tomada de decisão de ambos os métodos em mais de 85% das vezes para o NSI de 0,85.

## REFERÊNCIAS

Daughtry, C.S. T.; Walthall, C. L.; Kim, M. S.; de Colstoun, E. B.; McMurtrey, J. E. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. *Remote Sensing Environment*, v. 74, p. 229–239, 2000.

Diacono, M.; Rubino, P.; Montemurro, F. Precision nitrogen management of wheat. A review. *Precision Agriculture*, v. 33, p. 219-241, 2013.

Fitzgerald, G.; Rodriguez, D.; O'Leary, G. Measuring and predicting canopy nitrogen nutrition in wheat using a spectral index—The canopy chlorophyll content index (CCCI). *Field Crops Research*, v. 116, p. 318-324, 2010.

Francis, D. D.; Piekielek, W. P. Assessing Crop Nitrogen Needs with Chlorophyll Meters. *SSMG-12*, p. 1-4, 1999.

Li, Y.; Chen, D.; Walker, C. N.; Angus, J. F. Estimating the nitrogen status of crops using a digital camera, *Field Crops Research*, v. 118, p. 221–227, 2010.

Mao, W.; Wang, Y.; Wang, Y. Real time detection of between- row weeds using machine vision. Paper No. 031004, ASAE Annual meeting, St Joseph, MI, USA, 2003.

MATLAB version R2009b. Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc., 2017.

Minolta Camera Co. Ltd., 1989. Chlorophyll meter SPAD-502 Instructional Manual. Minolta, Osaka, Japan. p. 22.

Pérez, A. J.; Lopez, F.; Benlloch, J. V.; Christensen, S. Color and shape analysis techniques for weed detection in cereal fields. *Computer and Electronics in Agriculture*, v. 25, p. 197–212, 2000.

R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Rasmussen, J.; Ntakos, G.;Nielsen, J.; Svensgaard, J.; Poulsen, E. N.; Christensen, S. Are vegetation indices derived from consumer-grade cameras mounted on UAVs sufficiently reliable for assessing experimental plots? *European Journal of Agronomy*, v. 74, p. 75–92, 2016.

Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez V., V. H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Viçosa - MG: 359p. 1999.

Saberioon, M. M.; Amin, M.S. M.; Anuar, A. R.; Gholizadeh, A.; Wayayok, A.; Khairunniza-Bejo, S. Assessment of rice leaf chlorophyll content using visible bands at different growth stages at both the leaf and canopy scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 32, p. 35–45, 2014.

Silva Júnior, M. C.; Pinto, F. A. C.; Fonseca, D. M.; Queiroz, D. M.; Maciel, B. F. Detecção do efeito da adubação nitrogenada em *Brachiaria decumbens* Stapf. utilizando um sistema de sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 37, n. 3, p. 411-419, 2008.

Wang, Y.; Wang, D.; Shi, P.; Omasa, K. Estimating rice chlorophyll content and leaf nitrogen concentration with a digital still color camera under natural light. *Plant Methods*, v. 10, p. 1-36, 2014.

Zarco-Tejada, P. J.; González-Dugo, M. V.; Fereres E. Seasonal stability of chlorophyll fluorescence quantified from airborne hyperspectral imagery as an indicator of net photosynthesis in the context of precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, v. 179, p. 89-103, 2016.

## USO DO SIMULADOR PHOENIX RC PARA NOÇÕES BÁSICAS DE PILOTAGEM PARA ARP QUADRICÓPTERO (MULTIROTOR)

*Phoenix RC simulator usage for piloting basics for uav quadricopter  
(multirotor)*

Lúcio de Paula Amaral<sup>1</sup>, Vilmar Fernando Kunz de Santana<sup>2</sup>, Dionatas Henrique Honnef<sup>2</sup>,  
Guilherme Silveira de Oliveira<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UFSM, DER-CCR; PPGAP, Av. Roraima 1000 – Prédio 44J, Sala 213, 97105-900, Santa Maria –  
RS, Brasil, [amaralufsm@gmail.com](mailto:amaralufsm@gmail.com)

<sup>2</sup> UFSM, Curso de Graduação em Engenharia Florestal, CCR, Av. Roraima 1000 – Prédio 42, Sala,  
97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, [dionatas.honnef@gmail.com](mailto:dionatas.honnef@gmail.com); [guioliveira16@hotmail.com](mailto:guioliveira16@hotmail.com);  
[fernandokunzsantana@gmail.com](mailto:fernandokunzsantana@gmail.com)

### RESUMO

O uso de aeronaves remotamente pilotadas (ARP) é cada vez maior para diversas aplicações e usuários de perfis variados. Em comum tem-se a demanda pela pilotagem dos ARP. Para o início da formação de pilotos de ARP podem ser utilizados simuladores virtuais com radio controle com modo de interação entre usuário e simulador. O objetivo deste trabalho foi apresentar e descrever, na forma de estudo de caso, a opção de simulador Phoenix RC para pilotagem de ARP do tipo asa rotativa (quadricóptero), bem como descrever as características dos ARP disponíveis por este simulador. Foram descritos três modelos de ARP, bem como os cenários, configuração de rádio controle e comandos básico para pilotagem. Ao considerar os pontos positivos do uso de simuladores (baixo preço; segurança de uso para piloto, pessoas e ARP; possibilidades de variar situações diversas; dentre outros) e ponto negativo (ARP com baixa ou nenhuma rotação de motor planar por muito tempo, divergindo do comportamento) o simulador Phoenix RC foi considerado adequado para experiências iniciais em pilotagem de ARP asa rotativa.

**Palavras-chave:** Aeronave remotamente pilotadas. Simulador de voo.

### ABSTRACT

The use of remotely piloted aircraft (RPA) is increasing for diverse applications and users of varied profile. In common there is the demand for the piloting of RPA. For the beginning of the training of pilots of RPA can be used virtual simulators with radio control with mode of interaction between user and simulator. The objective of this work was to present and describe, in the form of a case study, the option of Phoenix RC simulator for pilot piloting RPA (quadricopter), as well as to describe the characteristics of the RPA available by this simulator. Three models of RPA have been described, as well as scenarios, radio control configuration and basic commands for piloting. When considering the positive points of using simulators (low price, safety of use for pilot, people and RPA, possibilities to vary various situations, among others) and negative point (RPA with low or no engine rotation for a long time, diverging of the behavior) the Phoenix RC simulator was considered suitable for early experiments in RPA rotary wing piloting.

**Keywords:** Remotely piloted aircraft. Flight simulator.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente o uso de aeronaves remotamente pilotadas (ARP) (ANAC, 2017a), também designadas por veículos aéreos não tripulados (VANT) ou ainda Drone, tem se popularizado e intensificado, para atender diversos nichos de mercado como por exemplo a agricultura de precisão (AP) e a silvicultura de precisão (SP) dentre outros usos profissionais. Isso faz com que a pilotagem de ARP seja necessária para atender a diferentes níveis de operação, do qual parte da formação de pilotos pode ser realizada com uso de simuladores de voo (CASTRO JORGE e INAMASSU, 2014; FUCCI, 2016). Em 2012 Figueiredo e Saotome (2012) já destacavam o uso de simuladores de VANT por pilotos de quadricópteros.

Para Matsuura (1995) um simulador de voo é composto de um modelo, real ou teórico, um dispositivo através do qual o modelo é implementado e de um regime de aplicação, no qual o modelo e o dispositivo são combinados através de uma técnica de utilização para atingir um objetivo particular. A essência de um simulador de voo é a criação de um modelo dinâmico de comportamento de uma aeronave, de modo a permitir que o usuário humano interaja com o simulador como parte da simulação.

No âmbito da aeronáutica a ANAC (2017b) define simuladores de voo como sendo dispositivos utilizados para o crédito de horas de treinamento em voo para qualificação de tripulantes técnicos. Somente nestes equipamentos é possível treinar determinadas situações de pane em voo com grande realismo sem risco aos profissionais. Estes simuladores são classificados como simuladores de voo profissionais. A forma da simulação envolve uma combinação de ciência, tecnologia e arte para criar uma realidade artificial com o propósito de pesquisa, treinamento ou diversão (MATSUURA, 1995).

No âmbito dos usuários civis ou comuns, os simuladores são classificados como amadores, mas além de serem ferramentas de entretenimento, tem no seu uso grande valor, pois uma vez que simula o comportamento do ARP ou VANT em uma situação próxima a real, permite que o usuário adquira um melhor conhecimento do seu equipamento, com habilidades para exercer a pilotagem no campo com mais segurança, evitando assim erros que na vida real poderiam causar danos para o aparelho e/ou colocar em risco a segurança/integridade física das pessoas (FIGUEIREDO e SAOTOME, 2012; ENCICLOPÉDIA CULTURAMA, 2015; FUCCI, 2016).

Para Fucci (2016) os simuladores de voo podem ser considerados excepcionais ferramentas para iniciar a pilotagem de ARP de forma segura. No ambiente virtual se tem uma surpreendente representação da realidade, sendo possível testar, quebrar e treinar a pilotagem de ARP sem prejuízo (CASTRO JORGE e INAMASSU, 2014).

Segundo Matsuura (1995) uma característica comum aos simuladores é a tentativa de fornecer uma imitação operacional da atividade real, onde se pode ter vários níveis de abstração e de envolvimento humano em uma simulação. O propósito dos simuladores de voo é simular o comportamento de uma aeronave, contendo um baixo nível de abstração e um alto nível de envolvimento humano. Dentre as inúmeras opções de ARP disponíveis no mercado existem os quadricópteros (asa rotativa multirotor) que são boas opções de ARP para usos múltiplos (CASTRO JORGE e INAMASSU, 2014).

ARP pode ser classificado quanto a altitude e alcance de voo, tipo de asa e peso máximo de decolagem (PMD) (CASTRO JORGE e INAMASSU, 2014; ANAC, 2017a). O quadricóptero é uma ARP do tipo asa rotativa multirotor, constituído por quatro hélices independentes, fixadas no final de cada eixo. Para anular o momento gerado pela rotação das hélices, se tem um par de hélices que giram em sentido horário e outro par do qual as hélices giram no sentido anti-horário (GOEL et al., 2009). Este modelo de ARP pode ser considerado também do "tipo de mão" (altitude de voo de até 600 m e alcance de 2 a 4 km) e incluso na classe 3 (PMD entre 250 g a  $\leq$  25 kg) (CASTRO JORGE e INAMASSU, 2014; ANAC, 2017a).

O objetivo deste trabalho foi apresentar e descrever, na forma de estudo de caso, a opção de simulador *Phoenix RC* para pilotagem de ARP do tipo asa rotativa quadricóptero, bem como descrever características dos ARP utilizados por este simulador.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O simulador utilizado neste trabalho foi o *Phoenix R/C 5 Professional Radio Control* versão 5.0.b (Figura 1), instalado em computador com processador *Intel® Core(TM) i7-4790S* 3.20 GHz e sistema operacional *Windows 7 Professional* de 64 Bits, com memória RAM de 8 GB e placa de vídeo *Intel® HD Graphics 4600*, disponível no Núcleo de Geotecnologias do DER-CCR/UFSM. O simulador vem acompanhado com um rádio controle modelo 0904A, de seis canais, com conexão USB para computador, sem necessidade de uso de pilhas ou baterias. Existe uma série de rádios controles cadastros no simulador com possibilidade de



uso, bem como a possibilidade de configurar a conexão de um rádio não definido no mesmo, sendo possível utilizar o rádio controle do próprio ARP que o usuário possua.

Figura 1 – Páginas iniciais do simulador *Phoenix R/C 5 Professional Radio Control* versão 5.0.b.



Legenda: a – página inicial do simulador; b – página para início da simulação de pilotagem com ambiente virtual e modelo de quadricóptero selecionado (Blade 350-QX), com visualização de instrumentos de voo; c – rádio controle 0904A.

Fonte: Autores (2017)

O simulador foi adquirido em julho de 2017 e seu uso ainda está em fase inicial, na qual estão sendo realizadas pesquisas para encontrar materiais sobre o mesmo, tais como tutoriais, apostilas vídeos, dentre outras fontes.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Fucci (2016) relata que existem bons simuladores no mercado, relacionados à prática do aeromodelismo, que trazem vários modelos de aviões, helicópteros e ARP multirotores. O autor destaca três simuladores entre as opções mais utilizadas pelos aeromodelistas, sendo *Aerofly*, *RealFlight* e *Phoenix*, sendo este último o objeto deste trabalho. Já Torres (2017) (Geólogo, fotógrafo e blogueiro) recomenda em seu *blog*, *drone in art*, cinco modelos de simuladores para ARP (drones), sendo *Simpro drone Simulator*, *RealFlight RF-X*, *Aerofly RC7 Drone Simulator*, *Liftoff by Immersion RC*, e *Heli-X UAV Flight Simulator*. Todos esses simuladores entregam um DVD ou CD de instalação e uma interface de conexão para conectar o radiocontrole ao computador (FUCCI, 2016; TORRES, 2017).

O simulador *Phoenix R/C 5 Professional Radio Control* versão 5.0.b. possui quatro opções de modelos de ARP quadricóptero (multirotor) disponíveis, sendo *Blade 350-QX*, *Blade MQX- Cross setup*, *Blade MQX – Plus setup* e *Gauji 330-X*. A Figura 2 ilustra estes modelos de ARP no ambiente do simulador e como eles são no mundo real, e pode se verificar que os modelos de ARP virtuais são muito semelhantes aos reais. No site oficial da *Phoenix* existe ainda a possibilidade de fazer download de mais dois modelos de ARP, sendo o *Phantom V1* da *DJI* e o *Blade Chroma AP* com *Safe* (PHOENIX, 2017).

O modelo *Blade*, e suas derivações, é fabricado pela empresa americana *Horizon Hobby*, uma fabricante de aeromodelos, e é facilmente encontrado para compra, principalmente pela internet, mesmo no mercado brasileiro. É um ARP que já vem montado e pronto para voar após alguns cuidados, tais como carregar a bateria, transporta a câmera *GoPro* (BROWN, 2017).

Vários *blogs* e *sites* especializados em *drones* comparam o *Blade 350-QX* com o *Phantom* da DJI, fabricante coreana, segundo FPVCENTRAL (2013), para o usuário de ARP iniciante o *Blade 350-QX* é mais fácil de configurar e pilotar do que um *Phantom*, como por exemplo o *Phantom 2*. O outro modelo é o *Gauí 330-X*, é um quadricóptero fabricado pela *TSH Gauí Hobby Corporation*, que disponibiliza um kit de componentes para o usuário montar o ARP, que também tem o viés do aeromodelismo (GUNN, 2010). A Tabela 1 apresenta algumas características destes ARP.

Tabela-1 Características dos ARP do simulador *Phoenix R/C 5 Profissional*

Característica	Blade 350-QX	Gauí 330-X	Blade MQX
Peso	680 g	1100 g	78 g
Tipo de rotor	Quadricoptero	Quadricoptero	Quadricoptero
Estabilização	SAFE	-	gyro eletrônico micro 3 eixos AS3X
Motor	Brushless 1100Kv	Scorpion SII 2208-1050KV	Coreless Escovado (x4)
Alimentação	3S 2200mAh 30C LiPo	2S-3S 2200mAh	Até1S LiPo 1000 mAh
Número de canais	-	Quatro	Quatro
Tamanho de hélice	21,0 cm	20,0 cm	13,6 cm
Dimensões	46,5 x 46,5 x 13,8 cm	-	24,5 x 24,5 x 5,9 cm
Peso (kg)	0,680	0,550	0,600
Preço	\$ 499,00	\$ 399,00	\$ 100,00

Fontes: Horizon Hobby (2017); E-fliterc (2017); Blade Helis (2017); Horiginal Modelismo (2017); Dronbarato (2017); Rc Groups (2017)

Comparando o comportamento no simulador dos modelos *Blade 350-QX* e *Gauí 330-X* foi observado que o primeiro é mais dócil e fácil de controlar em relação ao segundo.

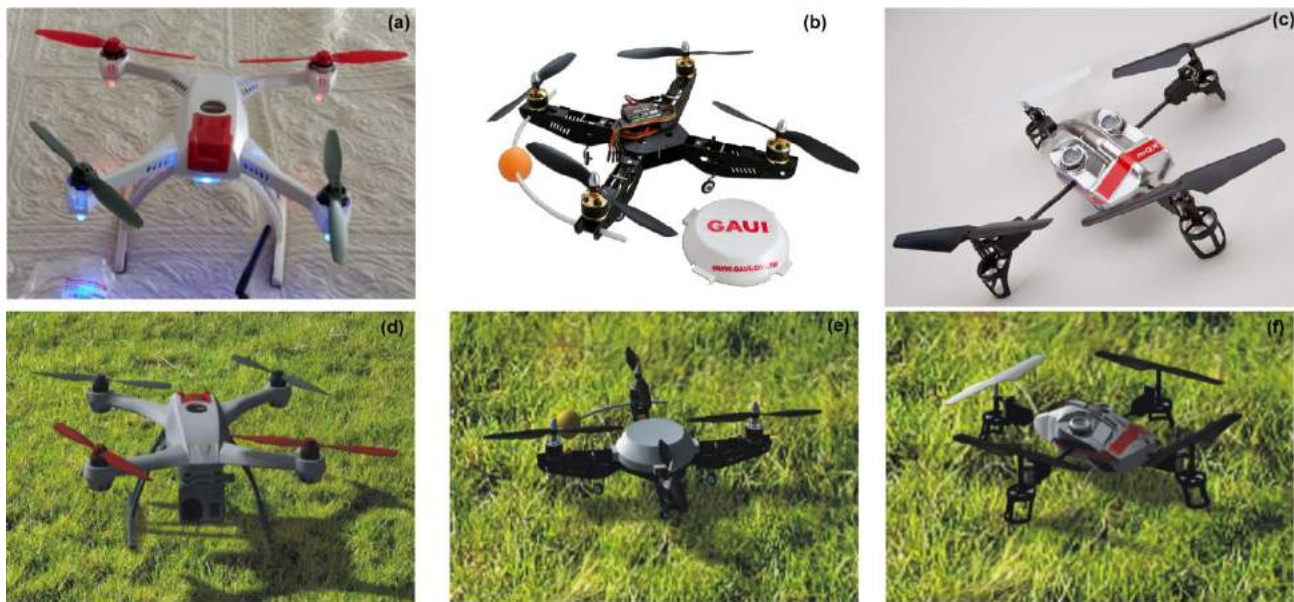
Existem várias opções de campo de voo no simulador *Phoenix R/C 5 Profissional*, que englobam de cenários urbanos (ex.: *Stockholm Bridge*), ambientes internos (ex.: *Sports Hall*), a áreas de campos de voo abertas com vegetação gramínea (ex.: *Countryside Hill*, *Farmland*, *Flying Field*, dentre outros), com gelo (ex.: *Arctic Tundra*, *Freedom Park (Winter)*) ou solo exposto (ex.: *Desert Mesa*), tendo também a opção de cenário para voo noturno (*Night Flight*) dentre outros inúmeros cenários, que podem ser em 2D ou em 3D. A Figura 3 ilustra alguns destes cenários ou ambientes em 2D e 3D.

Para conseguir usufruir do simulador *Phoenix R/C 5 Profissional Radio Control* se faz necessário conectar o rádio controle com a interface *USB* ao computador, uma vez que para o computador reconhecer o dispositivo, o mesmo deverá ser configurado para definir quais comandos ocuparão os canais disponíveis. Existe uma tela para adicionar um novo Emissor (Rádio), que contém os seguintes passos: preparação do emissor, calibragem do emissor, e definição de controles pessoais. Essa configuração permitirá ao simulador conhecer o curso total de todos os *sticks* do rádio, bem como quaisquer botões e deslizantes que possam existir. Uma

vez reconhecido esses movimentos o usuário pode configurar as funções de cada botão para uma função no modelo virtual certificando-se de alguns cuidados:

- Quando pedido que centre todos os *sticks*, que o *stick* do acelerador esteja ao centro do curso, não na posição de *ralenti*;
- Que não tenha nenhuma função tal com botões de rádios, *throttle-hold* ou *idle-up* ativados em momento algum.

Figura 2 – Modelos de ARP presentes no simulador *Phoenix R/C 5 Professional Radio Control* versão 5.0.b.



Legenda: a – Blade 350-QX real; b – Gaiu 330-X real; c – Blade MQX-Plus setup real; d – Blade 350-QX virtual; e - Gaiu 330-X virtual; f – Blade MQX-Plus setup virtual.

Fonte: adaptado de Mercado Livre (2017)/ autores.

Finalizada a calibragem cada *stick* deve mover uma barra no indicador visível no *display* (o *stick* do acelerador pode movimentar duas barras caso o rádio esteja configurado no modo *HELI*), sem problemas, de um extremo ao outro. O simulador *Phoenix* já vem configurado com várias opções de perfis pré-definidos. Deve-se escolher o que mais se enquadra ao modelo de seu rádio. Caso o rádio de controle a ser utilizado não estiver dentre as opções de perfis pré-definidas, deve ser selecionada a opção "*other*". Tem-se então uma tela onde há vários perfis de controles organizados por fabricante de rádios. Caso o rádio de controle desejado não esteja listado poderá ser criado um modelo específico, em menu, sistema/configurar novo emissor. Selecionando o novo emissor, é possível editá-lo, fazer várias modificações e alterar os parâmetros conforme a necessidade.

Os rádios controles previamente reconhecíveis do simulador *Phoenix R/C 5 Professional* são dos tipos descritos abaixo, mas podem também ser configurados caso não esteja nesta lista, sendo:

- JR MC/MX (adaptador não necessário), série MC necessita acessório *interface DSC*;
- *Spektrum DX6 / DX6i / DX7 / DX8 / DSX9 / DSX10* (adaptador não necessário), NÃO VÁLIDO para o novo *DX7 Special Edition* versão SE;
- *Spektrum DX5e* modelo antigo com porta de treino LATERAL (necessário adaptador DX5e);

- *Spektrum* DX5e novo modelo com porta de treino TRASEIRA (adaptador não necessário);
- *Futaba* (adaptador redondo *Futaba/Hitec* ou "quadrado *Futaba*" necessário);
- *Futaba* FX-18 com porta de treino 2.5mm estéreo (*Futaba* FX-18 adaptador necessário);
- *Hitec* exceto o *Aurora* (adaptador *Futaba/Hitec* necessário, *Aurora* não necessita adaptador);
- *Blade* CX, CX-2, CX-3, CP, CP+, CP Pro, CP Pro 2 e *Blade* SR (adaptador não necessário);
- Transmissores *Parkzone* com jack de treino (adaptador DX5e necessário);
- *Sanwa* série RD e RDS (adaptador *Sanwa* necessário);
- *Multiplex* (adaptador *Multiplex* necessário);
- *Hitec* *Aurora* (adaptador não necessário);
- *E-sky* ETB41 2.4 ghz (adaptador);
- Alguns *E-sky* (adaptador *Mini-DIN* necessário);
- *Co-Pilot* (adaptador *Mini-DIN* necessário);
- *Art-tech* 100B (adaptador não necessário);
- *Art-tech* 100C (adaptador *Art-tech 100C* necessário);
- *Walkera* 2401, 2601 (usando adaptador *MINI-DIN* fornecido com transmissor);
- *Walkera* 2402, 2602 (adaptador *Walkera* 2801 necessário);
- *Walkera* 2801 (adaptador *Walkera* 2801 necessário).

No aeromodelismo o padrão de controles mais utilizado no Brasil é o dito Modo 2 (lado esquerdo), o que indica que o *stick* esquerdo, o movimento para cima e para baixo controla a velocidade do(s) motor(es). É com os comandos que se interage com o ARP (decolagem; missão; pouso), cada comando possível é chamado de canal (não são os canais de frequência de rádio). Na prática os canais disponíveis definem o número de comandos que são possíveis de se realizar (ALMEIDA, 2010). Os comandos são basicamente da seguinte forma (Figura 3):

- *Stick* esquerdo: movimento vertical - aceleração (*speed*, canal 3 do receptor), movimento horizontal - leme (servo, canal 4 do receptor);
- *Stick* direito: movimento vertical - profundor (servo, canal 2 do receptor); movimento horizontal: ailerons (servo, canal 1 do receptor).

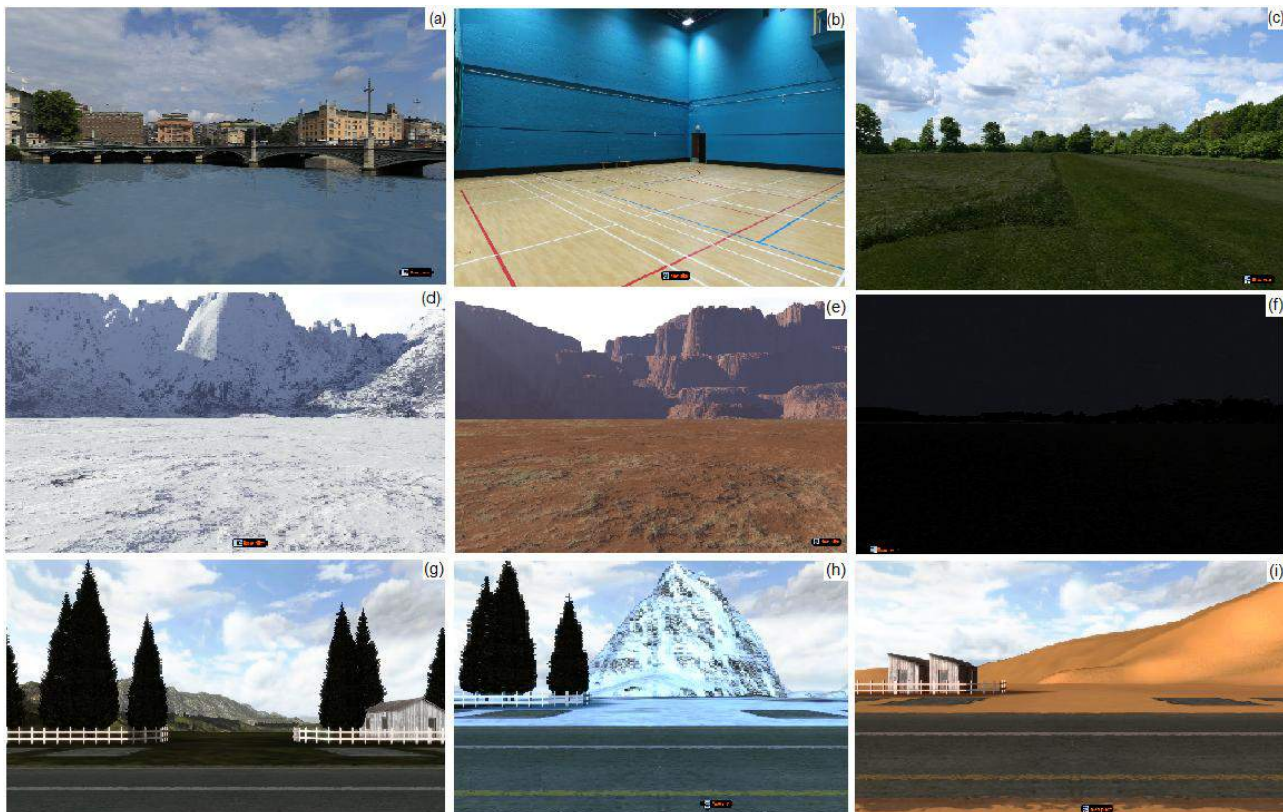
Figura 3 – Comando para rádio controle em aeromodelismo adotado no Brasil - Modo 2 (lado esquerdo).



Legenda: 1 = comando de ailerons/canal 1; 2 = comando de profundor/canal 2; 3 = comando de aceleração/canal 3; 4 = comando de leme/canal 4.  
Fonte: Almeida (2010)

Há várias formas de obter ajuda no simulador *Phoenix R/C 5 Professional Radio Control* versão 5.0.b, uma delas é acessando o manual do simulador *Phoenix*. Tem-se acesso ao mesmo abrindo o menu ajuda, o usuário pode acessar o manual no idioma atualmente selecionado, clicando na opção manual do utilizador, é possível acessar essa ferramenta a partir dos menus, ecrãs onde se redireciona para o manual, como mostra na Figura 5(a), outra forma para ter acesso a esse material é a partir de um botão "Ajuda", na forma de uma lupa que se encontra no canto superior direito da caixa de entrada do simulador, Figura 5(b). No site da *Phoenix* também é possível fazer o *download* do manual da versão 5 do simulador (PHOENIX, 2017).

Figura 4 – Ambientes bidimensionais e tridimensionais presentes no simulador *Phoenix R/C 5 Professional Radio Control* versão 5.0.b.



Legenda: a – *Stockholm Bridge*; b - *Sports Hall (voo indoor)*; c - *Farmland*; d - *Arctic*; e - *Desert Mesa*; f - *Night Flight*; g – ambiente paisagem verde em 3D; h - ambiente paisagem com gelo em 3D; i - ambiente paisagem de deserto em 3D.

Fonte: Autores (2017)

Como auxílio externo, foram encontrados alguns vídeos interessantes no *youtube* sobre a configuração, uso e outras informações sobre este simulador (Tabela 2), em vários idiomas. Chama a atenção o fato dos vídeos em Português serem do ano de 2017, indicando que este simulador chegou mais recentemente no Brasil em relação a outros países.

Tabela 2– Alguns vídeos interessantes sobre o simulador *Phoenix R/C 5 Professional Radio Control* em diferentes versões disponíveis no youtube em agosto de 2017.

Descrição	Endereço WEB	Idioma	Data de Publicação
Configuração e uso	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=PINqQ97V768">https://www.youtube.com/watch?v=PINqQ97V768</a>	Espanhol	14/08/2015
Voo	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=3dfLS5RFfuA">https://www.youtube.com/watch?v=3dfLS5RFfuA</a>	Inglês	28/06/2017
Demonstrações de voo	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=oComsnIriiY">https://www.youtube.com/watch?v=oComsnIriiY</a>	Inglês	25/07/2014
Configuração e uso	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=mgP_wWqE6l0">https://www.youtube.com/watch?v=mgP_wWqE6l0</a>	Inglês	13/10/2013
Configuração e uso	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=Q0ixeTEe0vA">https://www.youtube.com/watch?v=Q0ixeTEe0vA</a>	Inglês	02/03/2014
Instalação, Configuração, Download	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=BYZgqSLdqw">https://www.youtube.com/watch?v=BYZgqSLdqw</a>	Português	06/05/2017
DJI Phantom	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=Pt6h3DJBZwQ">https://www.youtube.com/watch?v=Pt6h3DJBZwQ</a>	Inglês	30/04/2014
Visão Geral	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=l5i9Z-yKP9Q">https://www.youtube.com/watch?v=l5i9Z-yKP9Q</a>	Português	13/01/2017
Configuração do rádio controle	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=Jmu-EGHpWr4">https://www.youtube.com/watch?v=Jmu-EGHpWr4</a>	Português	18/03/2017

Fonte: youtube (2017)

Existem também na internet diversos *blogs* e *sites* especializados com sugestões e dicas interessantes sobre o assunto. Torres (2017) relata que um simulador de voo para *drone* é uma excelente escolha antes de se investir em um “*drone* profissional” e caro, pelas seguintes razões:

- Possibilidade de aprender a pilotar com segurança e com baixo custo;
  - Prevenção de acidentes e danos no ARP e a terceiros;
  - Não há preocupação com a vida útil da bateria;
  - Acúmulo de horas de voo;
  - Configurar diferentes condições meteorológicas e de terreno;
- Simular a pilotagem de diferentes modelos de ARP.

Ainda segundo Torres (2017) há uma série de benefícios que o simulador propicia ao usuário sem correr o risco de perder o ARP. No entanto, é ressaltado que por mais que os simuladores se aproximam muito da realidade, nada substitui a pilotagem real (TORRES, 2017).

Figura 5 – Formas de acesso ao manual e a ajuda presentes no simulador *Phoenix R/C 5 Professional Radio Control* versão 5.0.b.



Legenda: (a) acesso para o manual via menu *help* (ajuda); (b) acesso para o manual via ícone de ajuda.

No entanto, um ponto negativo observado no uso deste simulador é o fato do ARP planar por muito tempo com os motores em baixa rotação ou até mesmo desligados, sendo isto uma incoerência que destoa da realidade, pois nestas situações o ARP provavelmente sofreria queda.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O simulador *Phoenix R/C 5 Professional Radio Control* apresenta-se como uma ferramenta útil e versátil para usuários de ARP em início de formação, quanto aos aspectos da pilotagem de ARP do tipo asa rotativa, mais especificamente quadricópteros. Todos os pontos positivos do uso de simulador se fizeram presentes no uso prático deste simulador, porém o ponto negativo também, que acreditamos que assim ocorra com outros modelos de simuladores.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Regulamento brasileiro de aviação civil especial n. 94, de 03 de maio de 2017.** Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil. 2017a. ANAC. Disponível em: <[http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94-emd-00/@@display-file/arquivo\\_norma/RBACE94EMD00.pdf](http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94-emd-00/@@display-file/arquivo_norma/RBACE94EMD00.pdf)>. Acesso 26 ago 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Simuladores de voo (FSTD).** 2017b. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/empresas/simuladores-de-voo-fstd/simuladores-de-voo-fstd>>. Acesso 30 ago 2017.

ALMEIDA, M. **Controle para aeromodelos (radio, transmissores).** 2010. Disponível em: <<http://www.aeromodelismoonline.com.br/controle-para-aeromodelos-radios-transmissores/>>. Acesso: 09 set 2017.

BROWN, J. **Blade 350 QX quadcopter: an advanced drone for multiple applications.** Dronelab. Disponível em: <<http://mydronelab.com/reviews/blade-350-qx-quadcopter.html>>. Acesso 28 ago 2017.

CASTRO JORGE, L. A.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. **Agricultura de Precisão: resultado de um novo olhar.** Brasília: EMBRAPA, 2014. 596 p. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/114264/1/CAP-8.pdf>>. Acesso 26 de ago 2017.

ENCICLOPÉDIA CULTURAMA. Definição de Simulação. Conceito e Significado de Simulação. 2015. Disponível em: <<https://educavita.blogspot.com.br/2015/07/definicao-de-simulacao-conceito-e.html>>. Acesso 30 ago 2017.

FIGUEIREDO, H. V.; SAOTOME, O. Modelagem e simulação de veículo aéreo não tripulado (VANT) do tipo quadricóptero usando o simulador X-Plane e Simulink. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, Campina Grande, p.2095-2101, 2012. **Anais do .....**, CBA, 2012. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/anais/cba/2012/Artigos/99717.pdf>>. Acesso 26 ago 2017.

FPVCENTRAL. **Blade 350QX review.** 2013. Disponível em: <<http://fpvcentral.net/2014/04/blade-350qx-review/>>. Acesso 01 set 2017.

FUCCI, L. C. **Piloto de drone, uma profissão de futuro.** A tecnologia dos drones. Edição Independente. 2016. 135 p.

GOEL, R., SHAH, S. M.; GUPTA, N. K.; ANANTHKRISHNAM, N. **Modeling, simulation and flight testing of an autonomous quadrotor.** Bangalore: Proceedings of ICEA, 2009.

GUNN, M. Gaii 330XS Quadcopter review, 2010. Disponível em: <<https://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?1273435-Gaii-330X-S-Quadcopter-Review>>. Acesso 28 ago 2017.

MATSUURA, J. P. **Aplicação dos simuladores de voo no desenvolvimento e avaliação de aeronaves e periféricos.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação). ITA/IEEE, São José dos Campos, 1995, 25 p. Disponível em: <<http://www.ele.ita.br/~jackson/files/tg.pdf>>. Acesso 30 ago 2017.

PHOENIX R/C 5 PROFESSIONAL RADIO CONTROL FLIGHT SIMUATION. **Downloads.** 2017. Disponível em: <<http://www.phoenix-sim.com/downloads.asp>>. Acesso 01 set 2017.

TORRES, G. S. **5 simuladores de drones que farão de você um excelente piloto.** 2017. Disponível em: <<http://www.droneinart.com/5-simuladores-de-drones-que-farao-de-voce-um-excelente-piloto/>>. Acesso 30 ago 2017.



## UTILIZAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE PARA DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO

### *Use of satellite images for definition of management zones*

Alencar Zachi da Fonseca <sup>1</sup>, Antônio Luis Santi <sup>2</sup>, Leonardo Burin Cocco <sup>3</sup>, Renata Candaten <sup>4</sup>, Ezequiel Zibetti Fornari <sup>5</sup>, Diandra Pinto Della Flora <sup>6</sup>, Pedro Arnaldo Duarte Barcellos <sup>7</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Rua do Comércio nº1131 ap. 102, CEP 98410-000, Taquaruçu do Sul – Rio Grande do Sul, Brasil, [alencarzf@hotmail.com](mailto:alencarzf@hotmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Linha 7 de Setembro, s/n, CEP 98400-000, Frederico Westphalen - RS – Rio Grande do Sul, Brasil, [santi\\_pratica@yahoo.com.br](mailto:santi_pratica@yahoo.com.br)

<sup>3,5,6</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Rua Luiz Brugini nº1007, CEP 98130-000, Júlio de Castilhos – Rio Grande do Sul, Brasil, [leonardoburincocco@yahoo.com.br](mailto:leonardoburincocco@yahoo.com.br), [ezequiel.fornari@yahoo.com.br](mailto:ezequiel.fornari@yahoo.com.br), [diandradellaflora@gmail.com](mailto:diandradellaflora@gmail.com)

<sup>4</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Linha 21 de Abril, s/n, CEP 98400-000, Frederico Westphalen – Rio Grande do Sul, Brasil, [renatacandatten@outlook.com](mailto:renatacandatten@outlook.com)

<sup>7</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Rua Frederico Westphalen nº11, CEP 98300-000, Palmeira das Missões – Rio Grande do Sul, Brasil, [ped\\_roadb@hotmail.com](mailto:ped_roadb@hotmail.com)

## RESUMO

A agricultura de precisão (AP) é uma ferramenta que permite de forma racional manejar a variabilidade espacial e temporal do solo com objetivo de melhorar eficientemente o uso das áreas agrícolas, através da necessária evolução da AP em buscar alternativas e ferramentas para que possamos definir zonas de manejo. Entre eles, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é um dos mais utilizados. Este trabalho teve como objetivo avaliar a definição de zonas de manejo na região central do Rio Grande do Sul com a utilização de ferramentas de AP. No trabalho conduzido, utilizou-se a cultura do milho ano agrícola 2014/15, em área de 15,1 hectares no município de Júlio de Castilhos, RS, sob irrigação por pivô central. A variabilidade espacial de atributos de solo e de plantas caracterizou-se com base na coleta de informações em malha amostral de 0,5 ha, totalizando 32 pontos na área experimental. As imagens de satélite *Landsat* (NDVI) com resolução espacial de 30x30 m após processadas possibilitaram a confecção de mapa de produtividade e a definição de zonas de manejo da área, onde as imagens de satélites definiram diferentes zonas de manejo.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão. Variabilidade. NDVI.

## ABSTRACT

Precision agriculture (AP) is a tool that allows a rational way to manage the spatial and temporal variability of the soil with the objective of efficiently improving the use of the agricultural areas, through the necessary evolution of the PA in search of alternatives and tools so that we can define zones of management. Among them, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is one of the most used. This work aimed to evaluate the definition of management zones in the central region of Rio Grande do Sul using AP tools. In the work carried out, the maize crop was used for the 2014/15 crop year, in an area of 15.1 hectares in the municipality of Júlio de Castilhos, RS, under central pivot irrigation. The spatial variability of soil and plant attributes was characterized based on the collection of information in a sample of 0.5 ha, totaling 32 points in the experimental area. The Landsat satellite images (NDVI) with spatial resolution of 30x30 m after processed, enabled the creation of a map of productivity and the definition of areas of management of the area, where the satellite images defined different management zones.

**Keywords:** Precision agriculture. Variability. NDVI.

## 1 INTRODUÇÃO

Através do desenvolvimento e da disponibilidade de algumas tecnologias, entre as quais, o sistema de posicionamento global (GPS), os sensores de produtividade, técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de aplicações de insumos a taxas variáveis, a agricultura de precisão (AP) veio a contribuir com o aumento da produtividade e na melhoria da qualidade das

lavouras. As tecnologias embarcadas em máquinas e equipamentos permitiram a geração de mapas de produtividade, aplicações de fertilizantes, corretivos à taxa variável e um conhecimento mais detalhado e preciso da lavoura (AMADO; SANTI, 2007). A evolução da AP em buscar ferramentas e alternativas para a definição de zonas de manejo, com o uso de imagens de satélites, melhorando a eficiência do manejo das culturas com o uso de técnicas de agricultura de precisão, permitiu assim interpretar situações semelhantes de forma diferenciada.

Na última década, estudos envolvendo atributos morfológicos das culturas, com métodos baseados em propriedades ópticas das plantas (OLLINGER, 2011; SIMÕES et al., 2015) vem ganhando destaque. Diversos índices gerados pela combinação de valores de refletância entre bandas espectrais específicas estão sendo utilizados como indicadores da quantidade de vegetação e outros atributos, dentre eles mais usualmente o (NDVI) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (OLLINGER, 2011; SIMÕES et al., 2015). Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo identificar as zonas de manejo de alta, média e baixa produtividade utilizando ferramentas de agricultura de precisão com imagens de satélites.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado de-se no ano agrícola de 2014/2015, na região central do Rio Grande do Sul, no município de Júlio de Castilhos, em uma propriedade localizada na latitude 29°03'56,9" S e longitude 53°32'36,2" O e altitude média de 408 metros. O relevo da área é suavemente ondulado e o clima da região é do tipo Cfa, segundo a Classificação de Koeppen (MORENO, 1961). A temperatura média anual é de 18°C e a precipitação normal é de 1700 mm, apresentando períodos de deficiência hídrica durante o verão. O solo do local é classificado como um Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico úmbrico (EMBRAPA, 2013). A semeadura do milho foi realizada em sistema de plantio direto. Realizou-se o manejo fitossanitário necessário para o controle das ervas daninhas, pragas e doenças. A área experimental possui um sistema de irrigação por pivô central (15,1 ha).

Figura 1- Contorno e grade amostral dos pontos de realização das coletas de solo, massa seca da resteva e produtividade do milho da área experimental. Júlio de Castilhos. RS.



Fonte: Autor

A área experimental é explorada há mais de 30 anos com a agricultura, onde em 1997 adotou-se o sistema plantio direto e em 2009 uma parte da área experimental (Figura 1) mais precisamente entre os pontos (1, 2, 3, 4 e 6) foi realizada a abertura do campo nativo para a implantação do sistema plantio direto em virtude do fechamento do raio de giro do pivô de irrigação. Para a demarcação da área experimental, utilizou-se um GPS Garmin percorrendo o perímetro, e após aferido à área o grid amostral (0,5 ha) através do software CR Campeiro.

A área experimental constituiu-se de 32 pontos de coleta de informações georreferenciadas com o software CR Campeiro (em forma de grade) e a localização dos pontos com a ajuda de um GPS Garmim. A avaliação da produção de massa seca de aveia+nabo forrageiro, no inverno, antecedendo a cultura do milho, foi constituída de amostra 0,25 x 0,25 m (0,0625 m<sup>2</sup>) em 3 sub-amostras entorno de 5 metros do ponto georreferenciado. As amostras foram secas em estufa de 65°C até peso constante e após pesadas em balança de precisão, expressando-se os resultados em kg.ha<sup>-1</sup>.

A amostragem de solo foi realizada após o manejo (rolagem) da aveia+nabo forrageiro, na mesma malha amostral de 0,5 ha, com pá-de-corte em uma profundidade de 0-15 cm, totalizando 5 sub-amostras num raio de 5 m ao redor do ponto central. As amostras foram analisadas no Laboratório de Análise de Solos da CCGL (Cooperativa Central Gaúcha LTDA), em Cruz Alta, RS. Os atributos analisados foram: teor de argila, pH em água, fósforo (P) e potássio (K), cálcio (Ca<sup>2+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>), alumínio (Al<sup>3+</sup>), enxofre, manganês, cobre, zinco e boro, conforme procedimentos descritos por Tedesco et al. (1995). A avaliação da produtividade de grãos de milho foi realizada na mesma malha amostral (0,5 ha), de forma manual, colhendo-se as espigas de 2 linhas de milho, espaçadas de 0,45 m e 3 m de comprimento (2,7 m<sup>2</sup>), com 3 sub-amostras num raio de 3m ao redor do ponto georreferenciado. As espigas foram secas em estufa de 65°C até peso constante, debulhadas e pesadas, expressando-se os resultados em sc.ha<sup>-1</sup> a 13% de umidade.

As imagens de satélite foram obtidas e processadas através de metodologia desenvolvida pela Empresa GeoAgro (Argentina) que através de parceria com a Empresa Plantec Engenharia Agrônômica Ltda de Vacaria, RS, disponibilizou mapas por ambiente da área experimental. O ponto de partida da metodologia GeoAgro, denominada Solução AP, é a confecção do mapa de produtividade, que com base em imagens de satélite e índices verde históricos, produz uma hipótese de zonas de manejo da área.

Após o processamento das imagens originou-se um mapa de produtividade, que tem objetivo de determinar a variabilidade do local por análise de cluster de índice de vegetação mais difundida (NDVI). As imagens de satélites Landsat são georreferenciadas e possuem resolução espacial de 30 x 30 metros, sendo elas utilizadas para trabalhar com os recursos naturais (reconhecimento de cultura, riscos de água, relevo, e etc). Para obtenção das imagens com as respectivas informações desejadas foi necessário enviar informações da área desejada (contorno ou pontos georreferenciados) e o intervalo de cultivo de cada cultura desejada (Tabela 2).

Para o experimento, foram coletadas informações de 21 imagens de satélites, as quais representam as diferentes fases do desenvolvimento da cultura utilizada na última safra, sendo usadas somente 2 imagens para formar a zona de manejo, as quais representaram, segundo critérios adotados pela Empresa GeoAgro, a maior expressão da variabilidade, que foram as imagens dos dias 19/01/2014 e 05/12/2014, respectivamente, nas culturas de soja 2013/2014 e milho 2014/2015.

Quadro 1 – Informações sobre plantio e colheita e cultivares utilizadas.

Cultura	Cultivar	Data Semeadura	Data Colheita
Milho	Pioneer P1630 Hx	19/08/14	22/01/15

Fonte: Autor

Segundo a metodologia adotada por Wikiagro (2016), a refletância da vegetação por diferença normalizada index (NDVI) é uma boa medida da atividade fisiológica das plantas, e também em estudos empíricos tem entre 85 e 90% de correlação com o rendimento das culturas. Ela é definida como:

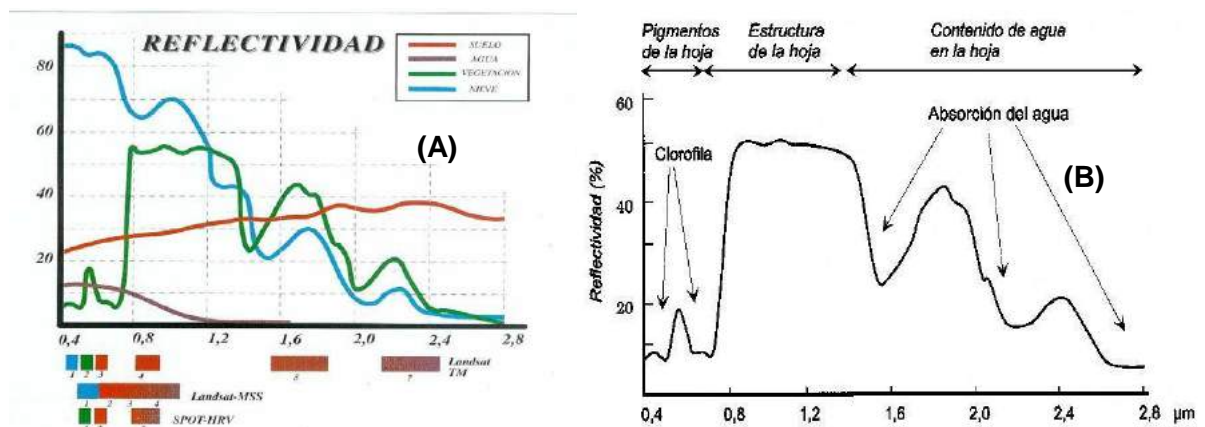
$$NDVI = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 + \rho_2}$$

onde  $\rho_1$  (Banda infra vermelho) e  $\rho_2$  (Banda Vermelho) são as refletâncias obtidos a partir do

canal de radiâncias medida próximo infravermelho e vermelho, no caso particular da série landsat são as bandas 4 e 3.

As imagens de satélites Landsat possuem 11 bandas espectrais (que variam conforme o comprimento da onda emitida pela lente do satélite e o comprimento de onda refletido pela cultura), onde a cada 16 dias é possível a aquisição de novas imagens (tempo demorado para o satélite dar a volta a terra e voltar ao mesmo ponto). Uma dessas ondas emitidas é o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), obtido através do processamento de imagens de satélite que caracteriza a situação fotossintética das culturas marcando as diferenças entre a vegetação. Estas faixas são escolhidas principalmente pela resposta espectral da vegetação, a vegetação tem muito alta reflectividade na banda do infravermelho próximo e faixa vermelha como uma referência para manter um valor quase constante.

Figura 2 - Comportamento espectral dos elementos (A) e análise da resposta espectral da vegetação saudável (B).



Fonte: Wikiagro, 2016.

Seus valores variam de -1 a 1 de modo que, quanto mais próximo de 1 maior o vigor de desenvolvimento da cultura (ROUSE et al., 1973; GROHS et al., 2011). Isso facilita a sua classificação como menores valores de 0,2 a atividade foliar é baixa e mais elevada valoriza 0,4 vegetação está em um estado de grande força, outro exemplo de como se interpreta os dados e observando o valor resultante da relação: resultado for negativo (-) não caracterizado como cultura e sim como pedra, cascalho ou concreto; resultado for positivo (0 a +1) indica como uma cultura ou vegetação (exemplo: refletância na cultura da soja de 0,3 a 0,4 baixo; 0,5 a 0,7 médio; e 0,8 a 0,9 alto). Com isso denomina-se que o mapa de produtividade como este índice e está diretamente relacionado à quantidade, qualidade e desenvolvimento de vegetação e correlaciona-se muito bem com o desempenho da cultura em um determinado momento (as datas correspondentes a imagens em estudo). Pode-se dividir o lote em classes de muito baixa a muito alta produtividade, a criação de polígonos de variabilidade irá auxiliar posteriormente de assessor agrônomo para tomar as melhores decisões para a gestão.

O dados obtidos a campo foram vetorizados e indexados através do programa CR Campeiro (GIOTTO et al., 2004) na geração dos mapas da produção de massa seca da aveia+nabo forrageiro, atributos químicos do solo, produtividade de grãos de milho e altitude da área. Já as imagens de satélite e zonas de manejo foram realizados por programas da Empresa GeoAgro (Software GIS). Além da geração dos mapas o software CR Campeiro foi utilizado para a realização da análise estatística descritiva correspondente aos valores mínimos (Mn), máximos (Mx) e médios (Mm), desvio padrão(s), coeficiente de correlação (CV, %) e Erro (%) referentes aos atributos químicos do solo da área experimental e a análise estatística descritiva correspondente aos parâmetros geoestatísticos dos atributos químicos do solo (valores de efeito pepita - Pp, patamar - Pt, alcance - Ac - referentes a diferentes modelos de semivariograma e dependência espacial: Grau de Dependência Espacial - GD - e Classe - C e coeficiente de correlação -  $r^2$ ). O teste de correlação de Pearson 1 - 5% de probabilidade erro utilizando o programa estatístico

Statistical Analysis System (SAS). Sendo outros programas utilizados para melhor visualização das informações como o programa GPS TrackMaker e o Google Earth.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Quadro 1 – Correlação de NDVI para milho. Julio de Castilhos – RS.

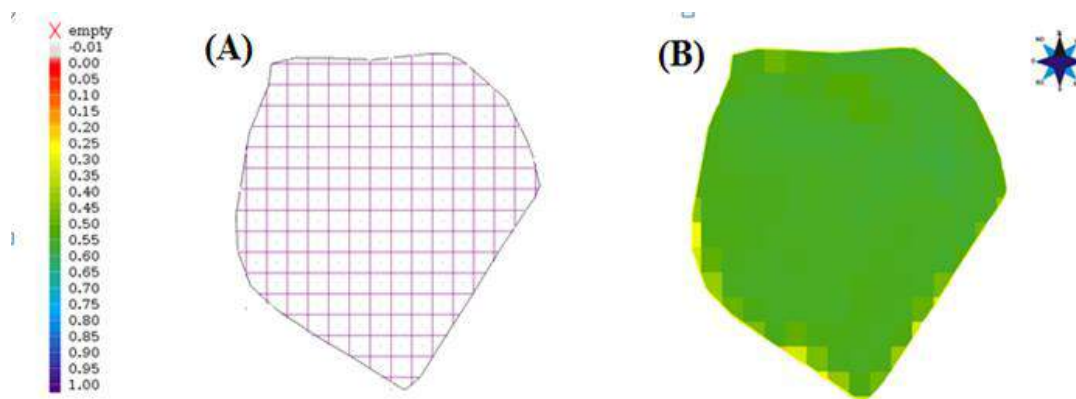
NDVI	PRODUTIVIDADE MILHO
MILHO	0,52

Fonte: Autor

A análise de correlação foi significativa ao nível de 1 a 5% de probabilidade de erro estimada (quadro 1) para a produtividade do milho positiva para NDVI milho (0,52). O NDVI apresenta ótima correlação linear com a biomassa da vegetação em casos que o terreno apresente boa cobertura vegetal (MENESES ; ALMEIDA, 2012; DEGHAID et al., 2013), assim como as plantas de cobertura do solo, como pode ser observado na figura 4.

Os mapas de produtividade foram gerados com base na análise de agrupamento, na combinação de índices verdes (Figura 3). Este é um procedimento relativamente simples, respostas automáticas e objetivas para comparar momentos diferentes de vegetação em um mapa temático. De acordo com imagens de satélite as datas são peças chave, onde as culturas são selecionadas a devida refletância do vigor, a partir dessas imagens é criada camadas normalizadas de índice verde.

Figura 3 - Imagens de satélite com grid amostral (A) e mapas de NDVI de milho (B) da área experimental. Júlio de Castilhos, RS.



Fonte: Autor

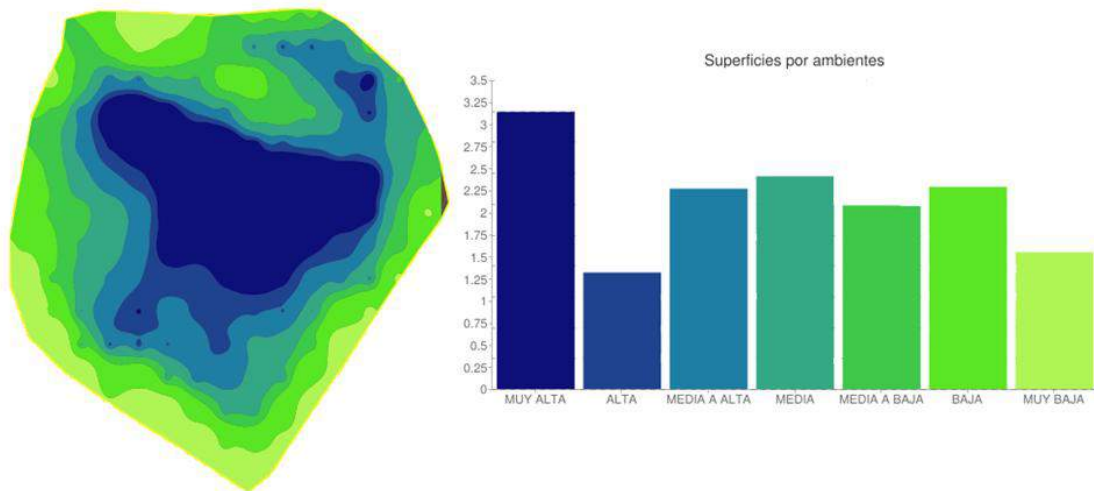
Ao ter as diferentes camadas definidas como padrão pode-se agrupa-las (análise de cluster), levando a obter uma síntese da informação apresentada no mapa de produtividade, levando a distinguir e diferenciar as zonas homogêneas facilitando a divisão em ambientes diferentes (zonas de manejo). A imagem composta foi classificada de acordo com o método de classificação não supervisionada implementado no módulo cluster, que é uma variante especial de uma técnica de análise de agrupamento de Picos de Histograma (RICHARDS, 1993, citado por EASTMAN, 1999).

A análise de Cluster é definida como uma unidade de superfície pré-determinada, que constitui a base para a análise estatística. Pode ser tomado como cluster, por exemplo, o pixel de uma imagem de satélite, sendo para Landsat 30 por 30 metros. Depois de definido a superfície de Cluster, mapas NDVI normalizados são gerados (a grade tem o mesmo tamanho que os pixels de

imagens de satélite) camadas de NDVI são criadas a partir de imagens selecionadas de acordo com as datas chave que refletem vigor da cultura.

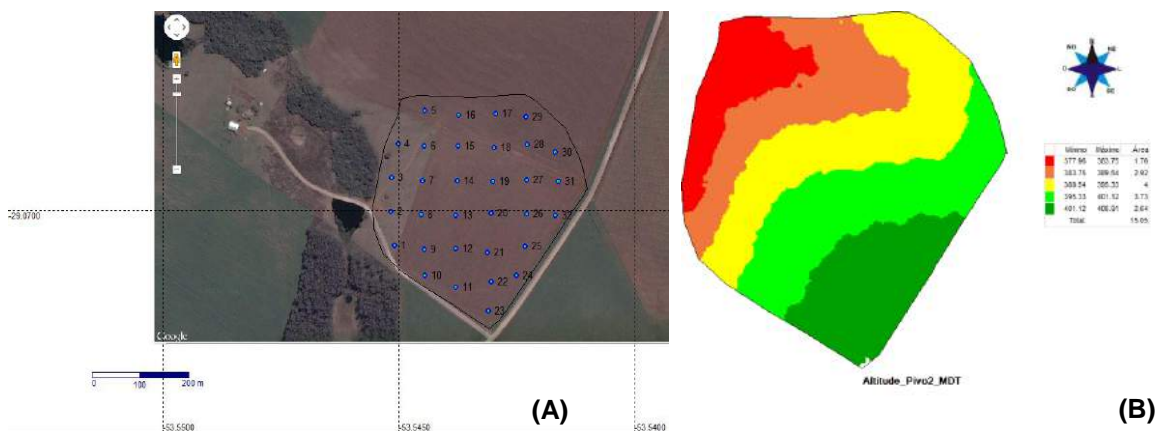
Após identificado da relação da imagem do satélite é possível realizar um mapa de produtividade entre diferentes imagens geradas com o mesmo desempenho vegetal ou com diferentes índices, sendo gerado individualmente zonas de alto ou baixo desempenho (Figura 4).

Figura 4 - Zonas de manejo definidas a partir de imagens de satélites (NDVI). Júlio de Castilhos, RS.



Fonte: WikiAgro

Figura 5 – Contorno e grade amostral dos pontos de amostragem (A) e mapa temático da altitude (B) da área experimental. Júlio de Castilhos, RS.



Fonte: Autor

As zonas de manejo são unidades agrupadas por possuírem o mesmo desempenho vegetal. Sendo assim com poucas amostras localizadas na zona, pode-se representar a variabilidade dentro da amostra homogênea (podendo usar uma média). Usando o mapa de produtividade para selecionar pontos de amostragem também pode verificar em sitio as diferentes áreas reveladas por este mapa para que juntos com informações do consultor pode definir diferentes ambientes. Deste modo, Trabachini et al. (2009), definiram zonas de produtividade a partir de três mapas sequenciais de milho safrinha enquanto que Milani et al. (2006) utilizaram cinco mapas sequencias da cultura da soja.

A principal aplicação dos mapas é melhorar a produtividade e a qualidade do solo, através conhecimento da variabilidade espacial e temporal, como de informações georeferenciadas. Isso

permite que as decisões a respeito do uso do lote, unidades de gestão, áreas selecionadas para verificação e tomada de decisões sobre locações, etc. Wikiagro (2016) especifica em relação ao uso de insumos é possível usar mapas de produtividade como ponto de partida para criar mapas de prescrição para gerar poupanças de entradas em áreas de baixo potencial e proporcionar mais investimentos em áreas com elevado potencial. O mapa de produtividade é uma excelente ferramenta para a compreensão da variabilidade da unidade de massa ou de gestão a partir de técnicas de informação e de processamento remoto.

A geração de mapas tem como principal limitação da disponibilidade de imagens de satélite o processamento Landsat, Aster ou CBERS são utilizadas considerando as datas de aquisição. No entanto, é importante notar que em muitos casos as datas que têm valor para esta análise tem importante cobertura de nuvens ou por satélite tem experimentado problemas técnicos, para esse problema buscam-se imagens históricas. No entanto, tendo em conta o grande banco de dados que conta GeoAgro é possível na maioria dos casos tem informações suficientes para fazer um mapa de produtividade. Santos et al.(2001) reforçam a ideia de que um único ano safra de milho, não deve ser usado para a definição de zonas de rendimento de grãos e que a análise temporal de diversos mapas é o meio mais propício para a análise de tendências. A definição de ambiente começa em um determinado ano, mas é um processo que permite a melhoria contínua especialmente no final da primeira temporada com a obtenção de mapas de produtividade. Desde que podem fornecer informações valiosas para realimentar as definições de mapa originais.

Conforme (Shiratsuchi et al. 2005, Santi 2007), por sua vez, definiram zonas a partir da análise sequencial de três e seis mapas de colheita, respectivamente, porém de culturas alternadas, assim como Horbe et al. (2013) que definiram zonas de produtividade a partir de sete mapas de soja e dois de milho. Os resultados descritos atualmente na literatura enfatizam, portanto, que para a definição de zonas de produtividade a utilização de vários mapas temáticos é fundamental (SANTOS et al. 2001; MOLIN, 2002; SANTI, 2007; TRABACHINI et al., 2009; AMADO; SANTI, 2011; EITELWEIN, 2013; HORBE, et al., 2013; SANTI et al., 2013).

Para critério de visualização da área experimental, buscou-se os dados de altitude do relevo para poder observar suas variações ao decorrer da área. Com isso, pode-se observar que ao comparar a definição das zonas de manejo (Figura 4) realizada através de imagens de satélites pela empresa GeoAgro e o contorno, grade amostral e mapa temático da altitude (Figura 5) pode-se observar que entre os pontos delimitados (05, 06, 16, 15, 18, 28, 27, 30 e 31) destaca-se um fluxo preferencial de água da área experimental, devido ao deslocamento de água proveniente da estrada. Li et al. (2001), os quais verificaram menores produtividades de algodão e menor absorção de nitrogênio em posições mais elevadas da paisagem, onde os solos exibiram maior suscetibilidade de perda de água e nutrientes por erosão eólica. No mapa temático de altitude (Figura 5), observam-se curvas de nivelamento da altitude caracterizando esse fluxo preferencial de água, servindo como ferramenta alternativa para discussões e observações na variabilidade das zonas de manejo. Conforme Mulla ; Bhatti (1997), geralmente as sub-regiões delimitadas por classes de produtividade associaram-se a diferentes posições no relevo.

A correlação linear de Pearson indicou argila, saturação de bases, cálcio, índice SMP, magnésio e NDVI foram significativos positivamente quando correlacionados com produtividade de grãos de milho. Já a produção de massa seca indicou matéria orgânica, índice SMP, CTC  $pH$  7 e magnésio.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho mostra a viabilidade de se trabalhar com imagens de satélite na agricultura, em especial, a agricultura de precisão, onde a variabilidade espacial e temporal da cultura e alguns atributos do solo permitiram definir as zonas de produtividade. Cabe salientar, que a correlação linear entre o NDVI e a produtividade de milho reforçaram a utilização de imagens de satélites nas bandas espectrais (NDVI) 3 e 4 como parâmetros para a definição de zonas de manejo.

## REFERÊNCIAS:

- AMADO, T.J.C.; SANTI A.L. **AP aplicada ao aprimoramento do manejo do solo**. In: FIORIN. J. E. (coord.) Manejo e fertilidade do solo no sistema de plantio direto. Cruz Alta; Fundacep, Cruz Alta 2007.
- COCCO, Leonardo Burin. **Utilização de ferramentas de agricultura de precisão na definição de zonas de manejo**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação de Agricultura de Precisão, RS, 2016.
- CORASSA, G. M. **Manejo por ambiente: atributos de solo e desempenho de cultivares de soja**. Frederico Westphalen: UFSM-CESNORS. p. 32, 2015.
- DEGHAI, J. et al. **Correlação entre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e características agrônômicas da cultura do amendoim**. In: XLII Congresso Brasileiro de Engenharia - CONBEA 2013. Anais... Campo Grande: SBEA, 2013.
- EASTMAN, J. R. IDRISI32 – **Guide to GIS and image processing**. Massachusettes, Clark University, v.2, 1999. 169p.
- EITELWEIN, M. T. **Definição de estabilidade produtiva e relação com atributos de solo em áreas manejadas com agricultura de precisão**. 2013. 93 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Agricultura e Ambiente) - Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2013.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. 3. Ed. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2013. 353 p.
- GIOTTO, L; ROBAINA, A. D. & SULZBACH, L. **A Agricultura de Precisão como o Sistema CR Campeiro 5**, Manual do Usuário. 330 p, 2004.
- GROHS, D. S. et al. Validação de modelo para predição do potencial produtivo de trigo com sensor óptico ativo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 4, p. 446-449, abr. 2011.
- KOPPEN, W. **Climatologia: con un Estudio de los Climas de la Tierra**. Fondo de Cultura Economica, México, p. 466, 1948.
- MENEGATTI, L.A.A. **Metodologia para identificação, caracterização e remoção de erros em mapas de produtividade**. Piracicaba, 2002, 84p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo.
- MENESES, P. R.; ALMEIDA T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: Universidade de Brasília, 2012. 266 p.
- MILANI, L.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J. A.; PEREIRA, J. O. **Unidades de manejo a partir de dados de produtividade**. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 28, n. 4, p. 591-598, 2006.
- MOLIN, J.P. **Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.22, n.1, p.83-92, jan.2002.
- MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Secção de Geografia, 1961. 46p.



OLLINGER, S. V. **Sources of variability in canopy reflectance and the convergent properties of plants.** New Phytologist, v. 189, p. 375-394, 2011.

ROUSE, J. W. et al. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS.** In: III Earth Resources Technology Satellite Symposium. **Anais...** Washington: NASA, 1973. p.309-317.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; EITELWEIN, M. T.; CHERUBIN, M. R.; SILVA, R. F.; DA ROS, C. O. **Definição de zonas de produtividade em áreas manejadas com agricultura de precisão.** **Agrária**, v.8, n.3, p.510-515, 2013.

SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão.** 2007. 150p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SANTOS, A. O.; MAZIERO, J. V. G.; CAVALLI, A. C.; VALERIANO, M. M.; OLIVEIRA, H.; MORAES, J. F. L.; YANAI, K. **Monitoramento localizado da produtividade de milho cultivado sob irrigação.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 5, n. 1, p. 88-95, 2001.

SHIRATSUCHI, L. S.; FACCIONI, G. C.; QUEIROS, L. R. **Classificação supervisionada no delineamento de zonas de manejo.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005. 16p. (Documentos, 150).

SIMÕES, C. R. et al. **Imagens multiespectrais para avaliação de índice de área foliar e massa seca do capim 'Tifton 85', sob adubação nitrogenada.** **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 4, p. 697-703, 2015.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** (Boletim Técnico, 5). 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 147p.1995.

TRABACHINI, A.; MANTOAM, E. J.; PAVLU, F. A.; MOLIN, J. P. **Definição de unidades de manejo baseado em mapas de produtividade.** Revista Sapere, v. 1, p. 1-8, 2009.

WIKIAGRO. Empresa GeoAgro. **Informações sobre GeoAgro GIS e outras ferramentas de tecnologia e gestão do conhecimento metodológico na agricultura.** Disponível em: [http://www.wikiagro.com/es/Qu%C3%A9\\_es\\_un\\_mapa\\_de\\_productividad%3F](http://www.wikiagro.com/es/Qu%C3%A9_es_un_mapa_de_productividad%3F). Acesso em: 15 Fevereiro, 2016.

## UTILIZAÇÃO DE IMAGENS PARA DETERMINAÇÃO DE GNDVI NA CULTURA DO TRIGO

### *Utilization of imagens to determination of GNDVI in the Wheat*

Carolina Trentin<sup>1</sup>, Christian Bredemeier<sup>2</sup>, André Luis Vian<sup>3</sup>, Cecília Paz Giordano<sup>4</sup>, Maicon  
Andreo Drum<sup>5</sup>, Tiago Antônio Morais<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 7712 - CEP 91540-000,  
Porto Alegre – RS, Brasil, [carolinatrentin@live.com](mailto:carolinatrentin@live.com); [bredemeier@ufrgs.br](mailto:bredemeier@ufrgs.br),  
[andreluisvian@hotmail.com](mailto:andreluisvian@hotmail.com), [cecilia.giordano@gmail.com](mailto:cecilia.giordano@gmail.com); [maicon.drum@ufrgs.br](mailto:maicon.drum@ufrgs.br),  
[tiago.morais@ufrgs.br](mailto:tiago.morais@ufrgs.br)

### RESUMO

A cultura do trigo possui destaque na alimentação humana e animal. Os incrementos na produtividade da cultura estão relacionados aos avanços na mecanização e ao melhor manejo de adubação. O objetivo foi avaliar a relação existente entre o índice de vegetação GNDVI obtido a partir de imagens de VANT, com diferentes dosagens de adubação nitrogenada na cultura do trigo. O experimento foi conduzido na EEA UFRGS, localizada em Eldorado do Sul, durante o ano de 2016. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, com três repetições. Os tratamentos consistiam em adubação de base (0, 15 e 60 Kg ha<sup>-1</sup> de N) e de cobertura (0, 20, 40, 60 e 80 Kg ha<sup>-1</sup> de N). As avaliações de GNDVI foram realizadas com um VANT Phantom. As curvas de regressão apresentaram r<sup>2</sup> superiores a 0,86, havendo aumento nos valores do índice quando se aumentavam as doses de adubação. Conclui-se que há alta relação entre o GNDVI e as doses de N.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão. Sensoriamento remoto. *Triticum aestivum*.

### ABSTRACT

The culture of wheat is highlighted in feed of human and animals. Increases in crop production are associated to advances in mechanization and better management of fertilization. The objective was to evaluate the relationship between the GNDVI vegetation index obtained from VANT images, with different nitrogen fertilization rates in the wheat crop. The experiment was conducted in EEA UFRGS, located in Eldorado do Sul, during the year 2015. The experimental design was a randomized block design, with three replications. The treatments consisted of fertilization in the basis (0, 15 and 60 Kg ha<sup>-1</sup> of N) and in the roof (0, 20, 40, 60 and 80 Kg ha<sup>-1</sup> of N). GNDVI evaluations were performed with a Phantom VANT. The regression curves showed r<sup>2</sup> higher than 0.86, with an increase in the index values when the fertilization rates were increased. It is concluded that there is a high relation between GNDVI and N doses.

**Keywords:** Precision agriculture. Remote sensing. *Triticum aestivum*

## 1 INTRODUÇÃO

A cultura do Trigo (*Triticum aestivum*) possui destaque na alimentação humana e animal em todo o mundo. No estado do Rio Grande do Sul, o grão possui grande importância, sendo que o estado é um dos maiores produtores (NETO e SANTOS, 2017).

Os incrementos na produtividade da cultura estão relacionados ao melhoramento de plantas, aos avanços na mecanização e ao melhor manejo de adubação. Parte destes fatores estão relacionados a expansão da utilização da Agricultura de Precisão (AP) pelas propriedades rurais.

A AP também modificou a forma com que os produtores gerem suas lavouras, pois estes passaram a levar em conta a heterogeneidade das áreas de cultivo, promovendo um manejo diferenciado em cada local (INAMASU e BERNARDI, 2014). A AP oferece outros benefícios para os produtores, como aumento nas produtividades e na rentabilidade dos cultivos, maior qualidade de vida e diminuição dos impactos ambientais (SHIRATSUCHI, 2014).

Dentre os avanços tecnológicos voltados para a agricultura, tem-se a utilização do sensoriamento remoto, que tem por finalidade o monitoramento das áreas de cultivo em tempo

real. Este termo refere-se ao uso de sensores sem fio, que não entram em contato direto com objeto a ser avaliado. O uso de sensores remotos permite o acompanhamento de mudanças que possam ocorrer nas plantas e no ambiente ao longo do tempo (DOTA, SANTOS e CUGNASCA, 2010).

Observar essas mudanças é fundamental para a tomada de decisão, relacionada a necessidade ou não de aplicação de insumos e químicos que podem causar diminuição na produtividade; uma vez que os sensores de vegetação auxiliam a avaliação das condições nutricionais e da qualidade das plantas nas suas lavouras (SOUZA, BAIO e NEVES, 2017).

Existem inúmeras maneiras de utilizar sensores em áreas de cultivo, dentre a que mais cresceu nos últimos anos é a utilização de sensores em Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs). Pois facilitam o levantamento de dados, visto que não há coleta destrutiva das plantas, e nem a necessidade de se fazer o caminhar na área, de forma rápida e precisa.

De maneira geral, o funcionamento destes sensores é baseado na reflectância de radiação eletromagnética, após entrarem em contato com o alvo (plantas). Estes espectros englobam as regiões do Infravermelho próximo (NIR) e do visível (RGB) (JORGE e INAMASU, 2014). Cada superfície de reflexão possui comportamentos específicos, e com base nessas características espectrais é possível mensurar os índices de vegetação.

A partir dos dados de NIR e de Verde (G), pode-se calcular diversos índices de vegetação. Dentre eles, o GNDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada utilizando a bandas do NIR e G) é um amplamente utilizado, pois está relacionado ao vigor das plantas; onde, maiores valores de GNDVI referem-se à plantas com maiores taxas fotossintéticas, portanto, plantas com boas condições nutricionais (JAYAWARDHANA e CHATHURANGE, 2016). Esse índice é comumente utilizado por inúmeros sensores acoplados a máquinas, que geram mapas para a aplicação de adubos em taxa variável. O índice de vegetação NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) é semelhante ao GNDVI, entretanto, utiliza os dados de reflectância na região do vermelho e do infravermelho (SANTOS, 2012).

Com o aumento no uso dos VANTs na agricultura, e a possibilidade de gerar índices de vegetação para o monitoramento dos cultivos com câmeras digitais normais, objetivou-se com este trabalho avaliar a relação existente entre o índice de vegetação GNDVI obtido a partir de imagens de VANT, com diferentes níveis de adubação nitrogenadas.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no ano agrícola de 2015 na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), no município de Eldorado do Sul (RS). A altitude média de 46 metros acima do nível do mar; o clima é subtropical de verão úmido quente, do tipo Cfa, conforme a classificação de Koppen (Ipagro, 1979).

A precipitação pluvial média anual em Eldorado do Sul é de 1440 mm e a temperatura média mensal varia entre 14 e 25°C (Bergamaschi et al., 2003). O solo é caracterizado como Argissolo Vermelho Distrófico Típico (SANTOS, 2014).

A cultura foi semeada na primeira semana de junho de 2016. Foi utilizada a cultivar BRS Parrudo. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com três repetições. Os tratamentos consistiam em diferentes dosagens de nitrogênio na base (semeadura) (0, 15, 60 Kg ha<sup>-1</sup>) e em cobertura (0, 20, 40, 60 e 80 Kg ha<sup>-1</sup>). A aplicação em cobertura foi no estádio 6<sup>o</sup> (sexta folha completamente expandida), segundo a escala de HAUN. Essas doses foram utilizadas para gerar variabilidade, com o intuito de avaliar a resposta dos tratamentos na avaliação do GNDVI.

As coletas das imagens foram realizadas nos meses de agosto e de setembro/2016, com o auxílio de um VANT do modelo Phantom<sup>®</sup>, este carregava uma câmera do tipo Canon S100, que possuía filtro NIR (789 - 1000 nm), G (491 - 577 nm) e B (455 - 491 nm).

As imagens passaram por tratamento, e após foram analisadas com o auxílio do programa eCognition Developer 64<sup>®</sup> (Trimble), onde foram retirados os valores de Infravermelho (NIR), Verde (G) e Azul (B). Estes valores geraram os dados referentes ao GNDVI (Green Normalized Difference Index Vegetation), equação 1.

Equação 1 – Índice de Vegetação por diferença Normalizada utilizando as bandas de reflectância do verde (GNDVI).

$$GNDVI = \frac{NIR - G}{NIR + G} \dots \dots \dots (1)$$

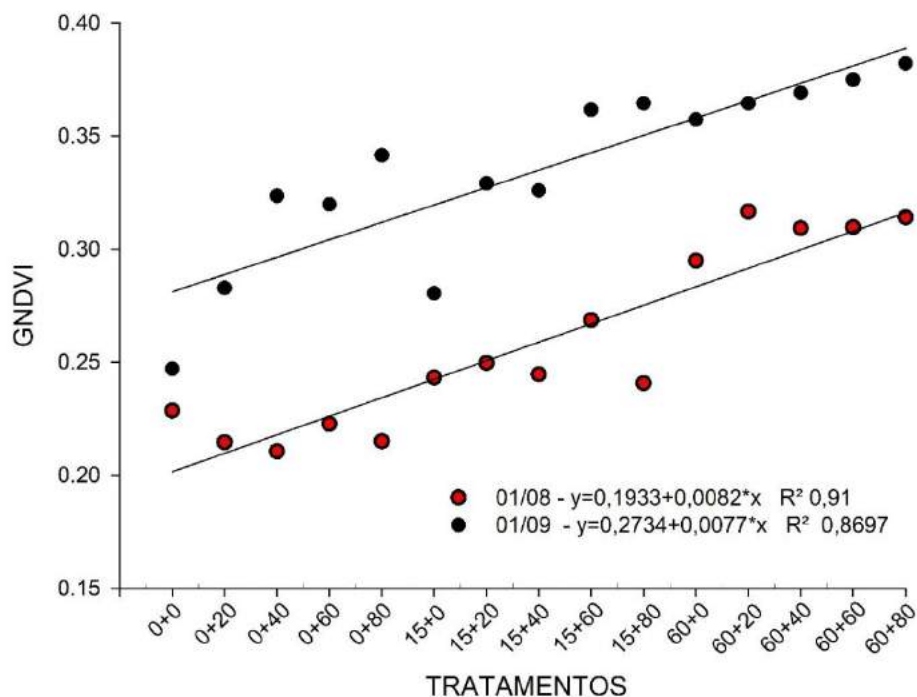
As avaliações foram realizadas em duas épocas de crescimento vegetativo da cultura do trigo, no dia 01/08 (emborrachamento) e no dia 01/09 (florescimento).

A análise estatística dos dados foi realizada com o auxílio do programa SigmaPlot®, onde se verificou a normalidade dos dados e ANOVA, e após realizou-se análise de regressão, com o intuito de se observar a correlação entre os níveis de adubação o GNDVI.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pode-se observar (gráfico 1) que houve relação entre os tratamentos e as avaliações de GNDVI, onde as curvas apresentaram R<sup>2</sup> 0,91 para o dia 01/08 e, R<sup>2</sup> 0,86 para o dia 01/09. Rissini, Kawakami e Genú (2015), encontraram uma relação direta entre o NDVI e produtividade na cultura do trigo, nos diferentes estádios de avaliação. Os autores obtiveram r<sup>2</sup> superiores a 0,9.

Gráfico 1 – Análise de regressão entre o índice GNDVI e diferentes doses de nitrogênio, em duas avaliações na cultura do trigo.



O uso de índices de vegetação permite a caracterização de deficiências nutricionais nas culturas, essa função se torna fundamental para o manejo de correção e adubação em tempo real, diminuindo as perdas na produtividade (FURLANETTO et al, 2017).

Como pode ser visualizado no gráfico 1, com o aumento das doses de adubação nitrogenada, houve também um aumento nos valores de GNDVI. Esse comportamento pode ser explicado pelo aumento da biomassa da cultura, pela melhoria nas suas condições nutricionais.

Gasparotto et al (2015) também obtiveram maiores valores de GNDVI no milho, quando a cultura recebeu maiores doses de nitrogênio, onde com a dose de 179,5 kg ha<sup>-1</sup> de N gerou um

índice GNDVI de 0,56.

Para a cultura da canola, Pinto et al (2017), obtiveram maiores índices de GNDVI quando a cultura foi adubada com 160 kg ha<sup>-1</sup>, quando comparados aos valores quando adubada com 10 kg ha<sup>-1</sup>.

Houve diferença significativa entre as avaliações de GNDVI em diferentes estádios vegetativos. A avaliação feita no dia 01/08 (emborrachamento) apresentou valores inferiores aos valores obtidos na avaliação do dia 01/09 (início do florescimento). Esse fato é explicado pelo estágio fenológico da cultura nos momentos das avaliações, na 6<sup>o</sup> - sexta folha, a cultura apresentar pouca biomassa e alta variabilidade, já durante a segunda, a cultura estava no início do florescimento, isso significa que as plantas estavam com acúmulo máximo de biomassa.

Grohs, et al. (2009) observaram na cultura do trigo, que os valores do índice de NDVI aumentaram com os acréscimos de biomassa, até que os valores do índice atingissem o ponto de saturação. A saturação de valores dos índices de vegetação, em especial NDVI e GNDVI, acontece pela porção de luz vermelha que as folhas conseguem absorver, não gerando mais mudanças nos valores dos índices quando as plantas atingem o máximo valor de Área foliar (GONÇALVES, 2015).

Uma planta em boas condições sanitárias e em pleno vigor, possui baixa reflectância nos espectros do visível e alta no infravermelho, obtendo-se altos valores de GNDVI e também de NDVI (GASPAROTTO et al, 2015).

Ao analisar três diferentes índices de vegetação, NDVI, SAVI e IAF, para a caracterização de disponibilidade hídrica no perfil do solo, Boratto e Gomide (2013), observaram que há uma forte ligação entre os valores dos índices e a umidade do solo. Os autores concluíram que o uso destes índices é interessante para o manejo e a ocupação dos solos cultivados, demonstrando que a utilização de índices de vegetação não está somente relacionada a caracterização de plantas.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se concluir que existe alta relação entre a adubação nitrogenada e o GNDVI. E que ao longo do ciclo da cultura observa-se mudanças nos valores do Índice.

## REFERÊNCIAS

BERGAMASCHI, H. et al **Clima da Estação Experimental da UFRGS e região de abrangência.** UFRGS. Porto Alegre, 78p, 2003.

BORATTO, I. S. M.; GOMIDE, R. L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, 2013.

DOTA, M. A.; SANTOS, I. M.; CUGNASCA, C. E. Fusão de sensores na Agricultura de Precisão **Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP.** Ribeirão Preto, 2010.

FURLANETTO, R.H. et al. Potencial de utilização de sensores multiespectral e hiperespectral no estudo de diferentes alvos agrícolas. In: **Jornada Acadêmica da Embrapa Soja**, Londrina. 2017.

GASPAROTTO, A. C. et al. Diferentes doses de nitrogênio na cultura do milho e sua relação com GNDVI. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa, 2015. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0482.pdf>>. Acesso em 17 ago. 2017.

GONÇALVES, R. A. **Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) no patossistema Puccinia triticina – Triticum aestivum.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, p.47, 2015.

GROHS, D. S. et al. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor greenseeker. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.1, p.101-112, 2009.

INAMASU, R. Y.; BERNARDI A. C. C. Agricultura de Precisão. In: **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Organizado por: Bernardi, A. C. C. et al. Embrapa. Brasília, 596 p. 2014.

IPAGRO. **Observações meteorológicas no estado do rio Grande do Sul**. Porto Alegre: IPAGRO, 1979. 272p. (Boletim Técnico, 3)

JAYAWARDHANA, W. G. N. N; CHATHURANGE, V. M. I Extraction of agricultural phenological parameters of Sri Lanka using MODIS, NDVI time series data. **Procedia Food Science** p.235 – 241. 2016. DOI: 10.1016/j.profoo.2016.02.027

JORGE L. A. C.; INAMASU, R Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em Agricultura de Precisão. In: **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Organizado por: Bernardi, A. C. C. et al. Embrapa. Brasília, 596 p. 2014.

NETO, A. A. O. e SANTOS, C. M. R. A cultura do trigo. **Companhia Nacional de Abastecimento - Conab**. Brasília, 218 p. 2017.

PINTO, D. G. et al. Temporal dynamics of spectral reflectance and vegetation indices during canola crop cycle in southern Brazil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.47, no.1, 2017. DOI: 10.1590/0103-8478cr20151403

RISSINI, A. L. L.; KAWAKAMI, J.; GENÚ, A. M. Índice de vegetação por diferença normalizada e produtividade de cultivares de trigo submetidas a doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.39, no.6, 2015. DOI: 10.1590/01000683rbc20140686

SANTOS, F.A. **Agricultura de Precisão**. Universidade De Trás-Os-Montes E Alto Douro. Vila Real, 2012.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. EMBRAPA. 4. ed. Brasília, 2014.

SHIRATSUCHI, L. S. et al. Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão. In: **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Organizado por: Bernardi, A. C. C. et al. Embrapa. Brasília, 596 p. 2014.

SOUZA, H. B.; BAIO, F. H. R.; NEVES, D. C. Using passive and active multispectral sensors on the correlation with the phenological indices of cotton. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.37, n.4, p.782-789, 2017. DOI: 10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n4p782-789/2017.

## VARIABILIDADE ESPACIAL DE *Euschistus heros* NA CULTURA DA SOJA

### *Spatial variability of Euschistus heros in soybean*

Mauricio Paulo Batistella Pasini<sup>1</sup>, Aline Hesel<sup>1</sup>, Eduardo Engel<sup>1</sup>, Daniele Hörz<sup>1</sup>, Sabrina Lago Dalla Nora<sup>1</sup>, Carolina Vincensi<sup>1</sup>, Aurélia Bento Pereira<sup>1</sup>, Tales Pedroti<sup>1</sup>, Gustavo Calegari<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Cruz Alta – UNICRUZ, Rodovia Municipal Jacob Della Méa, km 5.6 - Parada Benito, CEP 98005-972, Cruz Alta, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: [mpasini@unicruz.edu.br](mailto:mpasini@unicruz.edu.br)

### RESUMO

Na cultura da soja a ação de insetos-praga afeta direta e indiretamente os componentes de rendimento, gerando perdas significativas quando estes não são controlados. O trabalho teve por objetivo definir a variabilidade espacial de *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae) na cultura da soja nos diferentes estádios desenvolvimento. A pesquisa foi conduzida na Área Experimental da Universidade de Cruz Alta (Fuso 22, 244138; 6835737, UTM), Cruz Alta, Rio Grande do Sul, Brasil. A população de *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae), embora esteja presente na lavoura, tende a se concentrar próximo a borda em maior população do que nas áreas que fazem limite com a cultura da soja. A infestação de *E. heros* inicia a partir do estágio VC, chagando ao seu pico populacional no estágio R7. A partir da definição da variabilidade espacial de *E. heros* é possível definir regiões na área de cultivo para se estabelecer medidas de supressão populacional.

**Palavras-chave:** Dinâmica populacional. Percevejo-marrom. Variáveis regionalizadas.

### ABSTRACT

In the soybean, the action of insect pests affects the yield components, generating significant losses when they are not controlled. The objective of this work was to define the spatial variability of *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae) in the soybean at different development stages. The research was conducted in the Experimental Area of Cruz Alta University (Fuso 22, 244138; 6835737, UTM), Cruz Alta, Rio Grande do Sul, Brazil. The *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae) population, although present in the crop, tends to concentrate near the border in a larger population than in the areas that limit soybean cultivation. Infestation of *E. heros* begins from the VC stage, reaching its population peak at the R7 stage. From the definition of the spatial variability of *E. heros* it is possible to define regions in the cultivation area to establish measures of population suppression.

**Keywords:** Brown stink bug. Population dynamics. Regionalized variables.

## 1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é a principal leguminosa cultivada no Brasil, com produção na safra 2016/2017 de 113.013,4 milhões de toneladas em cerca de 33.856 milhões de hectares cultivados (CONAB, 2017). Nessa cultura o número de plantas, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e o peso de grãos definem a produtividade, sendo necessárias inúmeras práticas que se inter-relacionam para a garantir (SILVA et al., 2016).

Na cultura da soja a ação de insetos-praga afeta direta e indiretamente os componentes de rendimento, gerando perdas significativas quando estes não são controlados. Entre as principais pragas da soja com esse perfil estão os percevejos da Família Pentatomidae, causadores de danos em grãos e sementes, deixando-os chochos, enrugados, com baixo vigor e baixa germinação (CORREA-FERREIRA, 2005; PANIZZI et al., 2012).

A Família Pentatomidae é cosmopolita com maior ocorrência nos trópicos e é considerada a com maior diversidade de espécies (cerca de 4.700 espécies distribuídas no mundo) dentro da ordem Hemiptera (GRAZIA et al., 2015). Dentro desta família estão inseridas diversas espécies de importância agrícola, sendo a principal *Euschistus heros* (Fabricius,

1798). Essa família tem grande destaque com relação a sua importância econômica para cultura da soja, pois além de causar danos a cultura e capaz de se desenvolver em plantas alternativas e tornar a infestar a cultura na próxima safra (KLEIN et al., 2012; SMANIOTTO & PANIZZI, 2015; PANIZZI & LUCINI, 2016).

As populações de insetos-pragas em lavouras podem ser estimadas com o uso de procedimentos de interpolação, que permitem gerar superfícies contínuas através de unidades amostrais pontuais (FARIAS et al., 2008). A geoestatística é uma ferramenta importante no complemento do estudo da distribuição espacial de insetos, sendo facilmente visualizado o comportamento da variável em estudo. Na maioria das vezes, o interesse da análise geoestatística não se limita à obtenção apenas de um modelo de variabilidade espacial, desejando-se ainda a avaliar valores de pontos não amostrados. Para isso usa-se a krigagem, que utiliza a dependência espacial entre amostras vizinhas, para estimar valores em qualquer posição dentro do campo sem tendência e variância mínima (LANDIM & YAMAMOTO, 2013). Conforme os autores o método geoestatístico leva em consideração as características espaciais de autocorrelação de variáveis regionalizadas.

De acordo com Landim & Yamamoto (2013), a krigagem pondera os valores do ponto vizinho do ponto a ser estimado, obedecendo aos critérios de não tendenciosidade e de variância mínima através de um modelo teórico de semivariograma atrelado ao experimental. A estimativa da krigagem é uma combinação linear dos valores das medidas vizinhas, o resultado vem através de um Sistema de Informação Geográfica, que transforma esses valores estimados em escala de cores ou isolinhas, apresentando a real distribuição espacial dos indivíduos estudados. Este método tem sido utilizado em trabalhos científicos sendo considerado eficiente e preciso conforme Farias et al. (2008), Sciarretta & Trematerra (2014) e Duarte et al. (2015).

Definir padrões de agregação adequados destes organismos nocivos possibilita prever e direcionar estratégias de manejo localizadas, podendo interferir na dinâmica populacional destes insetos, tanto diminuindo a taxa de migração para plantas alternativas como reduzindo a população dentro da área de cultivo, e aumentar a lucratividade em função do uso racional de produtos químicos (REAY-JONES, 2010, 2014).

Portanto, o trabalho teve por objetivo definir a variabilidade espacial de *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae) na cultura da soja nos diferentes estádios desenvolvimento.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida na Área Experimental da Universidade de Cruz Alta (Fuso 22, 244138; 6835737, UTM), Cruz Alta, Rio Grande do Sul, Brasil, em área com um hectare, com a cultura da soja, variedade Nidera 5909, cultivada sob as recomendações técnicas. A área de cultivo em seu limite oeste apresentava vegetação herbácea com predominância de espécies da família Poaceae, já nas faces leste, sul e norte com a cultura da soja. O clima da região, conforme a classificação de Köppen do tipo Cfa.

Na área de pesquisa foi gerado um grid de 10 x 10 metros, totalizando 100 unidades experimentais (UE). Cada unidade consistiu em um metro quadrado. Para amostragem dos insetos nos estádios iniciais de desenvolvimento as foram feitas avaliações visuais, a partir de V9 passou-se a utilizar pano de batida, com dimensões de 0,5 x 1,0 m e em R8 foi realizado avaliação visual.

As avaliações foram realizadas na safra 2016/2017, nos estádios fenológicos VC (Cotilédone), V1 (Primeiro Nó), V3, V5, V7, V9, V11, R1 (Início do Florescimento), R2 (Florescimento Pleno), R3 (Início da formação da vagem), R4 (vagem completamente desenvolvida), R5 (início do enchimento de grão), R6 (grão cheio), R7 (início da maturação) e R8 (maturação plena) (FEHR; CAVINESS, 1977) totalizando 15 avaliações. Em cada UE foi realizada a triagem dos indivíduos contidos, sendo estes, identificados e quantificados. Durante a execução da pesquisa não houve aplicação de inseticidas.

Os valores de insetos obtidos nas unidades experimentais e nas diferentes avaliações foram submetidos a análise conforme metodologia utilizada por Pasini et al. (2014).



O número de insetos obtidos das UE de área de cultivo foram organizados sendo estimadas as estatísticas descritivas. Após os dados foram submetidos à análise geoestatística para verificar a existência de dependência espacial, com isso quantifica-se o grau de dependência espacial dos atributos em estudo a partir do ajuste dos modelos teóricos aos semivariogramas experimentais isotrópicos com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a qual é estimada pela expressão:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

em que  $\gamma$  é a semivariância e  $N(h)$  é o número de pares de valores medidos  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i+h)$  separados por um vetor  $h$ .

A partir dos semivariogramas experimentais foram obtidos e ajustados os modelos de semivariograma: circular, esférico, tetraesférico, pentaesférico, exponencial, gaussiano, quadrático racional, seno cardinal, k-bessel, j-bessel e estável conforme Johnson et al. (2001) no programa ArcGis 9.2.

Os modelos foram ajustados ao semivariograma experimental pelo algoritmo de ajuste dos Mínimos Quadrados Ponderados (MQP), sendo definidos os parâmetros do modelo: efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0+C_1$ ), alcance ( $a$ ).

Para verificar a existência de dependência espacial foi aplicada a fórmula do Índice de Dependência Espacial (IDE) que representa uma relação em porcentagem do quanto à dependência espacial, quantificada pelo modelo de semivariograma, contribui para a variabilidade dos dados,

$$IDE = \frac{C_1}{C_0 + C_1}$$

sendo classificado em forte ( $IDE > 75\%$ ), médio ( $25 < IDE \leq 75\%$ ) e baixo ( $IDE \leq 25\%$ ) (ZIMBACK, 2001). Constatada a presença de dependência espacial entre os dados foram realizadas inferências por krigagem ordinária (KO), estimando valores em locais não medidos. A KO interpola valores com as condições de estimativa sem tendenciosidade e com desvios mínimos em relação aos valores conhecidos, considerando a estrutura de variabilidade espacial encontrada para o atributo.

Para a escolha do modelo de semivariograma, utilizou-se a técnica da validação cruzada onde os valores reais e estimados foram comparados, sendo definido o modelo com previsões mais precisas (WEBSTER & OLIVER, 2007).

Como primeiro indicador da validação cruzada a média dos erros,

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^n [\hat{Z}(s_i) - z(s_i)]}{n}$$

onde  $\hat{Z}(s_i)$  é o valor observado e  $z(s_i)$  o valor estimado, como segundo indicador, estimou-se a raiz quadrada média dos erros,

$$RQME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [\hat{Z}(s_i) - z(s_i)]^2}{n}}$$

como terceiro indicador a raiz quadrada média do erro padronizada,

$$RQMEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{(\hat{Z}(s_i) - z(s_i))}{\hat{\sigma}(s_i)} \right]^2}{n}}$$

os melhores ajustes se obtêm para os indicadores  $\bar{E}$  e  $RQME$  quando estes se aproximam a 0 e  $RQMEP$  a 1.

A partir dos indicadores estimados da validação cruzada foram atribuídas notas de 1 a 3, de acordo o critério de seleção de cada indicador: para a estimativa de  $RQMEP$  o valor mais próximo ou igual a 1 foi atribuída a nota 3 e para o valor mais distante de 1 foi atribuída a nota 1, respectivamente. Já para as estimativas  $\bar{E}$  e  $RQME$  o valor mais próximo ou igual a 0 foi atribuída a nota 3 e para o valor mais distante de 0 foi atribuída a nota 1, respectivamente. Após a atribuição das notas, realizou-se o somatório destas dentro de cada modelo ajustado e situação avaliada adotando o critério de escolha do modelo com maior somatório das notas.

Para a representação da dispersão de *E. heros* nos estádios de desenvolvimento da planta e áreas de cultivo, foram geradas figuras a partir das estimativas obtidas do melhor interpolador, atribuindo cores aos valores estimados em intervalos definidos por isolinhas de números inteiros. A projeção utilizada foi a Universal Transversa de Mercator em Datum horizontal WGS 84 e vertical Imbituba Santa Catarina.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a execução da pesquisa 4.537 adultos de *Euschistus heros* foram quantificados, divididos em quinze avaliações e 1500 unidades amostrais, computando 3,02 adultos por unidade amostral. Nas avaliações, de VC a R7 verificou-se um aumento gradativo na densidade populacional, de 0,14 adultos x m<sup>-2</sup> a 7,45 adultos x m<sup>-2</sup>, respectivamente, em R8 a densidade populacional encontrada foi de 4,17 adultos x m<sup>-2</sup> (Tabela 1). A migração de indivíduos, a fertilidade (número de gerações e potencial biótico), oferta e características físicas e nutricionais do alimento estão entre os principais fatores que contribuem para a variação da densidade populacional. Conforme Zheng e Dicke (2008) há uma grande quantidade de fatores que interferem direta ou indiretamente a presença do inseto em uma planta hospedeira, entre elas, variações na quantidade e qualidade de nutrientes, para Howe e Jander (2008) o grau de complexidade da estrutura da planta interfere diretamente a presença de um inseto, caracterizando que a medida que ocorre o crescimento e desenvolvimento da planta, aumentando o número de oportunidades. Logo com o desenvolvimento das plantas de soja adultos de *E. heros* passam a ter maiores oportunidades de alimento e abrigo.

Tabela 1 – Densidade populacional de *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae) em diferentes estádios de desenvolvimento.

Estádio <sup>1</sup>	Soma	Média	Desvio padrão	Coefficiente de variação
VC	14	0,14	0,47	337,02
V1	28	0,28	0,81	287,51
V3	56	0,56	1,14	203,56
V5	88	0,88	1,47	167,29
V7	130	1,30	1,74	133,68
V9	208	2,08	2,05	98,48
V11	222	2,22	2,29	103,35
R1	285	2,85	2,59	90,78
R2	388	3,88	3,15	81,28
R3	418	4,18	3,53	84,56
R4	446	4,46	3,30	74,08
R5	547	5,47	3,31	60,46
R6	545	5,45	3,17	58,10
R7	745	7,45	3,17	42,51
R8	417	4,17	2,73	65,48
Geral	4537	3,02		

<sup>1</sup>Estádios de desenvolvimento conforme Fehr e Caviness, 1977.

Os valores dos desvios nas avaliações apresentaram elevada variabilidade dos dados, coeficiente de variação (Tabela 1), estando associada a uma grande concentração de valores zeros nas primeiras avaliações e com o aumento da densidade populacional e pela dispersão dos indivíduos na área de cultivo eles tendem a diminuir.

Nos modelos teóricos, para todas as avaliações, houve dependência espacial com IDE superior a 75%, indicando que esta contribui fortemente para a variabilidade dos dados, sendo

realizadas as inferências por krigagem ordinária (KO) para os modelos teóricos de semivariogramas (ZIMBACK, 2001). A partir do critério de escolha da validação cruzada (Tabela 2 e 3) foram selecionados quinze modelos teóricos de semivariograma (Tabela 4). Nas avaliações houve a seleção de diferentes modelos de semivariograma semelhante ao encontrado por Pasini et al. (2014), concordando com a hipótese de Gundogdu & Guney (2007), onde cada conjunto de dados apresenta uma estrutura espacial diferente sendo necessário definir um modelo de semivariograma com melhor ajuste ao experimental.

Tabela 2 – Validação cruzada: Média dos erros ( $\bar{E}$ ); Raiz Quadrada Média dos Erros (RQME); Raiz Quadrada Média do Erro Padronizada (RQMEP) (notas atribuídas) a partir da krigagem ordinária para modelos de semivariogramas nas avaliações VC a R3.

Indicador	C	E	T	P	Ex	G	QR	SC	KB	JB	Es
----- VC -----											
$\bar{E}$	0,189(9)	0,213(4)	0,224(2)	0,193(8)	0,142(11)	0,195(6)	0,224(3)	0,358(1)	<b>0,185(10)</b>	0,202(5)	0,194(7)
RQME	2,875(6)	2,824(9)	2,801(11)	2,825(8)	2,843(7)	2,887(3)	2,884(2)	3,199(1)	<b>2,420(10)</b>	2,951(4)	2,884(5)
RQMEP	0,965(8)	0,886(7)	0,837(4)	0,847(5)	0,827(3)	1,034(9)	0,786(2)	1,455(1)	<b>1,012(10)</b>	1,147(6)	1,023(11)
$\Sigma$	23	20	17	21	21	18	7	3	<b>30</b>	15	23
----- V1 -----											
$\bar{E}$	-0,132(1)	-0,130(2)	-0,129(3)	-0,025(4)	0,017(9)	<b>-0,001(11)</b>	-0,007(10)	-0,018(8)	-0,021(7)	-0,0022(6)	-0,024(5)
RQME	0,511(9)	0,730(7)	0,855(6)	0,933(5)	1,071(4)	<b>0,021(11)</b>	0,315(10)	1,829(1)	0,617(8)	1,448(3)	1,590(2)
RQMEP	0,913(6)	0,711(1)	0,900(5)	0,855(4)	1,184(3)	<b>0,994(11)</b>	0,728(2)	0,946(9)	0,947(10)	0,945(8)	0,930(7)
$\Sigma$	16	10	14	13	16	<b>33</b>	22	18	25	17	14
----- V3 -----											
$\bar{E}$	0,123(9)	<b>0,037(11)</b>	0,148(4)	0,137(6)	0,125(8)	0,100(10)	0,149(5)	0,257(1)	0,240(3)	0,248(2)	0,130(7)
RQME	1,643(8)	<b>0,322(11)</b>	2,537(1)	2,714(6)	1,495(10)	1,640(9)	1,646(7)	1,787(3)	1,739(5)	1,777(4)	2,537(1)
RQMEP	0,759(3)	<b>1,003(11)</b>	1,937(1)	0,982(9)	0,806(5)	1,018(10)	0,921(6)	1,050(7)	1,047(8)	1,937(1)	0,776(4)
$\Sigma$	20	<b>33</b>	6	21	23	29	18	11	16	7	12
----- V5 -----											
$\bar{E}$	-0,051(1)	0,014(2)	0,000(11)	0,000(11)	0,001(9)	-0,010(3)	<b>-0,002(8)</b>	-0,006(4)	-0,003(6)	-0,003(7)	-0,003(5)
RQME	0,830(3)	0,827(4)	0,808(6)	0,812(5)	0,835(2)	0,794(7)	<b>0,752(10)</b>	0,851(1)	0,791(8)	0,739(11)	0,787(9)
RQMEP	0,924(1)	1,022(3)	1,009(8)	1,021(4)	1,072(2)	1,019(5)	<b>0,996(11)</b>	1,006(10)	1,013(6)	0,992(9)	1,012(7)
$\Sigma$	5	9	25	20	13	15	<b>29</b>	15	20	27	21
----- V7 -----											
$\bar{E}$	-0,027(6)	-0,030(3)	-0,029(5)	-0,031(2)	-0,046(1)	-0,002(9)	-0,012(8)	-0,030(4)	0,001(10)	-0,012(7)	<b>0,000(11)</b>
RQME	1,920(7)	1,931(6)	1,951(5)	1,975(4)	2,090(2)	1,891(8)	1,982(3)	2,159(1)	1,887(9)	1,883(10)	<b>1,877(11)</b>
RQMEP	0,939(7)	0,878(5)	0,873(4)	0,844(2)	0,852(3)	0,964(10)	0,883(6)	0,967(11)	0,962(9)	0,819(1)	<b>1,048(8)</b>
$\Sigma$	20	14	14	8	6	27	17	15	28	18	<b>30</b>
----- V9 -----											
$\bar{E}$	-0,027(6)	-0,030(3)	-0,029(5)	-0,031(2)	-0,046(1)	<b>0,000(11)</b>	-0,012(8)	-0,030(4)	0,002(10)	-0,012(7)	-0,002(9)
RQME	0,311(9)	0,430(7)	0,555(6)	0,633(5)	0,871(4)	<b>0,310(10)</b>	0,221(11)	1,329(1)	0,417(8)	0,948(3)	0,990(2)
RQMEP	0,939(7)	0,878(5)	0,873(4)	0,844(2)	0,852(3)	<b>1,048(8)</b>	0,883(6)	0,967(11)	0,962(9)	0,819(1)	0,964(10)
$\Sigma$	22	15	15	19	8	<b>29</b>	25	16	27	11	21
----- V11 -----											
$\bar{E}$	-0,029(5)	-0,031(2)	-0,027(6)	-0,030(3)	-0,046(1)	-0,001(10)	<b>0,000(11)</b>	-0,030(4)	-0,012(8)	-0,012(7)	-0,002(9)
RQME	2,432(5)	2,446(4)	2,401(7)	2,416(6)	2,544(2)	2,399(8)	<b>2,387(11)</b>	2,610(1)	2,457(3)	2,387(11)	2,389(9)
RQMEP	0,873(4)	0,844(2)	0,939(7)	0,878(5)	0,852(3)	1,048(8)	<b>0,962(9)</b>	0,967(11)	0,883(6)	0,819(1)	0,964(10)
$\Sigma$	14	8	20	14	6	26	<b>31</b>	16	17	19	28
----- R1 -----											
$\bar{E}$	0,086(3)	0,075(4)	<b>0,049(11)</b>	0,064(7)	0,052(10)	0,070(6)	0,064(8)	0,225(1)	0,071(5)	0,124(2)	0,062(9)
RQME	3,579(9)	3,640(7)	<b>3,567(10)</b>	3,840(4)	3,604(8)	3,429(11)	3,845(3)	6,607(1)	3,735(6)	4,613(2)	3,839(5)
RQMEP	1,124(9)	1,152(6)	<b>1,020(11)</b>	1,235(4)	1,026(10)	1,519(3)	1,126(8)	12,069(1)	1,192(5)	1,655(2)	1,142(7)
$\Sigma$	21	17	<b>32</b>	15	28	18	19	3	16	6	21
----- R2 -----											
$\bar{E}$	-0,050(7)	-0,048(8)	-0,128(4)	-0,077(6)	-0,041(10)	<b>-0,047(9)</b>	-0,029(11)	-0,216(2)	-0,121(5)	-0,269(1)	-0,129(3)
RQME	2,326(8)	2,322(10)	2,341(6)	2,569(5)	2,336(7)	<b>2,324(9)</b>	2,179(11)	2,687(3)	2,826(2)	3,304(1)	2,579(4)
RQMEP	1,167(6)	1,052(7)	1,497(4)	0,994(11)	0,963(8)	<b>0,988(10)</b>	0,967(9)	1,981(2)	1,483(5)	10,142(1)	1,509(3)
$\Sigma$	21	25	14	22	25	<b>28</b>	31	7	12	3	10
----- R3 -----											
$\bar{E}$	-0,027(4)	-0,032(1)	-0,010(6)	-0,005(10)	0,004(11)	-0,029(2)	-0,006(9)	0,018(5)	<b>-0,007(8)</b>	-0,029(2)	-0,008(7)
RQME	1,155(3)	1,141(6)	1,134(8)	1,133(9)	1,138(7)	1,142(5)	1,144(4)	1,246(2)	<b>1,110(11)</b>	1,393(1)	1,111(10)
RQMEP	0,812(7)	0,753(6)	0,713(5)	0,687(4)	0,615(3)	0,981(9)	1,154(8)	1,516(2)	<b>1,001(11)</b>	3,052(1)	1,003(10)
$\Sigma$	14	13	19	23	21	16	21	9	<b>30</b>	3	27

<sup>1</sup>Circular (C), Esférico (E), Tetraesférico (T), Pentaesférico (P), Exponencial (Ex), Gaussiano (G), Quadrático Racional (QR), Seno Cardinal (SC), J-Bessel (JB), K-Bessel (KB), Estável (Es).

Tabela 3 – Validação cruzada: Média dos erros ( $\bar{E}$ ); Raiz Quadrada Média dos Erros ( $RQME$ ); Raiz Quadrada Média do Erro Padronizada ( $RQMEP$ ) (notas atribuídas) a partir da krigagem ordinária para modelos de semivariogramas nas avaliações R4 a R8.

Indicador	C	E	T	P	Ex	G	QR	SC	KB	JB	Es
----- R4 -----											
$\bar{E}$	-0,001(11)	<b>-0,002(10)</b>	-0,003(8)	-0,003(8)	-0,033(5)	-0,059(3)	-0,042(4)	-0,115(1)	-0,011(7)	-0,086(2)	-0,026(6)
$RQME$	0,874(9)	<b>0,874(9)</b>	0,875(7)	0,875(7)	0,862(11)	1,153(3)	1,094(4)	1,292(1)	0,878(6)	1,211(2)	0,887(5)
$RQMEP$	1,508(6)	<b>1,090(10)</b>	1,472(7)	1,511(5)	0,931(11)	7,458(3)	4,392(4)	8,956(2)	1,264(9)	11,256(1)	1,390(8)
$\Sigma$	26	<b>29</b>	24	20	27	9	16	4	22	5	21
----- R5 -----											
$\bar{E}$	-0,018(7)	-0,021(6)	-0,023(5)	-0,035(2)	-0,017(8)	0,008(10)	-0,027(3)	-0,123(1)	-0,025(4)	-0,011(9)	<b>-0,004(11)</b>
$RQME$	0,913(2)	0,794(11)	0,794(11)	0,799(8)	0,809(7)	0,827(3)	0,813(5)	1,197(1)	0,810(6)	0,814(4)	<b>0,798(9)</b>
$RQMEP$	1,751(2)	0,869(8)	0,832(6)	0,814(5)	0,727(3)	1,079(10)	0,744(4)	2,569(1)	0,873(9)	0,857(7)	<b>1,010(11)</b>
$\Sigma$	11	25	22	15	18	23	12	3	19	20	<b>31</b>
----- R6 -----											
$\bar{E}$	-0,011(9)	-0,027(6)	-0,005(10)	<b>-0,004(11)</b>	-0,014(8)	-0,039(5)	-0,052(4)	0,099(1)	-0,057(3)	-0,027(7)	-0,053(2)
$RQME$	1,095(7)	1,150(5)	1,190(3)	<b>1,189(4)</b>	1,199(2)	1,078(10)	1,055(11)	1,758(1)	1,090(8)	1,129(6)	1,084(9)
$RQMEP$	0,704(5)	0,681(4)	0,933(9)	<b>0,944(10)</b>	0,760(6)	1,114(7)	1,592(2)	5,124(1)	0,963(11)	0,669(3)	0,907(8)
$\Sigma$	21	15	22	<b>25</b>	16	22	17	3	22	16	19
----- R7 -----											
$\bar{E}$	-0,034(2)	-0,022(5)	-0,008(7)	-0,008(7)	0,000(11)	0,007(9)	-0,030(4)	-0,006(10)	-0,048(1)	<b>0,010(6)</b>	-0,034(2)
$RQME$	1,352(4)	1,292(10)	1,324(7)	1,324(7)	1,326(6)	1,366(3)	1,322(9)	1,924(1)	1,348(5)	<b>1,266(11)</b>	1,463(2)
$RQMEP$	0,897(11)	0,705(5)	0,769(8)	0,747(7)	0,742(6)	1,139(10)	0,658(2)	5,333(1)	0,663(3)	<b>0,808(9)</b>	1,331(4)
$\Sigma$	17	20	24	21	23	22	15	12	9	<b>26</b>	8
----- R8 -----											
$\bar{E}$	-0,014(8)	-0,041(4)	-0,003(11)	-0,033(6)	-0,011(9)	-0,038(5)	<b>-0,004(10)</b>	0,045(3)	-0,049(2)	-0,030(7)	-0,055(1)
$RQME$	1,050(9)	1,059(7)	1,063(5)	1,045(10)	1,068(4)	1,042(11)	<b>1,062(6)</b>	1,529(1)	1,080(3)	1,056(8)	1,105(2)
$RQMEP$	0,821(8)	0,764(6)	0,974(11)	1,864(2)	0,772(7)	1,132(9)	<b>0,952(10)</b>	3,857(1)	1,812(4)	0,728(5)	1,850(3)
$\Sigma$	25	17	27	18	20	25	<b>26</b>	4	9	20	6

<sup>1</sup>Circular (C), Esférico (E), Tetraesférico (T), Pentaesférico (P), Exponencial (Ex), Gaussiano (G), Quadrático Racional (QR), Seno Cardinal (SC), J-Bessel (JB), K-Bessel (KB), Estável (Es).

Tabela 4 – Modelos teóricos de semivariograma selecionados para a estimativa da densidade populacional de *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae) em diferentes estádios de desenvolvimento.

Estádio <sup>1</sup>	Modelo	Efeito pepita	Patamar	Amplitude
VC	K-Bessel	0	0,168	34,57
V1	Gaussiano	0	0,413	20,12
V3	Esférico	0	0,787	30,03
V5	Quadrático racional	0	2,501	38,22
V7	Estável	0	2,896	49,63
V9	Gaussiano	0	2,295	31,74
V11	Quadrático racional	0	4,759	53,11
R1	Tetraesférico	0	1,985	20,92
R2	Gaussiano	0	7,865	44,08
R3	K-Bessel	0	3,524	20,10
R4	Esférico	0	5,315	30,03
R5	Estável	0	12,175	54,94
R6	Pentaesférico	0	3,074	21,77
R7	J-Bessel	0	3,109	22,26
R8	Quadrático racional	0	5,040	40,08

<sup>1</sup>Estádios de desenvolvimento conforme Fehr e Caviness, 1977.

A partir das estimativas dos parâmetros dos modelos teóricos de semivariogramas selecionados, não foi identificado a presença de efeito pepita. O efeito pepita de um semivariograma é o valor da função na origem  $[\gamma(0)]$  e representa uma descontinuidade e é causado pela variância aleatória e pode ser resultado tanto da variabilidade do fenômeno espacial em estudo como da escala de amostragem (YAMOMOTO & LANDIN, 2013). O alcance representa a distância máxima de autocorrelação espacial, representando que os pontos localizados em uma área cujo raio seja o alcance, são mais semelhantes entre si, do que os separados por distâncias maiores, representando a distância máxima de dependência espacial (WEBSTER & OLIVER, 2007). Os valores obtidos para o alcance, Tabela 4, indicam que o grid de amostragem utilizado foi adequado e suficiente para expressar a variabilidade espacial de *Euschistus heros*.

A partir da seleção do modelo teórico de semivariograma e estimação dos valores em locais não amostrados pela KO geraram-se as figuras de distribuição espacial delimitados em isolinhas de números inteiros variáveis conforme os níveis populacionais de cada avaliação. A partir da primeira avaliação, correspondente ao estágio VC, verifica-se que indivíduos do *E. heros* já se encontram presentes na área de cultivo, próximos a bordadura (parte inferior das imagens), representado na figura 1. Conforme Pasini et al. (2016) *E. heros* possui como estratégia de sobrevivência a procura por plantas hospedeiras para se abrigarem no entorno das áreas de cultivo e permanecem em quiescência, com o aumento da temperatura do ar, a partir de setembro, os insetos adultos deixam os abrigos onde procuram plantas hospedeiras e copulam. Com a semeadura da soja a população passam a migrar para a área de cultivo, e aumenta gradativamente até R7. No estágio que sucede (R8) a população de *E. heros* tende a diminuir, muito pelo insucesso das picadas de prova, frente a rigidez dos tecidos já em senescência (Figuras 1).

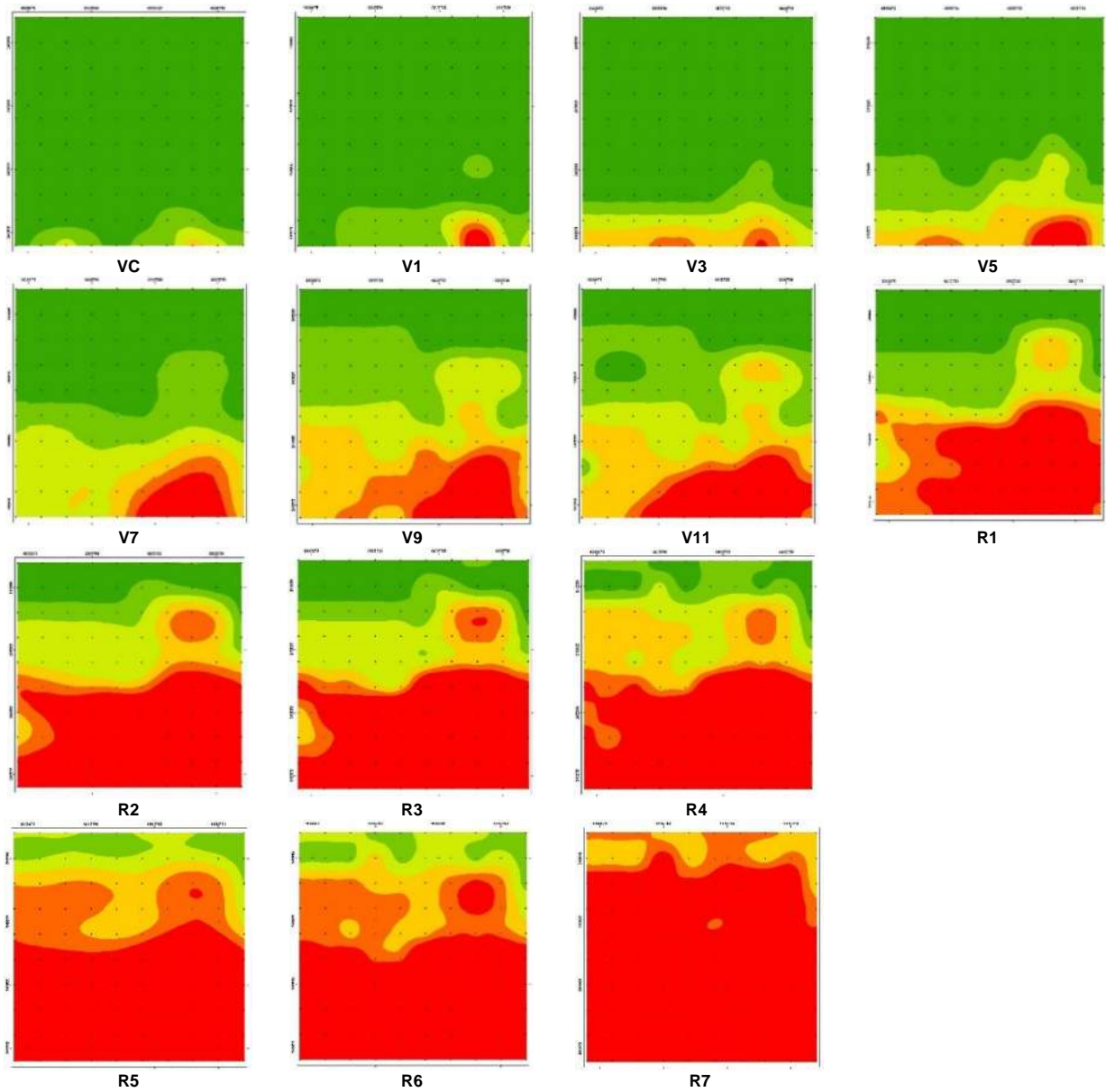
Verifica-se que a população de *E. heros*, embora esteja presente na lavoura, tende a se concentrar próximo a borda (parte inferior da imagem) em maior população do que nas áreas que fazem limite com a cultura da soja. Conforme Costa e Link (1982) a dispersão de insetos, tanto de formas imaturas quanto de adultas, é uma característica inerente a todas as espécies, onde em uma dispersão, elas se movimentam livremente impelidas por diversos motivos, sendo que os movimentos ocorrem devido à capacidade natural de sobrevivência ligada a necessidades fisiológicas de cada espécie.

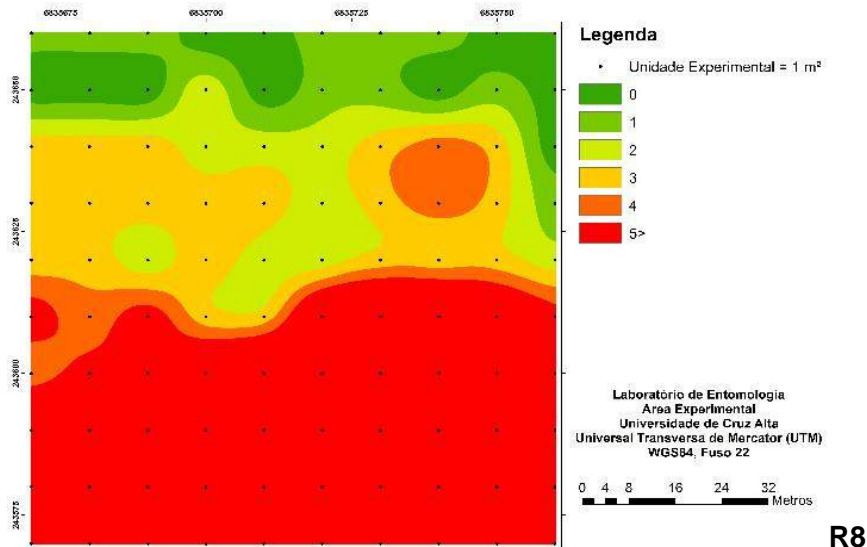
No manejo integrado de insetos-praga, o conhecimento da bioecologia dos organismos é parâmetro para se estabelecer estratégias de supressão populacional (NARANJO et al., 2015). A dispersão da população de *E. heros* se associada ao manejo integrado de insetos-praga torna-se uma informação importante a ser considerada, principalmente nos métodos de amostragem, com o uso das bordaduras das áreas de cultivo como um fator de tomada de decisão para medidas de supressão populacional. Verifica-se também, que a partir do grid de amostragem nos diferentes estágios de desenvolvimento, as amostragens podem ser tomadas da borda em direção ao centro da área de cultivo, estabelecendo-se com isso, faixas de tomada de decisão e faixas de manejo (Figuras 1).

Essas informações colaboram para o estabelecimento de medidas locais de supressão populacional dos insetos-praga, onde o conhecimento do fluxo populacional aliado a geostatística representam para *E. heros* um valioso conjunto de ferramentas que demonstraram o padrão de sua variabilidade espaço-temporal (SCIARRETTA & TREMATERRA, 2014). Constatado o padrão de variabilidade espacial e a respectiva dinâmica populacional, verifica-se, que ações supressivas podem ser tomadas dès da emergência da cultura até o desenvolvimento da cultura com manejo localizado, promovendo uma quebra na dinâmica e conseqüentemente na densidade populacional.

A manutenção das populações de pentatomídeos fitófagos depende da ocorrência sucessiva de plantas hospedeiras e da presença de um hibernáculo favorável (PANIZZI, 1997). A quebra desta sucessão de plantas hospedeiras pode influenciar na redução da população de organismos nocivos aos cultivos.

Figura 1 – Densidade populacional de *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae) em diferentes estádios de desenvolvimento. UNICRUZ, Cruz Alta, RS.





## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A população de *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae), embora esteja presente na lavoura, tende a se concentrar próximo a borda em maior população do que nas áreas que fazem limite com a cultura da soja.

A infestação de *E. heros* inicia a partir do estágio VC, chegando ao seu pico populacional no estágio R7.

A partir da definição da variabilidade espacial de *E. heros* é possível definir regiões na área de cultivo para se estabelecer medidas de supressão populacional.

## REFERÊNCIAS

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Soja, safra 2016/2017. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_05\\_12\\_10\\_37\\_57\\_boletim\\_graos\\_mai\\_2017.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_05_12_10_37_57_boletim_graos_mai_2017.pdf). Acesso em: 23/08/2017.

CORRÊA-FERREIRA, B. S. Suscetibilidade da soja a percevejos na fase anterior ao desenvolvimento das vagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p. 1067-1072, 2005.

COSTA, E. C.; LINK, D. Dispersão de adultos de *Piezodorus guildinii* e *Nezara viridula* (Hemiptera: Pentatomidae) em soja. **Ciência Rural**, v. 12, n. 1, p. 51-57, 1982.

DUARTE, F. et al. Geostatistics and geographic information systems to study the spatial distribution of *Grapholita molesta* (Busck)(Lepidoptera: Tortricidae) in peach fields. **Neotropical Entomology**, v. 44, n. 4, p. 319-327, 2015.

FARIAS, P. R. S. et al. Spatial analysis of the distribution of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith)(Lepidoptera: Noctuidae) and losses in maize crop productivity using geostatistics. **Neotropical Entomology**, v. 37, n. 3, p. 321-327, 2008.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Cooperative Extension Service, Agriculture and Home Economics Experiment Station, Iowa State University, Ames, Iowa. 1977.

GUNDOGDU, K.S.; GUNEY, I. Spatial analyses of groundwater levels using universal kriging. **Journal of Earth System Science**, v.116, p.49-55, 2007.

- HOWE, G. A.; JANDER, G. Plant Immunity to insect herbivores. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 41-66, 2008.
- JOHNSON, K et al. **ArcGIS 9: using ArcGIS geostatistical analyst**. Redlands: ESRI, 2001. 306p.
- KLEIN, J. T. et al. Occurrence of diapause and the role of *Andropogon bicornis* (Poaceae) tussocks on the seasonal abundance and mortality of *Tibraca limbativentris* (Hemiptera: Pentatomidae). **Florida Entomologist**, v. 95, n. 4, p. 813-818, 2012.
- LANDIM, P. M. B.; YAMAMOTO, J. K. **Geoestatística – conceitos e aplicações**. Oficina de textos. 2013. 210p.
- PANIZZI, A. R. et al. Insetos que atacam vagens e grãos. In: HOFFMANN-CAMPO C. B. et al. (eds). **Soja: Manejo Integrado de Insetos e outros Artrópodes-Praga**. Brasília: Embrapa. Cap. 5, p. 335-420, 2012.
- PANIZZI, A. R.; LUCINI, T. What Happened to *Nezara viridula* (L.) in the Americas? Possible Reasons to Explain Populations Decline. **Neotropical Entomology**, [s.l.], v. 45, n. 6, p.619-628, 2016.
- PASINI, M. B. P. et al. Semivariogram models for estimating fig fly population density throughout the year. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 7, p. 493-505, 2014.
- PASINI, M. B. P, et al. Densidade populacional de pentatomídeos em plantas hospedeiras no Rio Grande do Sul. In: XXI Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão. Universidade de Cruz Alta, Cruz Alta, RS. 2016. p. 1-8.
- NARANJO, S. E. et al. Economic value of biological control in integrated pest management of managed plant systems. **Annual review of entomology**, v. 60, p. 621-645, 2015.
- REAY-JONES, F. P. F. et al. Spatial dynamics of stink bugs (Hemiptera: Pentatomidae) and associated boll injury in southeastern cotton fields. **Environmental Entomology**, v. 39, n. 3, p. 956-969, 2010.
- REAY-JONES, F.P. Spatial distribution of stink bugs (Hemiptera: Pentatomidae) in wheat. **Journal of Insect Science**, v. 14, n. 1, p. 92-98, 2014.
- SCIARRETTA, A.; TREMATERRA, P. Geostatistical tools for the study of insect spatial distribution: practical implications in the integrated management of orchard and vineyard pests. **Plant Protection Science**, v. 50, n. 2, p. 97-110, 2014.
- SCIARRETTA, A.; TREMATERRA, P. Geostatistical tools for the study of insect spatial distribution: practical implications in the integrated management of orchard and vineyard pests. **Plant Protection Science**, v. 50, n. 2, p. 97-110, 2014.
- SILVA, T. A. DA et al. Condicionamento fisiológico de sementes de soja, componentes de produção e produtividade. **Ciência Rural**, v.46, n.2, p.227-232, 2016.
- SMANIOTTO, L. F.; PANIZZI, A. R. Interactions of selected species of stink bugs (Hemiptera: Heteroptera: Pentatomidae) from leguminous crops with plants in the Neotropics. **Florida Entomologist**, v. 98, n. 1, p. 7-17, 2015.
- SOSA-GÓMEZ, D.R. et al. Insecticide resistance to endosulfan, monocrotophos and metamidophos in the neotropical brown stink bug, *Euschistus heros* (Fabr.). **Neotropical**



**Entomology**, v. 30, p. 317-320, 2001.

WEBSTER, R.; OLIVER, M.A. **Geostatistics for environmental scientists** (Second Edition). John Wiley. & Sons, Ltd., 2007. 315p.

YAMAMOTO J.K; LANDIM P.M.B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de textos, 2013, 215p.

ZHENG, S.; DICKE, M. Ecological genomics of plant-Insect interactions: from gene to community. **Plant Physiology**, v. 146, n. 3, p. 812-817, 2008.

ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solo para o mapeamento da fertilidade do solo**. Botucatu, UNESP, 2001. 114p. (Tese - Livre Docência).

## VARIABILIDADE ESPACIAL DE MACRONUTRIENTES E RECOMENDAÇÃO A TAXA VARIADA EM UM GRAMADO DE FUTEBOL

*Space variability of macronutrients and recommendation of the variable rate  
in a football layer*

Diandra Pinto Della Flora <sup>1</sup>, Antônio Luis Santi <sup>2</sup>, Andervan Amaral <sup>3</sup>, Alencar Zachy da Fonseca <sup>4</sup>,  
Luís Felipe Rossetto Gerlach <sup>5</sup>, Eduardo Somavilla Manfio <sup>6</sup>, Ezequiel Zibetti Fornari <sup>7</sup>  
<sup>1,2,6,7</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Linha 7 de setembro s/n, 98400-000, Frederico Westphalen –  
RS, Brasil, [diandradellaflora@gmail.com](mailto:diandradellaflora@gmail.com), [santi\\_pratica@yahoo.com.br](mailto:santi_pratica@yahoo.com.br),  
[eduardomanfio99@gmail.com](mailto:eduardomanfio99@gmail.com), [ezequiel.fornari@yahoo.com.br](mailto:ezequiel.fornari@yahoo.com.br)

<sup>3</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Linha Mambuca, 98290-000, Condor – RS, Brasil, [ap@agroplan-rs.com.br](mailto:ap@agroplan-rs.com.br)

<sup>4</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Rua do Comercio 1131, 98410-000, Taquaruçu do Sul – RS, Brasil, [alencarzf@hotmail.com](mailto:alencarzf@hotmail.com)

<sup>5</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Av. São João Batista 1190, 98330-000, Novo Barreiro – RS, Brasil, [lfelipeross@hotmail.com](mailto:lfelipeross@hotmail.com)

### RESUMO

A agricultura de precisão permite a caracterização dos diferentes atributos do solo de forma detalhada no espaço e no tempo. Entretanto, essa tecnologia não se limita apenas a agronomia, podendo ser aplicada a outras áreas como a esportiva na caracterização da fertilidade do solo em gramados de futebol. O presente trabalho teve por objetivo a aplicação a taxa variada de fertilizantes em um gramado de futebol. O estudo foi conduzido no gramado do Esporte Clube Itapagé, a área foi dividida em um *grid* amostral de 10x7 m, totalizando 100 pontos amostrais, onde foram realizadas as coletas de solo. Os atributos do solo analisados foram fósforo (P) e potássio (K). Para a caracterização espacial, foram gerados mapas temáticos dos atributos do solo e mapas de correção para P e K. A utilização de ferramentas de AP foi útil para a caracterização dos atributos do solo no gramado de futebol previamente estabelecidos e a aplicação de fertilizantes a taxa variada foi satisfatória. P e K apresentaram alta e média variabilidade espacial respectivamente, necessitando de correção em taxa variável. As ações resultantes desta pesquisa podem contribuir para o manejo dos gramados de futebol do Brasil.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão. Mapas de correção. Variabilidade.

### ABSTRACT

Precision agriculture allows the characterization of the different soil attributes in a detailed way in space and time. However, this technology is not only limited to agronomy, but can be applied to other areas such as sports in the characterization of soil fertility in soccer lawns. The objective of this work was to apply variable rates of fertilizers on a soccer lawn. The study was conducted on the lawn of Esporte Clube Itapagé and the area was divided into grids sampling of 10x7 m, totaling 100 sampling points, where the soil samples were collected. The soil attributes analyzed were phosphorus (P) and potassium (K). For spatial characterization were generated thematic maps of soil attributes and maps for P and K correction. The use of AP tools were useful for the characterization of soil attributes in the soccer lawn previously established and the variable rate application of fertilizer was satisfactory. P and K presented high and medium spatial variability respectively, requiring a variable rate correction. The actions resulting from this research can contribute to the management of soccer lawns in Brazil.

**Keywords:** Precision agriculture. Correction maps. Varied.

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Silva et al., (2007), o futebol exerce uma grande influência sobre a sociedade do ponto de vista do entretenimento, uma vez que é considerado o esporte mais popular do Brasil. Além disso, esse esporte contribui positivamente com a economia do país quando leva-se em consideração os clubes e entidades esportivas envolvidas, as empresas de vestuário, os artigos e equipamentos utilizados, eventos promovidos, alimentação, transporte,

hotelaria, entre outros. Segundo Gonçalves (2012), estima-se que a participação do futebol corresponda a 0,8% do PIB do Brasil, num total de 34,8 bilhões de reais.

Devido a importância do esporte, deve-se considerar a qualidade do gramado para o bom desempenho de uma partida (SILVA, 2005), de forma que os gramados devam apresentar condições ideais para a prática do esporte de modo a não comprometer a saúde dos atletas nem prejudicar o espetáculo futebolístico no caso de haver gramados desuniformes e irregulares.

Atualmente no Brasil não há recomendação específica de fertilizantes para gramados de futebol, tanto para implantação quanto para manutenção, sendo necessário o uso de recomendações empíricas com pouca base científica, devido a poucos trabalhos científicos publicados nesta área (MATEUS & CASTILHO, 2012).

Neste sentido, cabe salientar que os gramados exigem atenção especial quanto ao manejo da fertilidade do solo para a sua implantação e manutenção, como qualquer outra planta, carecendo assim, de cuidados quanto às recomendações de fertilizantes.

Dessa forma, as tecnologias existentes na área da agricultura e ainda as provenientes da AP podem ser utilizadas na formação e manutenção dos gramados, associados às técnicas de manejo variável, como adubação a taxa variada, com o intuito de uniformizar as características químicas, físicas e biológicas do solo nesse sistema.

Segundo Dodermann & Ping (2004), uma das práticas de AP mais utilizadas é a aplicação a taxa variável de fertilizantes, que tem por objetivo aplicar no local correto (espaço) e no momento adequado (tempo), as quantidades necessárias de insumos. Com base na variabilidade do solo dentro de um campo, a aplicação de fertilizantes em taxa variável tem potencial de reduzir sub e super fertilizações e, como consequência, melhorar a eficiência no uso de fertilizantes, o rendimento das culturas e o lucro líquido da propriedade (FIEZ et al., 1994).

A aplicação de AP em gramados esportivos pode ser considerada semelhante a utilizada em lavouras comerciais, entretanto, devido a delimitação espacial existente, a micro variabilidade passa a ser mais importante que a macro variabilidade espacial. Assim, o manejo químico do solo a partir de mapas temáticos de atributos do solo e ainda a aplicação a taxa variada surgem como uma estratégia para diminuir custos e garantir a qualidade do gramado e, conseqüentemente, o maior rendimento dos atletas.

Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a necessidade de aplicação de fertilizantes a taxa variada em um gramado de futebol, com base nos mapas de variabilidade espacial dos atributos químicos do solo.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em um gramado de futebol situado entre as coordenadas geográficas 27°21'40.87" S de latitude e 53°24'20.10" O de longitude, no município de Frederico Westphalen, RS. O gramado pertence ao Esporte Clube Itapagé e vem sendo utilizado pelo União Frederiquense de Futebol (clube que disputa a segunda divisão do Campeonato Gaúcho), e possui dimensões de 100 m de comprimento x 70 m de largura.

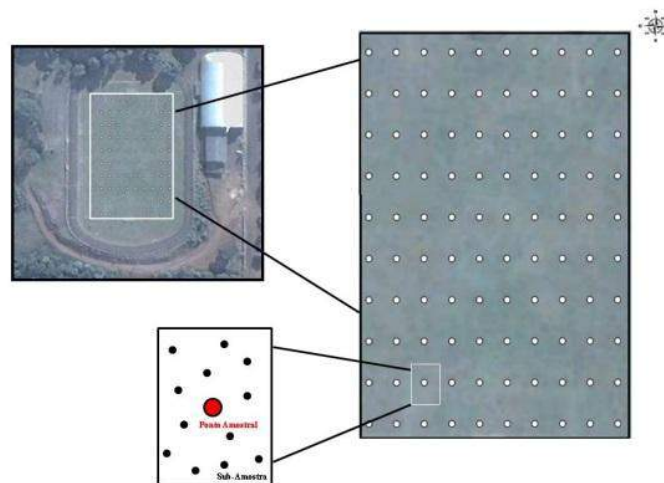
O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, com altos teores de argila, atingindo mais de 60% (EMBRAPA, 2007). O clima da região segundo a classificação de Koppen é do tipo Cfa – temperado chuvoso, com precipitação média anual elevada, oscilando entre 1.800 e 2.100 mm, distribuída regularmente ao longo do ano. A temperatura média anual gira em torno de 18°C, com temperaturas máximas no verão podendo ultrapassar os 40°C e temperatura mínima no inverno atingindo valores inferiores a 0°C (MORENO, 1961).

O manejo empregado na área não incluía a aplicações de corretivos e fertilizantes, restringindo-se apenas, a realização de cortes da grama antecedendo os jogos (dados obtidos a partir de relatos de pessoas colaboradoras no manejo do campo). O gramado é composto por várias espécies de grama, sendo elas a Grama Esmeralda (*Zoysia japonica Steud.*), Grama

Bermuda (*Cynodon dactylon*), Grama São Carlos (*Axonopus compressus*), Grama Batatais (*Paspalum Notatum*).

A demarcação da área experimental foi obtida por meio de aparelho de GPS de navegação portátil, marca Garmin®, modelo Legend. Para proceder à amostragem georreferenciada de solo, utilizou-se uma malha amostral de 10 m x 7 m, demarcada manualmente, totalizando assim, 100 pontos amostrais. A coleta das amostras foi procedida com auxílio de um amostrador do tipo rosca sem fim (furadeira) acoplada em um quadriciclo automatizado e acionado por meio de sistema hidráulico. Cada amostra foi composta por 12 subamostras, sendo estas coletadas num raio de aproximadamente 5 m do ponto georreferenciado (Figura 1). A profundidade de amostragem foi de 0,10 m.

Figura 3 - Detalhe da área com os 100 pontos amostrais e metodologia de amostragem do solo em cada ponto da grade amostral. Frederico Westphalen - RS, 2014.



Cada amostra coletada, contendo aproximadamente 0,5 Kg de solo foi devidamente identificada e encaminhada ao laboratório de solos da Universidade Federal de Santa Maria *campus* de Frederico Westphalen, onde foram analisadas. Os atributos do solo analisados foram: fósforo (P) e potássio (K).

Para à caracterização espacial, foram gerados mapas temáticos dos atributos do solo e mapas de correção (aplicação). Para a correção dos teores de P, utilizou-se o fertilizante formulado a base de Super Fosfato Triplo (SFT), com 41% de  $P_2O_5$  enquanto que para a correção dos níveis de K, utilizou-se o fertilizante formulado a base Cloreto de Potássio (KCL) com 58% de  $K_2O$ . As aplicações de SFT e KCL foram realizadas manualmente, considerando a taxa média necessárias da quadricula de cada amostra.

A análise geoestatística foi realizada por meio de semivariogramas experimentais (VIEIRA, 2000), sendo os ajustes realizados por meio de modelos teóricos (esférico, exponencial, gaussiano e linear) utilizando-se o programa computacional Gamma Design Software – GS+ (ROBERTSON, 1998). O ajuste dos modelos foi realizado com base no melhor coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e na menor soma de quadrados do resíduo (SQR), e foi confirmado pela técnica de validação cruzada. Do ajuste de um modelo matemático aos dados, foram definidos os seguintes parâmetros: efeito pepita (C0), contribuição (C1), patamar (C0+C1) e alcance (a). O índice de dependência espacial (IDE) foi calculado por meio da equação:  $IDE = [C0/(C0+C1)]*100$ . Com base nos IDE, classificou-se o grau de dependência espacial (GDE) como: forte, para  $IDE \leq 25\%$ ; moderado, para IDE entre 25 e 75%; e fraco, para  $IDE > 75\%$  (CAMBARDELLA et al., 1994).

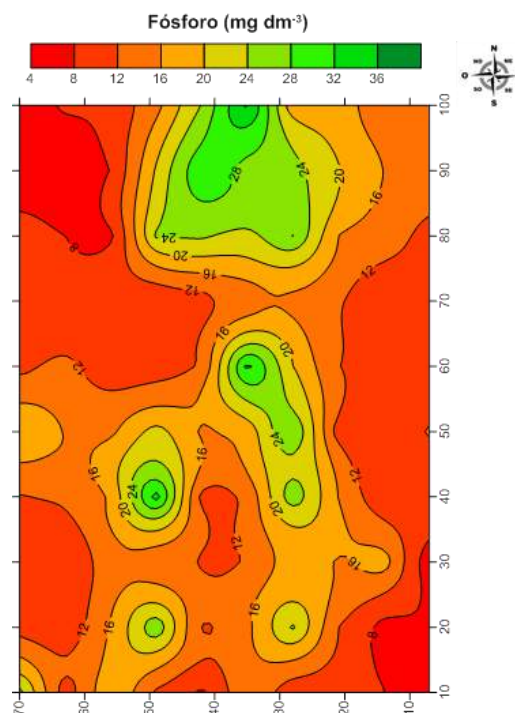
Depois de analisar os semivariogramas dos dados e sendo observada a dependência espacial entre as amostras, utilizou-se o software SURFER 11® para a espacialização dos resultados por meio de mapas temáticos. O interpolador utilizado foi a krigagem ordinária,

levando-se em conta os parâmetros do semivariograma (modelo ajustado, efeito pepita, alcance e patamar) determinados pela análise geoestatística.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No gramado estudado, os teores de P apresentaram grande variação, através da amostragem em malha realizada, o que evidencia existir locais com teores abaixo do nível crítico para este nutriente (considerando sistema plantio direto), havendo a necessidade de correção, bem como, locais com teores acima dos níveis críticos considerados (Figura 2).

Figura 2 - Variabilidade espacial dos teores de Fósforo no gramado de futebol estudado. Frederico Westphalen, RS, 2014.



Não existem no Brasil tabelas específicas para recomendação de P em gramados implantados. No Alabama, EUA, as doses de P recomendadas para as gramas bermuda, esmeralda e santo agostinho variam de 0, 45 e 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, para condições de alto (26 – 50 mg dm<sup>-3</sup>), médio (13 – 25 mg dm<sup>-3</sup>) e baixos teores (7 – 12 mg dm<sup>-3</sup>) de P no solo, respectivamente (COLLEGE OF AGRICULTURE, 2003). Dessa forma, tem-se utilizado como referência uma média das várias tabelas de interpretação existente nos EUA, mesmo levando-se em consideração a diferença dos solos americanos para os brasileiros. Segundo estas recomendações, teores acima de 15 mg dm<sup>-3</sup> de P no solo são considerados adequados. Esta recomendação foi usualmente convencionada para as condições brasileiras uma vez que este valor está próximo do utilizado para pastagens (GODOY & VILLAS BÔAS, 2006).

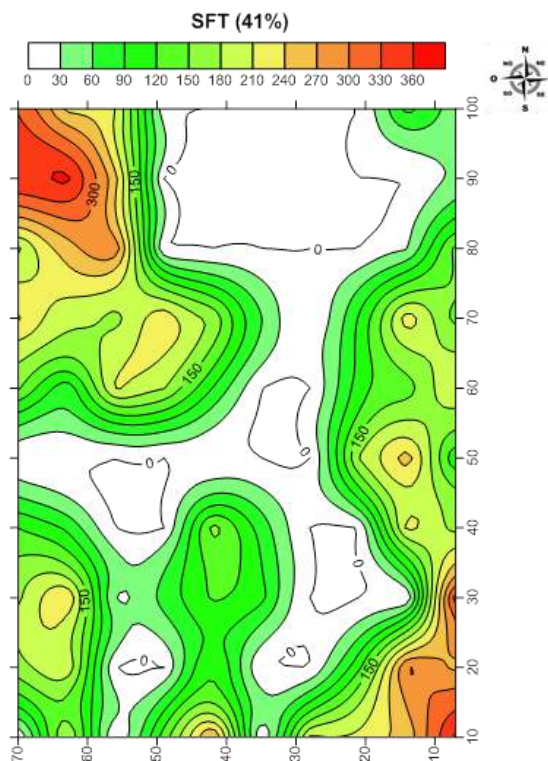
Uma vez que o P possui baixa mobilidade no solo, ocorre, de forma mais intensa, o fenômeno de adsorção específica, em que o fósforo fica fortemente retido aos óxidos (ferro e alumínio) e argilominerais presentes no solo, tornando-se indisponível as plantas. Sabe-se ainda que isso ocorre de forma mais intensa em solos de textura argilosa, como os Latossolos, que recobrem um terço do território brasileiro (SANTI et al., 2013). Dessa forma, devido o local de estudo ser um gramado de futebol, é importante preconizar pela aplicação o mais próximo das raízes, para que se reduza a distância de deslocamento por difusão do íon fosfato até o

contato com as mesmas (SANTOS, 2011). Como vantagem a esta situação, tem-se o fato de que o sistema radicular de gramíneas é bastante denso e ocupa boa parte da superfície do solo (GODOY & VILLAS BÔAS, 2006).

Godoy et al. (2007) estudando cinco doses de  $P_2O_5$  (0, 25, 50, 75 e 100  $kg\ ha^{-1}$ ) e diferentes formas de aplicação em áreas de produção de tapetes de grama esmeralda, em um latossolo vermelho Eutrófico com 26% de argila e 16  $mg\ dm^{-3}$  de P, observou que houve ajuste da taxa de cobertura para a formação do tapete em função da dose de  $P_2O_5$  a partir dos 138 dias após a adubação fosfatada, independente do modo de aplicação. Até 82 dias após a adubação não se verificou resposta, sugerindo que a quantidade de P presente inicialmente no solo (16  $mg\ dm^{-3}$ ) foi suficiente para promover o crescimento. A partir dos 138 dias, a resposta às doses foi linear, aumentando o recobrimento foliar em 16% com a aplicação de 100  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ . Estudos realizados por Hall et al. (1974) e Hylton et al. (1965) indicaram que a aplicação de P aumentou o crescimento da parte aérea e de raízes em gramados estabelecidos.

Com a verificação da variabilidade espacial, foram então proposta correções para os para os teores de no campo de futebol (Figura 3).

Figura 3 - Mapa de aplicação de  $P_2O_5$  (na forma de SFT) no gramado de futebol estudado. Frederico Westphalen, RS, 2014.



Para o P a recomendação foi gerada com o objetivo de elevar os níveis de P no solo a 15  $mg\ dm^{-3}$ , teor que tem sido convencionado (a partir de recomendações americanas) como adequado para as condições brasileiras por estar próximo dos níveis utilizado para o cultivo de pastagens (GODOY & VILLAS BÔAS, 2006). Para determinação das quantidades a serem aplicadas adotou-se as metodologias descritas por Santi (2007) e Cubilla (2005), em que para elevar 1mg de P no solo é necessária a aplicação de 15 kg de  $P_2O_5$ . Para as correções de P, procedeu-se a aplicação utilizando-se fertilizante mineral a base superfosfato triplo (SFT), com 41% de  $P_2O_5$ .

Segundo Christians (1998), a grande influência do P para gramados está relacionado

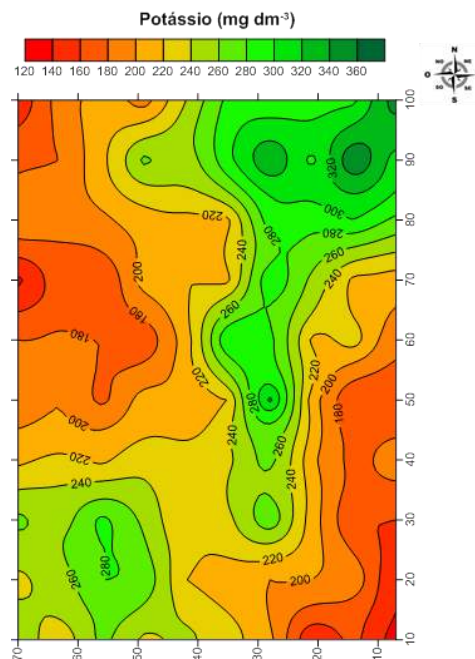
com crescimento e desenvolvimento de raízes, desempenhando importante papel para o afilhamento de gramíneas (WERNER, 1986). Em solos onde existe deficiência deste nutriente, além de haver redução na taxa de crescimento do sistema radicular, podem ocorrer restrições ou deficiências na absorção, assimilação e translocação de nitrogênio (N) e K nas plantas (GNIAZDOWSKA et al., 1999) afetando diretamente o desenvolvimento do gramado.

Com a redução da taxa crescimento radicular do gramado, o mesmo se torna mais suscetível a estresses como estiagem, frio, calor, pragas, pisoteio e doenças. Segundo Werner (1986), os sintomas de deficiência visuais de P são notados na parte aérea, através de uma coloração verde escura sem brilho, com tons roxos na nervura central das folhas mais velhas, seguido de amarelecimento das bordas.

Sabe-se que o potássio (K) é o segundo nutriente mais extraído em um gramado esportivo, sendo que a quantidade extraída varia dentre outros fatores, da intensidade de uso do gramado. Para um gramado com uso moderado e com uma produção média de  $5 \text{ t ha}^{-1}$  de matéria seca, são extraídos cerca de  $45 \text{ kg ha}^{-1}$  de K (GODOY & VILLAS BÔAS, 2006). Assim, a redução nos níveis de K no solo em gramados de futebol ocorre principalmente pelo corte da grama, seguida da remoção dos resíduos vegetais do local, impedindo o retorno do K para o solo por meio da mineralização (GODOY, 2005).

No gramado estudado, os teores de K também apresentaram variação, através da amostragem em malha realizada, o que mostra a necessidade de correção (Figura 4).

Figura 4 - Variabilidade espacial dos teores de Potássio no gramado de futebol estudado. Frederico Westphalen, RS, 2014.

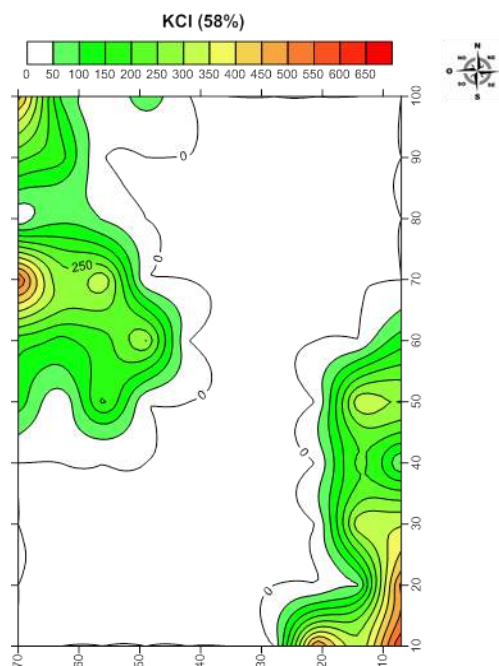


O potássio está diretamente relacionado ao controle osmótico das plantas, regulando a abertura e o fechamento de estômatos. Assim gramados com um bom estado nutricional de K podem regular melhor a abertura e fechamento dos estômatos de modo a permitir maior entrada de  $\text{CO}_2$  e reduzir as perdas de vapor de água em função da redução na disponibilidade de água nos solos (GODOY & VILLAS BÔAS, 2006). Diferentemente de outros nutrientes como é o caso do P, o K não interfere no crescimento vegetativo da parte aérea e das raízes, estando diretamente relacionado aos mecanismos de estresse da planta. Por este motivo, muitas vezes não são observados efeitos da aplicação de potássio sobre o crescimento de gramados, embora este nutriente possa aumentar a produção de carboidratos e aumentar a resistência aos patógenos (CHRISTIANS, 1998).

Christians et al. (1979), relataram que foi necessário mais K para maximizar a qualidade da grama Kentucky Bluegrass (*Poa pratensis* L.) do que para obter o máximo crescimento. Essa melhoria na qualidade pode estar diretamente relacionada ao papel exercido pelo K em relação à composição da membrana celular das plantas e na espessura das paredes celulares, o que confere maior proteção contra patógenos, aumenta a tolerância à seca, ao excesso de umidade, ao frio, ao calor e ao pisoteio (SANTOS, 2011). Kiesling (1980), objetivando verificar o efeito do K no estado nutricional e na longevidade de rizomas de um gramado com gramada Bermuda (*Cynodon dactylon*) em solo com baixos teores de K, verificaram que a formação e a longevidade de novos rizomas foram diretamente relacionada à aplicação de K, o que consequentemente refletiu na durabilidade do gramado.

Com a verificação da variabilidade espacial, foram então proposta correções para os para os teores de no campo de futebol (Figura 5). Para o K a correção foi estipulada com o objetivo de elevar os níveis a  $200 \text{ mg dm}^{-3}$ . Para tal utilizou-se as metodologias propostas por Wendling (2005) e Santi (2007), onde para elevar  $1 \text{ mg}$  de K no solo são necessários à aplicação de  $5 \text{ kg}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ . O fertilizante mineral utilizado foi à base de cloreto de potássio (KCL), com 58% de  $\text{K}_2\text{O}$ .

Figura 5 - Mapa de aplicação de  $\text{K}_2\text{O}$  (na forma de KCL) no gramado de futebol estudado. Frederico Westphalen, RS, 2014.



De modo geral, o nível crítico de P para o campo de futebol estudado é de  $9 \text{ mg dm}^{-3}$ , enquanto que o nível crítico de K é de  $90 \text{ mg dm}^{-3}$ . No entanto, como não existem recomendações exclusivas para gramados no Brasil, em especial na região sul, o ideal é elevar os nutrientes do solo a níveis muito altos ou próximos disso, assim como tem sido feito por empresas, cooperativas e profissionais que trabalham com a AP em lavouras comerciais no estado do Rio Grande do Sul. Como justificativa, tem-se os resultados obtidos pelos produtores nestes locais, sendo que lavouras que receberam metas de correção dos nutrientes a níveis elevados, tem se mostrado mais produtivas e, portanto, mais sustentáveis em longo prazo. Outra justificativa proposta por Camara (2006) é de que campos esportivos que recebem intensa utilização necessitam que os níveis de nutrientes do solo sejam mantidos sempre no ápice, para que a grama tenha máxima condição de se recuperar do pisoteio excessivo.

A utilização das ferramentas de agricultura de precisão foram de extrema importância



para a caracterização dos atributos do solo em um gramado de futebol previamente estabelecido. As ações resultantes desta pesquisa foram realizadas visando às condições ideais para a prática de futebol neste gramado, preservando a integridade física dos atletas, contribuindo com os conhecimentos das ciências agrárias.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os atributos químicos P e K apresentaram alta e média variabilidade espacial respectivamente, necessitando de correção em taxa variável.

## REFERÊNCIAS

CAMARA F. **Adubação em gramados esportivos**. III SIGRA – Simpósio Sobre Gramados. Unesp – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu SP, 21 - 23 de março de 2006.

CHRISTIANS, N. E.; **Fundamental of turfgrass management**, Chelsea, MI: Arbor Press, 1998, 301p.

COLLEGE OF AGRICULTURE. **Soil test fertilizer recommendations for Alabama crops**. Auburn University, 2003. 13p.

CUBILLA A. M. M. **Calibração visando recomendação de fertilização fosfatada para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai**. 2005. 160p. Dissertação de Mestrado em Ciências do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

DODERMANN, A.; PING, J. L. **Geostatistical integration of yield monitor data and remote sensing improves yield maps**. Agronomy Journal, Madison, v. 96, n. 1, p. 285-297, sep. 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 306p, 2007.

FIEZ, T. E.; MILLER, B. C.; PAN, W. L. **Assessment of spatially variable nitrogen fertilizer management in winter wheat**. Journal of Production Agriculture, Madison, v. 7, n.1, p. 86-93, may, 1994.

GODOY L. J. G. de; VILLAS BÔAS R. L. **Calagem e adubação para produção de tapetes de grama**. III SIGRA – Simpósio Sobre Gramados. Unesp – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu SP, 21 - 23 de março de 2006.

GODOY, L. J. G. **Adubação nitrogenada para produção de tapetes de grama Santo Agostinho e Esmeralda**. 2005. 109 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual de Paulista, Botucatu, 2005.

GONÇALVES E.; **O tamanho do esporte brasileiro**. 2012, Disponível em: <<http://globoesporte.globo.com/platb/olharcronicoesportivo/2012/09/19/o-tamanho-do-esporte-brasileiro/>>. Acesso em 15 setembro de 2017.

GNIAZDOWSKA, A.; KRAWCZAK, A.; MIKULSKA, M. & RYCHTER, A.M. **Low phosphorus nutrition alters beans plants' ability to assimilate and translocate nitrate**. J. Plant Nut., 22:551-563, 1999.

HALL, J. R.; MILLER, R. W. **Effect of phosphorus season and method of sampling on foliar analysis of Kentucky Bluegrass**. In: INTERNATIONAL TURFGRASS RES. CONF., 2, 1973, Proceedings...E.C. Roberts, ed. American Society of America, Madison, WI, 1974, p.155-171.

HYLTON, L. O.; ULRICH, A.; CORNELIUS, D. R.; OKHI, K. **Phosphorus nutrition of Italian ryegrass relative to growth, moisture content, and mineral constituents**. Agronomy Journal, v.57, p.505-508, 1965.

KIESLING, T. C.; **Bermudagrass rhizome initiation and longevity under differing potassium nutritional levels**. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*.1980.11: 629-635.

MATEUS, C.M.D.; CASTILHO, R.M.M. **Adubação de manutenção em grama-esmeralda**. Tecnologia. & Ciências. Agropecuaria. João Pessoa, v.6, n.2, p.11-16, jun. 2012.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Secção de Geografia, 1961. 46 p.

ROBERTSON, G. P. **GS+: geostatistics for the environmental sciences**. Versão 5.03. Beta, Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152p.

SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. 2007. 175p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SANTI, A. L. ; CORASSA, G. M. ; CHERUBIN, M. R. ; CASTRO, D. M. ; BISOGNIN, M. B. . **Adubação de base a lanço em pré-semeadura: Tendência na Agricultura de Precisão**. Campo & Negócios, v. nº128, p. 46-49, 2013.

SANTOS J. C. E. F. **Adubação nitrogenada e calagem na produção de gramas Esmeralda e Bermuda**. 2011. 110p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2011.

SILVA, F. M. et al. **Variabilidade espacial de atributos químicos e da produtividade na cultura do café**. Ciência Rural, n.37, p.401-407, 2007.

SILVA, S. B. da. **Resumo da história do futebol**. Outubro de 2005. Disponível em:< [http://www.campeoesdofutebol.com.br/hist\\_futebol.html](http://www.campeoesdofutebol.com.br/hist_futebol.html)> Acesso em: 19 de Dezembro de 2016.

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds). Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, 352p. p. 1-54.

WENDLING, A. **Recomendação de nitrogênio e potássio para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai**. 2005. 160p. Dissertação de Mestrado em Ciências do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

WERNER, J. C. **Adubação de pastagens**. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1986. 49p. (IZ. Boletim Técnico, 18).

# VARIABILIDADE ESPACIAL DO ÍNDICE DE TEMPERATURA E UMIDADE EM CENÁRIOS DE MUDANÇA CLIMÁTICA NO RS

## *Spatial variability of temperature and moisture index in climate change scenarios in RS*

Zanandra Boff de Oliveira<sup>1</sup>, Eduardo Leonel Bottega<sup>2</sup>, Clarissa Moraes da Silva<sup>3</sup>, Irajá  
Jantsch de Souza<sup>4</sup>, Tiago Tondolo Link<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Universidade Federal de Santa Maria, campus de Cachoeira do Sul, Rua Ernesto Barros, 1345,  
96506-322, Cachoeira do Sul – RS, Brasil, [zanandraboff@gmail.com](mailto:zanandraboff@gmail.com)

### RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo calcular o Índice de Temperatura e Umidade (ITU) e analisar a sua variabilidade nas diferentes regiões do RS, em cenários de mudança climática. Os dados meteorológicos utilizados como referência para o "cenário atual" foram medidos em 27 municípios do estado, no período entre 1961 a 1990, obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para a criação dos cenários de mudança climática, foram acrescentados 0,5°, 1,5° e 3° C, na temperatura máxima (Tmax) (médias do período de 1961-1990), para os meses de verão (dezembro, janeiro, fevereiro e março). O ITU apresentou dependência espacial com correlação significativa negativa entre os valores de altitude, indicando que, locais de menor altitude apresentam maiores valores do índice. O estresse térmico por calor (ITU>74) atinge uma área superior a 70% do RS, que pode aumentar para 100%, se houver o acréscimo de 1,5 e 3°C na temperatura do ar, conforme os prognósticos de mudança climática global. Diante disso, a espacialização do ITU nas diferentes regiões, pode ser usada como um indicativo para a adoção de medidas de acondicionamento térmico ambiental no estado do Rio Grande do Sul, que propiciem um melhor conforto térmico animal.

**Palavras-chave:** Índices de conforto térmico. Variabilidade espacial. Geostatística.

### ABSTRACT

The present work had as objective to calculate the Temperature and Humidity Index (ITU) and to analyze its variability in the different RS regions, in scenarios of climate change. The meteorological data used as reference for the "current scenario" were measured in 27 municipalities of the state, from 1961 to 1990, obtained from the National Institute of Meteorology (INMET). For the creation of climate change scenarios, 0.5° C, 1.5° and 3° C were added at the maximum temperature (Tmax) (averages from the period 1961-1990), for the summer months (december, january, february and march). The ITU presented spatial dependence with a significant negative correlation between the altitude values, indicating that, at lower altitude, higher values of the index. Heat stress (ITU> 74) reaching an area greater than 70% of RS, which can increase to 100% if there is an increase of 1.5 and 3 °C in air temperature, according to the forecasts of global climate change. Therefore, the spatialisation of the ITU in the different regions can be used as an indicator for the adoption of environmental thermal conditioning measures in the state of Rio Grande do Sul, which provide better thermal comfort.

**Keywords:** Thermal comfort indexes. Spatial variability. Geostatistics.

## 1 INTRODUÇÃO

A produção animal e de derivados animais é de grande importância para o agronegócio brasileiro, sendo fonte relevante de divisas para o país. Neste contexto, insere-se a bioclimatologia, ciência que estuda as relações entre os animais e o clima, sendo necessário, portanto, informações precisas sobre o clima e animais, abrangendo o conhecimento dos elementos meteorológicos, das respostas fisiológicas e comportamentais dos animais, visando sempre a garantia do bem-estar animal e aumento de sua produtividade (YANAGI JUNIOR, 2006). De acordo com Abreu e Abreu (2011), dentre os desafios da ambiência sobre os sistemas para a criação de aves no Brasil, entra o diagnóstico bioclimático da microrregião de produção ou implantação de novos sistemas.

O ambiente térmico engloba os efeitos da radiação solar, temperatura do ar (Tar), umidade

relativa do ar (UR) e velocidade do vento (v.v) (FALCO, 1997; BAËTA e SOUZA, 2010), sendo a combinação Tar com a UR, a principal condicionante para conforto térmico, pois comprometem a manutenção da homeotermia, uma função vital alcançada por meio de processos sensíveis e latentes de perda de calor (TINÔCO, 2001; OLIVEIRA et al., 2006).

O principal índice utilizado para prever o desconforto e conforto térmico dos animais em determinadas condições ambientais, é o índice de temperatura e umidade (ITU), sendo calculado a partir dos efeitos combinados da Tar e da UR (INGRAHAM et al., 1979; BUFFINGTON et al., 1982; GANTNER et al., 2011; HERBUT e ANGRECKA, 2012; HIGASHIYAMA et al., 2013). O ITU apresenta grande potencial para ser utilizado em trabalhos de avaliação do risco climático (BROWN-BRANDL et al., 2005; KLOSOWSKI et al., 2002)

O estudo de índices que apontam o conforto térmico é cada vez mais importante, em face aos prognósticos de mudança climática global, visto que, as projeções do Quinto Relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) apontam que a Terra sofrerá um aumento da temperatura média das superfícies de 0,9 a 1,7 °C nos cenários mais otimista, e, de 2,6 a 4,8 °C no cenário mais pessimista até o ano 2100 (IPCC, 2013).

Paula et al. (2012), discutindo os impactos da mudança climática na produção animal, traz que serão necessários maiores investimentos no controle de temperatura nas instalações, principalmente para os monogástricos, que estiverem na zona tropical. Já, os animais em zonas temperadas, possivelmente, serão beneficiados com a temperatura ambiente se aproximando mais da zona de termoneutralidade. Para Sirohi e Michaelowa (2007), as mudanças no clima podem intensificar o estresse térmico em decorrência de alterações no balanço de energia térmica entre o animal e o ambiente, o qual é influenciado pelos fatores ambientais (radiação, temperatura, umidade relativa e velocidade do vento) e mecanismos de termorregulação (condução, radiação, convecção e evaporação).

Portanto, é relevante avaliar os impactos dessa possível mudança climática no conforto térmico animal, no intuito de prever medidas mitigatórias. Neste sentido, o uso da geoestatística contribui para compreensão da espacialização do conforto e desconforto térmico em diferentes locais, pois de acordo com Yamamoto e Landim (2013), os métodos geoestatísticos fornecem um conjunto de técnicas necessárias para entender a aparente aleatoriedade dos dados, o quais apresentam uma possível estruturação espacial, estabelecendo, desse modo, uma função de correlação espacial.

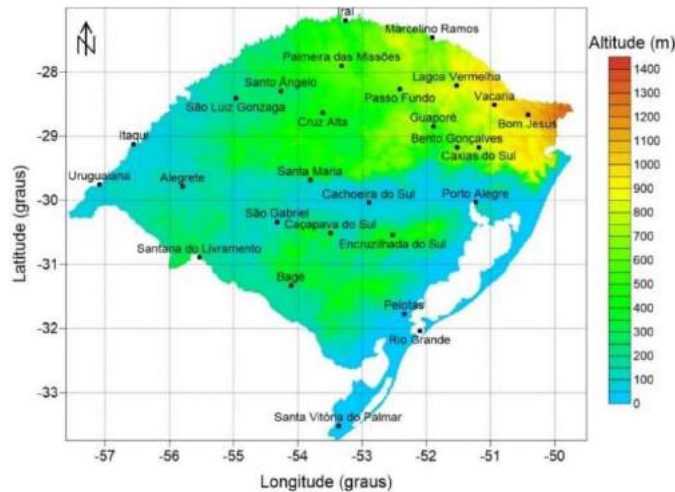
Assim, o presente trabalho teve como objetivo calcular o ITU e analisar a sua variabilidade nas diferentes regiões do RS, em cenários de mudança climática.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado para os meses de verão (dezembro, janeiro, fevereiro e março), em vinte e sete municípios do estado do Rio Grande do Sul, localizados em diferentes regiões. Na Figura 1 é apresentado o mapa de localização, bem como os municípios avaliados no estudo.

Os dados meteorológicos médios, mensais de temperatura máxima do ar (Tmax) e umidade relativa mínima do ar (URmin), utilizados para o cálculo do ITU na situação de máximo desconforto térmico, foram obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2017), referentes ao período de 1961 a 1990 (última Normal Climatológica disponível), valores estes considerados como "cenário atual". Para a criação dos cenários de mudança climática, foram acrescentados 0,5°, 1,5° e 3° C na Tmax. A partir desses novos valores Tmax, calculou-se os valores de URmin. Para isso, a pressão de vapor de saturação de vapor ( $e_s$ ) foi calculada na Tmax e a pressão real de vapor ( $e_a$ ), foi estimada considerando a Tmin com a temperatura de ponto de orvalho.

Figura 1 - Mapa do estado do Rio Grande do Sul e localização geográfica dos municípios estudados.



O ITU foi calculado para quatro cenários: ITU atual (dados históricos); ITU + 0,5°C (dados históricos + 0,5°C); ITU + 1,5°C (dados históricos + 1,5°C) e ITU + 3,0°C (dados históricos + 3,0°C), conforme demonstrado na Equação 1, proposta por Buffington et al. (1982):

$$ITU = \frac{0,8 T_{max} + UR_{min} (T_{max} - 14,3)}{100 + 46,3} \quad (1)$$

Onde:

ITU = índice de temperatura e umidade, adimensional;

Tmax= temperatura máxima do ar, média do mês °C;

URmin = umidade relativa mínima do ar, média do mês (%).

Para a análise dos resultados considerou a seguinte escala de ITU: ITU < 74 (conforto adequado); ITU ≤ 74 < 79 (ambiente quente); ITU ≤ 79 < 84 (ambiente muito quente); ITU ≥ 84 (ambiente extremamente quente). A delimitação das classes foi adaptada de Souza et al. (2010).

Os dados de ITU e de altitude foram digitados em uma planilha do Excel® que serviu de base para as análises estatísticas e geoestatísticas. Em um primeiro momento foi realizada análise estatística descritiva, a fim de caracterizar a dispersão (variância, desvio padrão e coeficiente de variação,) e a posição (média, mediana, valor mínimo e valor máximo). Testou-se a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk e o coeficiente de correlação de Pearson ao nível de significância de 5%. Posteriormente realizou-se análise geoestatística, objetivando verificar a existência e mensurar a magnitude da dependência espacial dos parâmetros estudados.

A dependência espacial foi avaliada pelos ajustes de variogramas, pressupondo a estacionaridade da hipótese intrínseca, definida pela equação 2.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i) - z(x_{i+h})]^2 \quad (2)$$

Onde:

$\hat{\gamma}(h)$  = Semivariância em função da distância de separação (h) entre pares de pontos;

h = Distância de separação entre pares de pontos, m;

$N(h)$  = Número de pares experimentais de observações  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i + h)$  separados por uma distância  $h$ .

Foram testados os modelos gaussiano, esférico e exponencial. Desse modo, ajustou-se o modelo teórico de semivariância que melhor representou a semivariância experimental. Para a escolha do modelo de melhor ajuste, adotou-se como parâmetro o menor valor da soma de quadrados do resíduo (SQR) e o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ), bem como análise de validação cruzada, que corresponde a relação entre valores observados versus valores estimados. O índice de dependência espacial (IDE), que é a proporção em porcentagem do efeito pepita ( $C_0$ ) em relação ao patamar ( $C_0 + C$ ), foi calculado de acordo com CAMBARDELLA et al. (1994), e apresenta a seguinte proporção: dependência espacial forte, semivariogramas que têm um efeito pepita menor ou igual a 25% do patamar, moderada quando está entre 25 e 75% e fraca quando for maior que 75%.

Uma vez detectada a dependência espacial, produziu-se o mapa temático da distribuição espacial do atributo por meio de krigagem ordinária, onde cada ponto da superfície é estimado a partir da interpolação das amostras mais próximas, utilizando um estimador estatístico com base no variograma. Para as estimativas de valores em locais não amostrados, utilizou-se 16 vizinhos próximos e um raio de busca igual ao valor do alcance encontrado no ajuste do variograma.

A estimativa de valores em locais não amostrados, utilizando krigagem ordinária, descrita por TRANGMAR et al. (1985), como o valor interpolado  $\hat{Z}(x_0)$  de uma variável regionalizada  $Z$ , num local  $x_0$  pode ser determinada de acordo com a Equação 3.

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n [\lambda_i Z(x_i)] \quad (3)$$

Onde:

$\hat{Z}(x_0)$  = Valor estimado para local  $x_0$  não amostrado;

$Z(x_i)$  = valor obtido por amostragem no campo;

$n$  = número de amostras vizinhas;

$\lambda_i$  = pesos aplicados em cada  $Z(x_i)$ , sendo gerados por um estimador BLUP (*best linear unbiased predictor*), descrito por ROBINSON (1991) como estimadores lineares não viciados e de mínima variância.

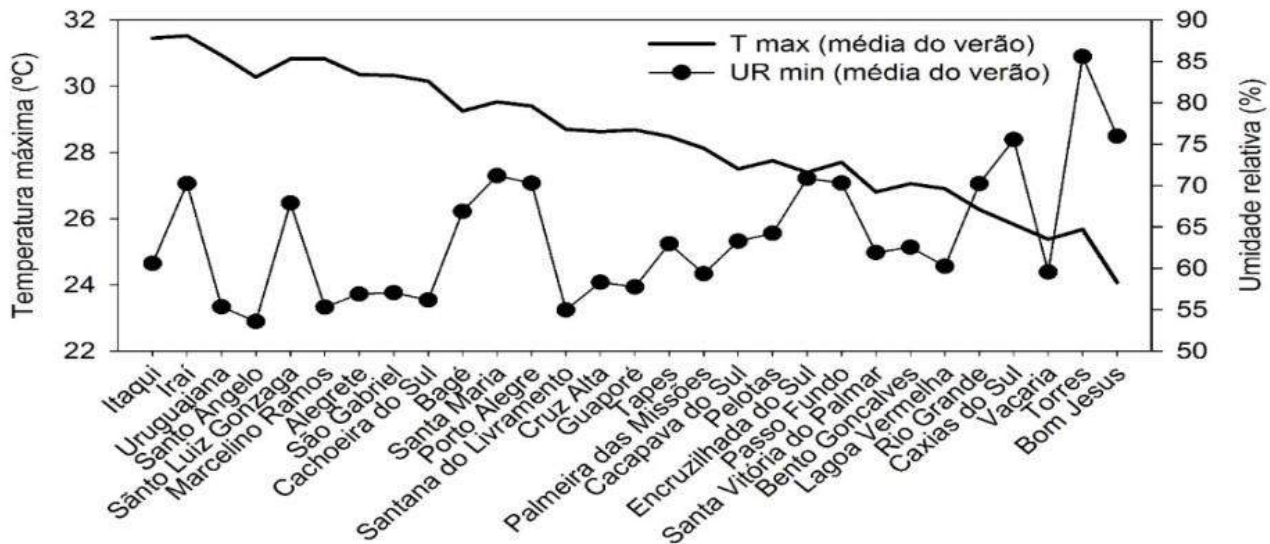
A construção do estimador  $\hat{Z}(x_0)$ , na krigagem ordinária, não requer o conhecimento inicial da média estacionária da amostragem (LANDIM, 1998), mas requer que a soma dos pesos seja igual a 1 (UZUMAKI, 1994). Ainda, de acordo com UZUMAKI (1994), o sistema de Krigagem Ordinária tem solução única se o modelo de variograma for válido. A krigagem, além de ser um estimador não tendencioso, é um interpolador exato, isto é, se o ponto a ser estimado coincidir com um dos pontos amostrados, o valor estimado deverá ser igual ao valor amostrado.

A análise de correlação de Pearson foi realizada utilizando o programa computacional Statistica, versão 7. A análise geoestatística e confecção dos mapas temáticos foram realizadas utilizando o programa computacional GS+, versão 9.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 2, pode-se observar os valores médios do período da Tmax e da URmin verificados para os diferentes municípios avaliados. As variáveis Tmax e URmin demonstraram relação inversamente proporcional, uma vez que com a diminuição da Tmax observou o aumento da URmin. O cruzamento das variáveis ocorreu nos municípios de Lagoa Vermelha e Vacaria.

Figura 2 – Valores médios (dezembro a março) de temperatura máxima do ar e umidade relativa mínima do ar, verificados para diferentes municípios do RS.



Verifica-se que a Tmax segue um padrão em função da altitude do local, sendo os menores valores em altitudes mais elevadas, como é o caso dos municípios localizados nas regiões noroeste e nordeste (Figura 1) e os maiores valores, observados em locais de menor altitude, como é o caso dos municípios localizados nas regiões centro oriental e sudoeste (Figura 1). Cargnelutti et al. (2006) concluíram que, para o estado do Rio Grande do Sul, a altitude exerce maior influência que a latitude na temperatura média decenal do ar. Todavia, existem outros fatores climáticos que influenciam na Tmax e URmin, além da altitude, como é o caso da continentalidade ou maritimidade, que predomina nos municípios de Pelotas, Rio Grande e Santa Vitória do Palmar, amenizando a Tmax e elevando a URmin (Figura 2).

Os municípios de Itaqui, São Luiz Gonzaga, Bagé, Santa Maria e Porto Alegre, além de possuírem Tmax elevada (>28°C) possuem URmin alta (> 65%), o que aumenta o estresse térmico por calor. Esta condição ambiental de elevada umidade relativa do ar e temperatura é prejudicial ao animal no que tange à perda de calor para o ambiente, especificamente nos mecanismos não evaporativos (condução, convecção e irradiação) que se tornam ineficientes (PEREIRA, 2005; SILVA, 2000; BAÊTA e SOUZA, 2010).

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados, respectivamente, os parâmetros referentes aos ajustes dos semivariogramas e análise de validação cruzada. Dentre os modelos avaliados, o modelo exponencial foi o que melhor ajustou à semivariância experimental observada para o ITU, na maioria dos cenários simulados. Em três cenários o modelo esférico foi ajustado. O menor valor de alcance observado foi de 156,68 km e o maior 853,40. O alcance da dependência espacial é um parâmetro importante para a interpretação dos semivariogramas porque indica a distância máxima até onde os pontos amostrais estão correlacionados entre si, ou seja, quanto maior o alcance, maior a homogeneidade entre as amostras (VIEIRA et al., 2010). O erro padrão de predição, ou seja, a incerteza associada à estimativa de valores em locais não amostrados, variou de 1,55 a 2,40 (Tabela 2). Considerando que cada intervalo para classes de ITU representa variação igual a 5, um erro de 2,40 pode ser considerado elevado. Este valor pode ser explicado em função da baixa quantidade de pontos amostrais disponíveis para geoespacialização do ITU por todo o estado do Rio Grande do Sul.

Tabela 1 – Parâmetros dos semivariogramas teóricos referente à modelagem da dependência espacial para os valores de ITU e teste de normalidade de Shapiro-Wilk's.

ITU	Meses	w <sup>(1)</sup>	Parâmetros geoestatísticos						
			Modelo	a <sup>(2)</sup>	C <sub>0</sub> +C <sup>(3)</sup>	C <sub>0</sub> <sup>(4)</sup>	IDE <sup>(5)</sup>	SQR <sup>(6)</sup>	R <sup>2(7)</sup>
Atual	Dezembro	0,47 <sup>ns</sup>	Exponencial	224,46	8,79	0,39	F	15,5	0,71
	Janeiro	0,66 <sup>ns</sup>	Exponencial	245,56	0,79	0,56	M	8,28	0,80
	Fevereiro	0,79 <sup>ns</sup>	Exponencial	241,13	6,79	1,24	F	6,28	0,71
	Março	0,90 <sup>ns</sup>	Exponencial	266,69	4,43	1,29	M	3,24	0,60
+0,5°C	Dezembro	0,57 <sup>ns</sup>	Esférico	853,40	9,33	1,16	F	4,37	0,90
	Janeiro	0,12 <sup>ns</sup>	Exponencial	320,02	8,59	0,29	F	6,14	0,85
	Fevereiro	0,09 <sup>ns</sup>	Exponencial	205,57	5,76	0,21	F	4,81	0,78
	Março	0,26 <sup>ns</sup>	Exponencial	164,46	5,25	0,01	F	2,98	0,84
+1,5°C	Dezembro	0,48 <sup>ns</sup>	Esférico	754,50	6,62	1,21	F	3,45	0,85
	Janeiro	0,11 <sup>ns</sup>	Exponencial	211,13	5,40	0,30	F	2,90	0,83
	Fevereiro	0,08 <sup>ns</sup>	Exponencial	191,13	5,57	0,10	F	4,89	0,77
	Março	0,25 <sup>ns</sup>	Exponencial	160,01	5,14	0,01	F	2,99	0,83
+3,0°C	Dezembro	0,39 <sup>ns</sup>	Exponencial	156,68	5,95	0,01	F	5,68	0,79
	Janeiro	0,10 <sup>ns</sup>	Esférico	706,72	8,18	0,71	F	1,91	0,96
	Fevereiro	0,06 <sup>ns</sup>	Exponencial	240,02	6,21	0,10	F	1,59	0,93
	Março	0,20 <sup>ns</sup>	Exponencial	205,57	5,55	0,27	F	1,23	0,94

<sup>1</sup>p-valor teste de normalidade de Shapiro-Wilks (p>0,05); <sup>2</sup>Alcance (km); <sup>3</sup>Patamar; <sup>4</sup>Efeito pepita; <sup>5</sup>Índice de dependência espacial (F: Forte; M: Moderado); <sup>6</sup>Soma de quadrados do resíduo; <sup>7</sup>Coeficiente de determinação.

Tabela 2 - Parâmetros da análise de validação cruzada referentes ao ajuste dos semivariogramas teóricos para os valores de ITU.

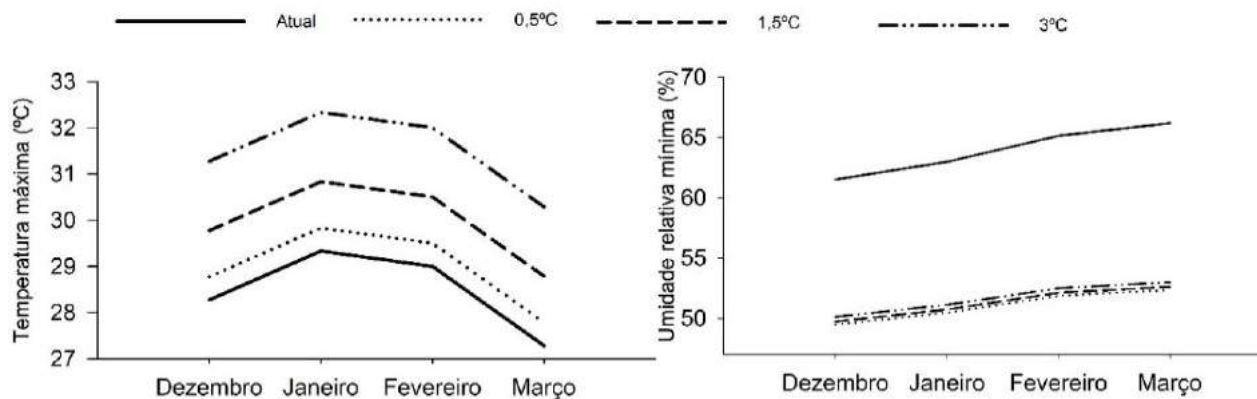
ITU	Meses	Parâmetros da análise de validação cruzada			
		CR <sup>(1)</sup>	Y <sup>(2)</sup>	EPP <sup>(3)</sup>	R <sup>2</sup>
Atual	Dezembro	0,66	26,62	2,40	0,18
	Janeiro	0,72	22,60	2,27	0,22
	Fevereiro	0,63	29,21	2,16	0,13
	Março	0,58	32,19	1,75	0,11
+0,5°C	Dezembro	0,98	1,41	1,79	0,48
	Janeiro	0,95	4,35	1,68	0,53
	Fevereiro	0,92	6,81	1,63	0,45
	Março	0,81	14,46	1,61	0,44
+1,5°C	Dezembro	0,91	7,02	1,78	0,36
	Janeiro	0,87	10,89	1,66	0,40
	Fevereiro	0,91	7,26	1,61	0,45
	Março	0,79	16,58	1,64	0,41
+3,0°C	Dezembro	0,78	17,54	1,85	0,43
	Janeiro	0,95	4,41	1,68	0,51
	Fevereiro	0,89	9,06	1,64	0,42
	Março	0,97	2,29	1,55	0,47

<sup>1</sup>Coeficiente de regressão; <sup>2</sup>Intercepto; <sup>3</sup>Erro padrão de predição



O acréscimo da temperatura do ar nos cenários de mudança climática, resulta em uma diminuição na UR min do ar (Figura 3). Os efeitos dessa combinação de aumento da Tmax e redução da URmin no ITU, pode ser visualizado na figura 4, em que estão apresentados os mapas temáticos do ITU para o estado do RS.

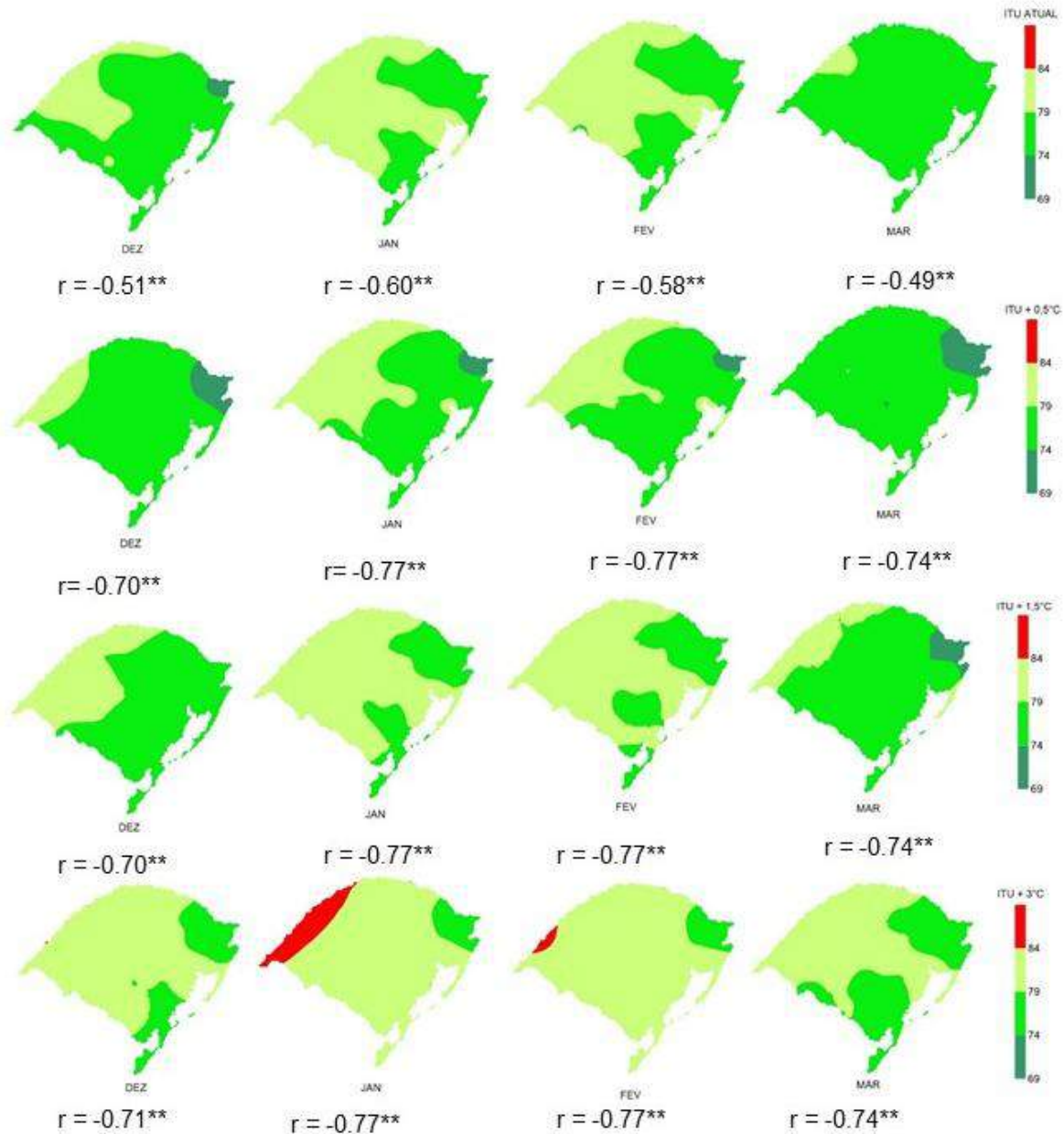
Figura 3 – Valores médios dos vinte e sete municípios de temperatura máxima do ar e umidade relativa mínima do ar, verificados nos meses de verão no RS, em cenários de mudança climática.



O ITU apresentou dependência espacial com correlação significativa negativa entre os valores de altitude, indicando que, locais de menor altitude apresentam maiores valores de ITU (Figura 4). Assim, o ITU foi superior a 79 (ambiente muito quente) nos municípios situados em altitude entre 1 e 400 m, com exceção aos municípios de Rio Grande e Pelotas, que estão nessa faixa de altitude, mas por serem municípios litorâneos, possuem uma Tmax mais amena. Nos demais municípios situados em altitude entre 400 e 971 m, o ITU é indicativo de ambiente quente (ITU>74). Já, no município de Bom Jesus, situado na altitude de 1046 m, a sensação é de conforto térmico nos meses de verão (ITU<74).

Observar-se que o estresse térmico por calor atinge a maior parte do território do RS no verão, sobretudo em janeiro e fevereiro devido à maior Tar nesses meses. Avaliando os cenários de mudança climática, verifica-se no cenário "ITU + 0,5°C", que a redução da UR med compensa o acréscimo de 0,5°C na Tmax, aumentando a área do estado em que o ITU é de conforto térmico (ITU < 74). Já, nos cenários "ITU + 1,5 e 3,0 °C" essa redução da URmin que ocorre com o acréscimo da temperatura, não compensa o aumento da temperatura, ocorrendo um aumento das áreas do estado ocupadas pelo ITU na faixa do desconforto térmico (ITU>74), chegando a valores extremos (ITU >84) em municípios localizados na região Sudoeste do estado. Do mesmo modo, Da Silva et al. (2010), estudando cenários de mudanças climáticas e seus impactos na produção leiteira em estados nordestinos, observaram por meio do ITU, que o estresse térmico será intensificado nos três estados, tanto nos meses mais quentes (dezembro a fevereiro) como nos mais frios (junho a agosto).

Figura 4 - Mapas temáticos do ITU referente aos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março para o estado do Rio Grande do Sul. r: coeficiente de correlação de Pearson entre ITU e altitude; \*\* significativo ao nível de 5% de probabilidade



A espacialização do ITU nas diferentes regiões, pode ser usada como um indicativo para a adoção de medidas de acondicionamento térmico ambiental no estado do Rio Grande do Sul, que propiciem um melhor conforto térmico aos animais de exploração zootécnica. Grego; Vieira (2005), ressaltam que as construções de mapas com os valores obtidos por meio de krigagem são importantes para a verificação e interpretação da variabilidade espacial. Bottega et al. (2013), destacam que a análise geoestatística dos dados é completada com as informações mostradas nos mapas, que são úteis nas tomadas de decisões.

A maior parte do território do estado do RS está sob estresse térmico por calor no período de verão, o que poderá ser agravado com o acréscimo de temperatura previsto devido a mudança climática, conforme demonstra a figura 4. Motivo pelo qual, recomenda-se medidas que propiciem uma melhoria no conforto térmico animal, tais como: as edificações para confinamento de animais de exploração zootécnica, deverão ser projetadas com materiais e técnicas construtivas, que

minimizem o estresse térmico por calor, como o uso de pé-direito mais elevado, pintura da face externa da cobertura em branco, instalações que priorizem sistemas de ventilação (natural ou mecânica/ natural + mecânica). Para animais criados a campo, deve-se disponibilizar sombras. De acordo com Pastal et al., (2015), o fornecimento de sombra é considerado um método muito eficaz para garantir conforto térmico das vacas leiteiras criadas a pasto, podendo ser sombra natural ou artificial.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ITU apresentou dependência espacial com correlação significativa negativa entre os valores de altitude, indicando que, locais de menor altitude apresentam maiores valores do índice.

No verão, estresse térmico por calor (ITU>74) atinge uma área superior a 70% do RS que pode aumentar para 100% havendo o acréscimo de 1,5 e 3°C na temperatura do ar, conforme os prognósticos de mudança climática global.

A espacialização do ITU nas diferentes regiões, pode ser usada como um indicativo para a adoção de medidas de acondicionamento térmico ambiental no estado do Rio Grande do Sul, que propiciem um melhor conforto térmico animal.

## REFERÊNCIAS

ABREU, V. M. N.; ABREU, P. G. Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.1-14, 2011 (supl. especial).

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: Conforto animal**. 2.Ed. Viçosa: EDUFV, 2010, 269p.

BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SOUZA, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.

BUFFINGTON, D. E.; COLLIER, R. J.; CANTON, G. H. Shede management systems to reduce heat stress for dairy cows. St. Joseph: **American Society of Agricultural Engineers**, 16p. PAPER 82-4061, 1982.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

CARGNELUTTI FILHO, A; MALUF, J. R T; MATZENAUER, R; STOLZ, Á. P. Altitude e coordenadas geográficas na estimativa da temperatura mínima média decendial do ar no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 893-901, 2006. IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **The Physical Science Basis**. Disponível em: <[https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WGIAR5\\_SPM\\_brochure\\_en.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WGIAR5_SPM_brochure_en.pdf)>. Acesso em: 04 set. 2017.

DA SILVA, THIERES GF, et al. Cenários de mudanças climáticas e seus impactos na produção leiteira em estados nordestinos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi** 14.8 (2010).

FALCO, J. E. **Bioclimatologia animal**. Lavras: UFLA, 1997. 57 p.

GANTNER, V.; MIJIĆ, P.; KUTEROVAC, K.; SOLIĆ, D.; GANTNER, R. Temperaturehumidity index values and their significance on the daily production of dairy cattle. **Mljekarstvo**, v.61, n.1, pg. 56-63, 2011.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 02, p. 169-177, 2005.

HERBUT, P; ANGRECKA S. Forming of temperature-humidity index (THI) and milk production of cows in the free-stall barn during the period of summer heat. **Animal Science Papers and Reports**, n.30, p.363–372, 2012.

HIGASHIYAMA, H.; IKEDA, K.; KOMATSU, T.; FUKASAWA, M. Welfare of lactating Holstein cows under outdoor grazing and indoor housing in relation to temperature and humidity in summer in Japan. **Livestock Science**. p 86-91, v 155, 2013.

INGRAHAM, R.H.; STANLEY, R.W.; WAGNER, W.C. Seasonal effects of tropical climate on shaded and non-shaded cows as measured by rectal temperature, adrenal cortex hormones, thyroid hormone, and milk production. **American Journal of Veterinary Research**, Chicago, v.40, p.1792-7, 1979.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>>. Acesso em: 04 set. 2017.

LANDIM, P.M.B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo, Ed. UNESP, 1998. 226p.

OLIVEIRA, R. M; DONZELE, J. L.; ABREU DE, M. L.T.; FERREIRA, R. O.; VAZ, R. G. M. V.; CELLA, P. S. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.35, n.3, p.797-803, 2006.

PAULA, E.J.H. et al. Mudanças climáticas e impacto na produção animal. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, Londrina, V. 6, N. 30, Ed. 217, Art. 1445, 2012.

PASTAL, D.; CRISTO, A. B. DE; FUJISAWA, F. M.; MAIER, G.S.; GUIRRO, E. C.B. P. Papel do sombreamento no conforto térmico de vacas leiteiras criadas a pasto – revisão de literatura. **Veterinária em Foco**, v. 12, n. 2 (2015).

PEREIRA, C.C.J., 2005. Fundamentos de Bioclimatologia Aplicados à Produção Animal. Belo Horizonte: FEPMVZ. SILVA, G.R., 2000. **Introdução à Bioclimatologia Animal**. São Paulo - Ed.:Nobel.

ROBINSON, G.K. That BLUP is a good thing: the estimation of random effects. **Statistical Science**, v.6, p. 15-51, 1991.

SIROHI, S.; MICHAELOWA, A. Sufferer and cause: Indian livestock and climate change. **Climatic Change**, v.100, p.120-134, 2007

SILVA, R. G. **Introdução à bioclimatologia animal**. São Paulo: Nobel, 2000. 286 p.

SOUZA, A; PAVÃO, H. G; LASTORIA, G; GABAS, S. G; CAVAZZANA, G. H; PARANHOS FILHO, A, C. Um estudo de conforto e desconforto térmico para o Mato Grosso do Sul. REA – **Revista de estudos ambientais (Online)**. v.12, n.2, p. 15-25, jul./dez. 2010.

TINÔCO, I. F. F. Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v.3, n.1, p.1-26, 2001.

TRAGMAR, B.B., YOST, R.S., UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v. 38, p. 45-94, 1985.

UZUMAKI, E.T. **Geoestatística multivariada: Estudo de métodos de predição**. Dissertação (Estatística – Instituto de Matemática, estatística e Ciência da Computação), UNICAMP, 1994. 104p.

YAMAMOTO, J.K.; LANDIM, P.M.B. **Geoestatística: Conceitos e Aplicações**. Editora Oficina de Textos, 215p, 2013.

YANAGI JUNIOR, T. Inovações tecnológicas na bioclimatologia animal visando aumento da produção animal: relação bem estar animal x clima. 2006. Artigo em Hypertexto

## VARIABILIDADE TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL DO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO – PE, ATRAVÉS DE DADOS NDVI DO LANDSAT - 8

*Temporal variability of vegetation cover in the municipality of São  
João – PE, through NDVI data from LANDSAT - 8*

Anderson Santos da Silva<sup>1</sup>, Micael Costa dos Santos<sup>2</sup>, Iuri Andrade de Melo<sup>3</sup>, Márcio da  
Silva Santos<sup>4</sup>, Mário Melquíades Silva dos Anjos<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,5</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco, Avenida Bom Pastor, s/n.º, Bairro Boa Vista, CEP:  
55292-270, Garanhuns – PE, Brasil, [andersonirrigacao@gmail.com](mailto:andersonirrigacao@gmail.com); [mcs.ufrpe@gmail.com](mailto:mcs.ufrpe@gmail.com);  
[iuri.andrade123@hotmail.com](mailto:iuri.andrade123@hotmail.com); [mario.melquiades@live.com](mailto:mario.melquiades@live.com)

<sup>4</sup> Universidade Federal de Santa Maria, UFSM. Avenida Roraima n.º 1000. Bairro Camobí, Santa  
Maria – RS, Brasil, [geoprural@gmail.com](mailto:geoprural@gmail.com)

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento da vegetação em dois períodos distintos em função das condições climáticas no município de São João – PE e demonstrar o potencial da biomassa vegetal em um dos maiores produtores de mandioca, feijão e pastagem para alimentação animal. Utilizando um software livre, o QGIS, foi realizado todo o processamento digital das imagens LANDSAT-8 e computado todos os valores espectrais do NDVI, observando assim na variabilidade temporal uma perda da vegetação devido ao recesso hídrico ocorrido nos últimos anos, mais de 50% do território foi afetado e conseqüentemente comprometendo as atividades econômicas do município. Em relação às duas épocas, para os valores do NDVI máximo, houve um acréscimo de 12,22% em relação aos anos de 2016 e 2017. A redução da biomassa vegetativa é resultado do crescimento imobiliário e ao grande período de estiagem nos últimos anos ocasionado pela má distribuição pluviométrica que vem ocorrendo na região e exploração ilegal da vegetação.

**Palavras-chave:** Índices. Clima. Geoprocessamento.

### ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the vegetation behavior in two distinct periods as a function of the climatic conditions in the municipality of São João - PE and to demonstrate the potential of the vegetal biomass in one of the largest producers of cassava, beans and pasture for animal feed. Using a free software, the QGIS, all the digital processing of the LANDSAT-8 images and all the spectral values of the NDVI were computed, thus observing in the temporal variability a loss of vegetation due to the water recession occurred in the last years, more than 50% of the territory was affected and consequently compromising the economic activities of the municipality. In relation to the two seasons, for the NDVI maximum values, there was an increase of 12.22% in relation to the years 2016 and 2017. The reduction of vegetative biomass is a result of real estate growth and the great dry season in recent years due to the poor rainfall distribution that has been occurring in the region and illegal exploitation of vegetation.

**Keywords:** Index. Climate. Geoprocessing.

## . 1 INTRODUÇÃO

Com o advento de informações geradas por técnicas de sensoriamento remoto, várias possibilidades, tais como o emprego de imagens de satélite aliadas aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Sistemas de Posicionamento Global (GPS), têm sido apontadas como possíveis de serem empregadas na previsão de safras, na estimativa de área cultivada e nos modelos de estimativa de produtividade das culturas.

Os sistemas de informações geográficos (SIG) viabilizam e facilitam a tomada de decisões no monitoramento de culturas agrícolas, mas problemas normalmente encontrados como dados incompletos ou redundantes com valores fora do domínio aceitável sem validação, dificultam a integralidade do banco de dados em um SIG.

Segundo Moreira (2000) o NDVI é o índice mais utilizado nos diversos estudos, sobre a

vegetação, que envolvem o uso dos dados de sensoriamento remoto, ele é computado pela diferença e a soma entre estas duas bandas do infravermelho próximo (IVP) e do vermelho (V), e visa eliminar diferenças sazonais do ângulo de elevação solar e minimizar os efeitos da atenuação atmosférica em imagens multitemporais. Os valores de NDVI computados variam de -1 a +1.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento da vegetação em dois períodos distintos em função das condições climáticas no município de São João – PE.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O local de estudo deste trabalho foi o município de São João – PE (08° 52' 33"S; 36° 22' 01"W) distante 206 km da capital pernambucana, altitude 716m, com clima tropical chuvoso e verão seco segundo a classificação climática de Köppen, solos predominantemente Latossolos Amarelos e Neossolos regolíticos (EMBRAPA, 2014) e área de 26.397,366 ha (IBGE, 2016).

Para este trabalho foram utilizadas, duas imagens do satélite LANDSAT-8, formato GeoTiff, projeção cartográfica UTM (Universal Transversa de Mercator) referente a Zona 24 hemisfério norte e Datum WGS 84/Brasil (Tabela 01), de diferentes épocas. Por apresentar significativa área de varredura de passagem do sensor, esta cena não abrangeu apenas o município de São João – PE, mas parte dos municípios que compõem a bacia leiteira do estado, como por exemplo, os municípios de São Bento do Una, Cachoeirinha, Lajedo, Garanhuns entre outros.

Tabela 1 - Características das imagens Landsat-8.

Órbita/Ponto	Data da Imagem	Resolução Espacial	Resolução Temporal
215/66	29/09/2016	30 m	16 dias
215/66	15/08/2017	30 m	16 dias

Para análise dos índices de vegetação, mais precisamente, o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) foram utilizadas apenas as bandas 4 e 5 correspondentes aos comprimentos de ondas do vermelho e infravermelho próximo respectivamente. Para facilitar a identificação e interpretação da vegetação.

Inicialmente foram reprojatadas as composições das bandas das imagens para o Datum SIRGAS 2000, oficial do Brasil, pois as imagens são disponibilizadas no Datum WGS 84.

Posteriormente, foi feita a correção radiométrica das bandas convertendo de número digital (ND) para valores de reflectância espectral através da equação 01:

$$\rho\lambda' = M\rho \cdot Q_{cal} + A\rho \quad (\text{Equação 01})$$

Onde:

$\rho\lambda'$  = É o valor de reflectância espectral no topo da atmosfera, sem correção por ângulo solar;

$M\rho$  = É o parâmetro multiplicativo específico por banda no metadados

(REFLECTANCE\_MULT\_BAND x), onde "x" é o número da banda específica;

$A\rho$  = É o parâmetro aditivo específico por banda no metadados

(REFLECTANCE\_ADD\_BAND x), onde "x" é o número da banda específica;

$Q_{cal}$  = É o produto padrão quantificado e calibrado para valores de pixel (ND).

Em seguida foi feita a correção atmosférica voltada para o ângulo de elevação solar conforme a equação 02:

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda'}{\sin(\theta_{SE})} \quad (\text{Equação 02})$$

Onde:

$\rho\lambda$  = É o valor de reflectância espectral no topo da atmosfera, com a correção por ângulo solar;

$\rho\lambda'$  = É o valor de reflectância espectral no topo da atmosfera, sem a correção por ângulo solar;  
 $\theta_{SE}$  = É o valor do ângulo de elevação solar obtido no metadados da imagem  
(SUN\_ELEVATION);

Após as análises realizadas nas imagens, foi utilizado um arquivo vetorial de formato *shapefile* do município de São João-PE, obtido no site do IBGE, sendo realizada a sobreposição deste arquivo com as imagens orbitais e posteriormente realizado o recorte do limite do município juntamente com os arquivos matriciais, para dar procedimento aos cálculos do índice de vegetação.

Com os valores de refletância espectral obtida para as bandas do infravermelho próximo e vermelho, foi possível calcular o NDVI através da equação 03 abaixo:

$$NDVI = \frac{(\rho_{IVP} - \rho_V)}{(\rho_{IVP} + \rho_V)} \quad (\text{Equação 03})$$

Onde:

**NDVI** = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;  
 **$\rho_{IVP}$**  = Reflectância espectral no infravermelho próximo;  
 **$\rho_V$**  = Reflectância espectral no vermelho.

Para interpretar os valores obtidos do recorte das imagens do NDVI, onde variam numa escala de -1 a +1 para os alvos terrestre de acordo com Rouse et al. (1973), foi utilizado uma renderização de falsa cor na paleta de cores RdylGn, valores de mínimo e máximo com precisão real, que vai do vermelho (para os valores negativos) até o verde (para os valores positivo) proporcionando diferenciar os vestígios de vegetação (plantio, pastagem, mata, etc) e de outros alvos terrestre (como solo exposto, água, etc.).

Todo processo digital das imagens foi realizado através do software livre QGIS versão 2.14.11 – Essen apresentado boa resposta como ferramenta para o geoprocessamento.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a Tabela 2 abaixo, segue os valores de NDVI máximo e mínimo para área estudada nas duas épocas observadas:

Tabela 2 - Valores de NDVI para as duas épocas de estudo em São João-PE.

NDVI	Setembro de 2016	Agosto 2017
Máximo	0,75359	0,85851
Mínimo	-0,30731	-0,34927

Fonte: Silva et al. 2017.

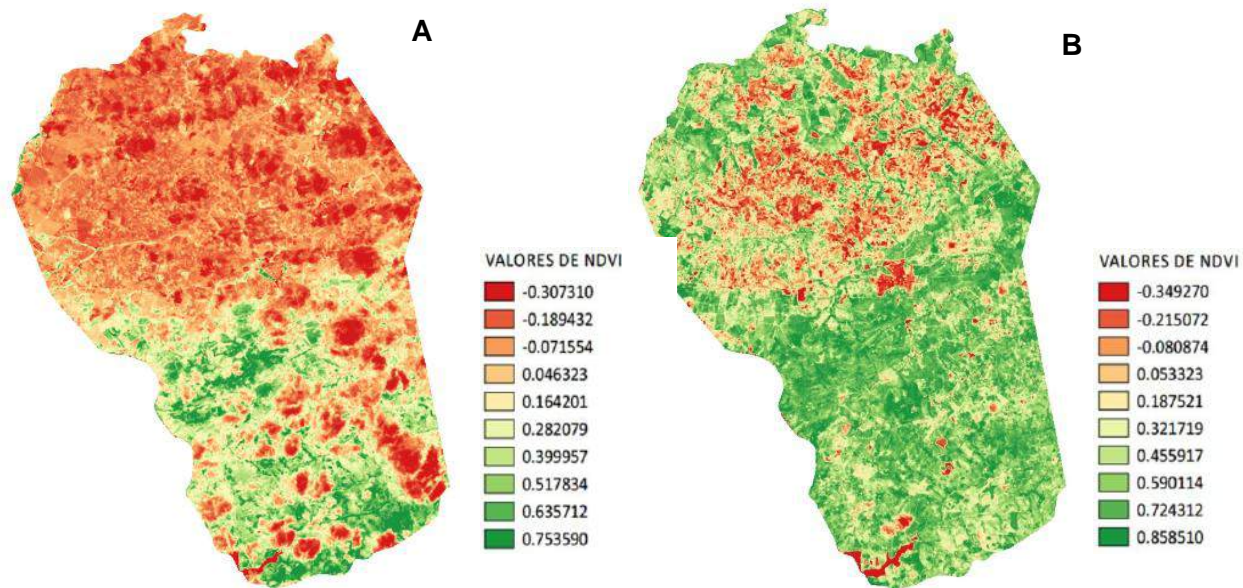
Com os baixos índices pluviométricos e conseqüentemente a redução dos recursos vegetativos no decorrer dos anos sem que haja atitude significativa a favor da vegetação; como por exemplo, o reflorestamento e plantio de novas mudas por parte das entidades responsáveis; essas áreas poderão sofrer mais tarde com efeito da desertificação ligeiramente acordadas com as condições de estiagem que ocorreram nos últimos anos.

Como pode ser observado na Figura 1A, houve uma significativa perda da vegetação devido a escassez hídrica ocorrido nos últimos anos, uma média de 519 mm para 2015 e 2016, onde mais de 50% do território foi afetado, comprometendo as atividades econômicas do município. Em relação as duas épocas, para os valores do NDVI máximo, houve um acréscimo de 12,22% em relação aos anos de 2016 e 2017 conforme Figura 1B.

Figura 1 - Mapas da variação dos NDVI para os meses de setembro de 2016 (A) e agosto de



2017(B)



Observando as duas figuras, é possível perceber que houve uma evolução temporal do NDVI na região de estudo, dependente significativamente das precipitações pluviométricas ocorridas no início de mês de maio de 2017 até meados de início de agosto de 2017 com um acumulado de 758,9 mm, influenciando positivamente na biomassa vegetativa da região. A diferença dos valores do índice de vegetação não é expressiva, porém significativa para os pequenos produtores que dependem das atividades agrícolas e pecuária.

De acordo com Almeida et al. (2014), ao estudarem os efeitos da desertificação na região semiárida do norte de Minas Gerais, observaram que o mau planejamento da exploração e técnicas empregadas em áreas com presença dos recursos naturais, influenciam diretamente de forma negativa na população vegetal e consequentemente na qualidade de vida das pessoas.

Com o avanço desequilibrado das ações antrópicas para a expansão das atividades agropecuárias, regiões com características de semiaridez encontradas no nordeste brasileiro, são afetadas significativamente em sua variabilidade climática devido a substituição de sua vegetação natural, sendo que Cunha et al. (2013) observaram que nessa região ocorreu uma modificação nas características morfológicas e biofísicas da vegetação, causando alterações significativas nos componentes dos balanços de energia (grande aumento do albedo), de água e carbono, pois na estação chuvosa houve um aumento da assimilação do CO<sub>2</sub>.

De acordo com Ponzoni et al. (2012), avaliando a influência da reflectância espectral de dosséis, em relação às suas composições químicas, morfológicas, fisiológicas e umidade interna, assim realizando um mapeamento da cobertura vegetal, onde o sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação permitiu a obtenção de parâmetros biofísicos da vegetação como a biomassa ou o índice de área foliar., em que cada um exerce pelo menos influência em três regiões espectrais do espectro óptico (visível, infravermelho próximo e infravermelho médio).

## 4. CONCLUSÃO

A redução da biomassa vegetativa é resultado do crescimento imobiliário e ao grande período de estiagem nos últimos anos ocasionado pela má distribuição pluviométrica que vem ocorrendo na região, assim como e exploração ilegal da vegetação nativa da região.

A aplicação do NDVI nas imagens permitiu caracterizar a situação do município e constatar a diminuição da vegetação em função do regime hídrico do município.

O uso de técnicas inerentes ao sensoriamento remoto apresenta viabilidade na mitigação da

vegetação e monitoramento da vegetação. A necessidade hídrica da região é de extrema importância para o desenvolvimento agropecuário e econômico local.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. B.; MOREIRA, A. A.; FERNANDES, F. H. S.; ALMEIDA, R. P.; NERY, C. V. M. O Sensoriamento Remoto aplicado ao estudo da desertificação na região semiárida do norte de Minas. *Revista Brasileira de Geomática*, v. 2, n. 2, p. 41-49, 2014.

CUNHA, A. P. M. A.; ÁLVALA, R. C. S.; OLIVEIRA, G. S. Impactos das mudanças de cobertura vegetal nos processos de superfície na região semiárida do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 28, n.2, p.139 - 152, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA SOLOS. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 4ª edição, Embrapa, Brasília, 2014.

KÖPPEN, W., 1900: - Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. – *Geogr. Zeitschr.* 6, 593-611, 657-679.

MOREIRA, R. C. Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosférico na determinação de índice de vegetação. São José dos Campos: INPE, 2000. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, 2000, 181 p.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. Sensoriamento remoto da vegetação. 2.ed. São Paulo: 2012, 160p.

ROUSE, J. W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: *EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM*, 3., 1973, Washington. Proceedings...v.1, sec. A, p. 309-317.

4º Congresso Sul-Americano  
de Agricultura de Precisão  
e Máquinas Precisas



"Agricultura Digital: inovação  
para eficiência, preservação  
e produtividade."

**Área Temática: Manejo Específico de Solo e Planta**

---

# ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE SOLO E DE PLANTAS

## *Analysis of space variability of soil and plant attributes*

Luís Felipe Rossetto Gerlach<sup>1</sup>, Antônio Luis Santi<sup>2</sup>, Leonardo Burin Cocco<sup>3</sup>, Alexandre Wahlbrinck Volz<sup>4</sup>, Bruno Henrique Rodrigues Sangiovo<sup>5</sup>, Alencar Zachy da Fonseca<sup>6</sup>, Diandra Pinto Della Flora<sup>7</sup>, Emerson Brignoni Costa Junior<sup>8</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6,7,8</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Linha 7 de Setembro, s/n, Frederico Westphalen - RS, 98400-000 – Rio Grande do Sul, Brasil, [lfelipeross@hotmail.com](mailto:lfelipeross@hotmail.com), [santi\\_pratica@yahoo.com.br](mailto:santi_pratica@yahoo.com.br), [leonardoburincocco@yahoo.com.br](mailto:leonardoburincocco@yahoo.com.br), [alevolz@gmail.com](mailto:alevolz@gmail.com), [brunosangiovo@hotmail.com](mailto:brunosangiovo@hotmail.com), [alencarzf@hotmail.com](mailto:alencarzf@hotmail.com), [diandradellaflora@gmail.com](mailto:diandradellaflora@gmail.com), [emersonbrignoni823@gmail.com](mailto:emersonbrignoni823@gmail.com)

## RESUMO

A agricultura de precisão (AP) é uma prática que tem por objetivo maximizar o uso das áreas agrícolas através de ferramentas que nos permite de forma racional manejar a variabilidade espacial e temporal do solo. Sendo assim, objetivou-se com este trabalho, utilizar ferramentas de AP para avaliar a variabilidade de atributos do solo e de plantas na região central do Rio Grande do Sul. O trabalho foi conduzido no ano agrícola 2014/15, em uma área de 15,1 ha no município de Júlio de Castilhos, RS. Utilizou-se uma malha amostral de 0,5 ha, totalizando 32 pontos na área experimental para avaliar a variabilidade espacial de atributos de solo e de plantas. Obteve-se como resultados para os atributos do solo uma alta variância no desvio padrão (S) e coeficiente de variação (CV%) do fósforo, potássio. Já a correlação linear de Pearson foi significativa positivamente para produtividade de grãos de milho a qual indicou a argila, saturação por bases, cálcio, índice SMP e magnésio; massa seca indicou matéria orgânica, índice SMP, CTC pH 7 e magnésio.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão. Atributos químicos do solo.

## ABSTRACT

Precision agriculture (AP) is a practice that aims to maximize the use of agricultural areas through tools that allow us to reasonably manage the spatial and temporal variability of the soil. Thus, the objective of this work was to use AP tools to evaluate the variability of soil and plant attributes in the central region of Rio Grande do Sul. The work was conducted in the agricultural year 2014/15, in an area of 15,1 ha in the municipality of Júlio de Castilhos, RS. A sample net of 0.5 ha was used, totaling 32 points in the experimental area to evaluate the spatial variability of soil and plant attributes. A high variance in the standard deviation (S) and coefficient of variation (CV %) of phosphorus, potassium, were obtained as soil attributes. Pearson's linear correlation was positively significant for maize grain yield, which indicated clay, base saturation, calcium, SMP and magnesium; dry mass indicated organic matter, SMP index, CTC pH 7 and magnesium.

**Keywords:** Precision agriculture. Chemical attributes of soil.

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão (AP) é uma atividade agrícola que surgiu no final do século passado, e com a disponibilidade de algumas tecnologias, como o sistema de posicionamento global (GPS), os sensores de produtividade, e sistemas de aplicações de insumos a taxas variáveis, permitiu-se a obtenção de mapas de produtividade e com isso um conhecimento detalhado da lavoura (AMADO; SANTI, 2007). Para se fazer um monitoramento da produtividade usa-se colhedoras equipadas com sistema GPS e sensores eletrônicos para medição de fluxo de massa e teor de umidade de grãos.

A interação da cultura com o ambiente é de grande importância, já que a cultura do milho se destaca por possuir um alto potencial de resposta à produtividade quando exposta a melhores tecnologias e melhores condições de ambiente. Em seu trabalho, Dampney & Moore (1999) listaram três categorias principais de fatores que podem causar variabilidade espacial na

produtividade ou na qualidade das culturas: atributos fixos locais, não facilmente alterados (exemplo: textura e profundidade do solo); atributos persistentes locais, que podem ser alterados (exemplo: pH e nutrientes do solo); e, fatores estacionais de curta duração (exemplo: clima, doenças foliares e pragas).

Se tratando de solo, ele pode apresentar uma ampla variabilidade das suas características, resultante dos processos que comandam os fatores de sua formação (Carvalho et al., 2003). A atividade humana, que embora objetive uniformizar os teores dos nutrientes no solo, também induz a variabilidade (Schlindwein & Anghinoni, 2002). A AP surge como uma alternativa para de forma racional manejar a variabilidade espacial e temporal modificando os atributos químicos do solo com objetivo de maximizar eficientemente o uso das áreas agrícolas. Conhecer detalhadamente a presença da variabilidade química e suas relações com a produtividade pode permitir implantar o manejo em sitio específico ou em taxa variada (Coelho, 2003). Porém mesmo reconhecendo a possibilidade de detectar e manejar a variabilidade de muitos atributos, Dampney & Moore (1999) afirmaram que o mapeamento confiável desses atributos apresenta muitos desafios.

O objetivo do trabalho foi de utilizar ferramentas da agricultura de precisão para avaliar a variabilidade espacial de atributos químicos do solo e de plantas na região central do Rio Grande do Sul.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no município de Júlio de Castilhos na região central do Rio Grande do Sul, durante o ano agrícola de 2014/2015, a área localiza-se a uma latitude de 29°03'56,9" S e longitude de 53°32'36,2" O e a uma altitude média de 408 metros. Apresenta relevo suavemente ondulado e o clima do tipo Cfa segundo a Classificação de Koeppen (MORENO, 1961).

A temperatura média anual é de 18°C e tem uma precipitação normal de 1700 mm. Tem um solo classificado como um Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico úmbrico (EMBRAPA, 2013). A área experimental possui sistema de irrigação por pivô central (15,1 ha), a semeadura do milho foi realizada em plantio direto, e quando necessário foi realizado o controle das ervas daninhas e pragas. A demarcação da área experimental foi realizada com o auxílio de um GPS Garmin eTrex 10 (com precisão de 3 metros) percorrendo o perímetro, e posteriormente aferido à área o grid amostral (0,5 ha) através do software CR Campeiro.

**Figura 1-** Contorno e grade amostral dos pontos de realização das coletas de solo, massa seca da resteva e produtividade do milho da área experimental. Júlio de Castilhos. RS.



Fonte: Google Earth, 2016

A avaliação da produtividade de grãos de milho foi realizada na mesma malha amostral (0,5 ha), de forma manual, colhendo-se as espigas de 2 linhas de milho, espaçadas de 0,45 m e 3 m de comprimento (2,7 m<sup>2</sup>), com 3 sub-amostras num raio de 3m ao redor do ponto georreferenciado. As espigas foram secas em estufa de 65°C até peso constante, debulhadas e pesadas, expressando-se os resultados em sc.ha<sup>-1</sup> a 13% de umidade.

Utilizando-se dos 32 pontos de coleta de dados obtidos a campo foi realizado a confecção de mapas da produção de massa seca da aveia+nabo forrageiro, atributos químicos do solo, produtividade de grãos de milho e altitude da área. Além da geração dos mapas o software CR Campeiro foi utilizado para a realização da análise estatística descritiva correspondente aos valores mínimos (Mn), máximos (Mx) e médios (Mm), desvio padrão(s), coeficiente de correlação (CV, %) e Erro (%) referentes aos atributos químicos do solo da área experimental. O teste de correlação de Pearson 1 - 5% de probabilidade erro utilizando o programa estatístico *Statistical Analysis System* (SAS).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os resultados obtidos a partir da análise da estatística descritiva dos atributos químicos do solo da área experimental (tabela 1). Pode observar-se que houve grande discrepância entre os valores mínimos e máximos entre os atributos, o que comprova a existência de grande variabilidade na área.

Tabela 1 - Análise estatística descritiva correspondente aos valores mínimos (Mn), máximos (Mx) e médios (Mm), desvio padrão (S), coeficiente de variação (CV, %) e Erro (%) referentes aos atributos químicos do solo da área experimental - coleta 2014. Júlio de Castilhos, RS.

Atributo	Parâmetros estatísticos					
	Mn	Mx	Mm	S	CV	Erro
Argila (%)	36,004	55,999	50,350	3,927	7,81	2,75
pH H <sub>2</sub> O (1:1)	4,600	5,800	5,310	0,279	5,25	1,85
Fósforo (mg.dm <sup>-3</sup> )	10,308	81,377	42,820	18,158	42,46	14,95
Potássio (mg.dm <sup>-3</sup> )	86,005	246,956	147,450	38,263	25,80	6,37
Matéria Orgânica (%)	2,800	4,100	3,440	0,309	8,98	2,22
Produção de Milho (sc.ha <sup>-1</sup> )	9380,85	15262,71	12765,00	25,18	11,85	4,17
Produção Massa Seca (kg.ha <sup>-1</sup> )	4267,79	14611,19	10306,23	2902,64	28,10	9,89
Saturação por Alumínio (%)	1,300	19,994	4,130	4,633	130,14	45,81
Saturação por Base (%)	33,010	73,996	58,860	9,396	16,00	5,63
H + Al (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	3,500	9,698	4,830	1,333	27,48	9,68
Índice SMP	5,300	6,200	5,940	0,208	3,50	1,23
CTC a pH 7,0 <sup>(2)</sup>	10,100	14,499	11,690	0,902	7,70	2,71
Cálcio (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	3,300	6,600	4,900	0,849	17,33	6,10
Magnésio (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	0,900	3,100	1,570	0,436	27,59	9,71
Alumínio (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	0,100	1,200	0,260	0,269	116,96	41,17
Enxofre (mg.dm <sup>-3</sup> )	6,402	35,096	16,560	6,722	40,57	14,28
Manganês (mg.dm <sup>-3</sup> )	7,004	40,999	24,390	7,321	30,23	10,64
Cobre (mg.dm <sup>-3</sup> )	1,400	6,099	3,800	1,192	31,87	11,22
Zinco (mg.dm <sup>-3</sup> )	1,801	9,398	4,820	1,503	31,44	11,07
Boro (mg.dm <sup>-3</sup> )	0,300	0,600	0,470	0,112	23,83	8,39

Fonte: COCCO, 2016

legenda:(1) Hidrogênio + Alumínio. (2) CTC: Capacidade de Troca de Cátions.

Conforme Pimentel Gomes e Garcia (2002) a variabilidade de um atributo pode ser avaliada pela ordem de grandeza do coeficiente de variação (CV%), tendo uma classificação: a) baixa ( $CV \leq 10\%$ ), b) média ( $10\% < CV \leq 20\%$ ), c) alta ( $20\% < CV \leq 30\%$ ) e d) muito alta ( $CV > 30\%$ ). Analisando os atributos químicos (Tabela 1), o fósforo, a saturação por alumínio, enxofre, alumínio, manganês, cobre e o zinco foram as variáveis que obtiveram os maiores valores em coeficiente de variação classificado com muito alta ( $CV > 30\%$ ), já as variáveis argila,  $pH_{H_2O}$ , matéria orgânica, SMP e  $CTC_{pH 7}$  obtiveram o menor valor de coeficiente de variação classificado como baixa ( $CV \leq 10\%$ ).

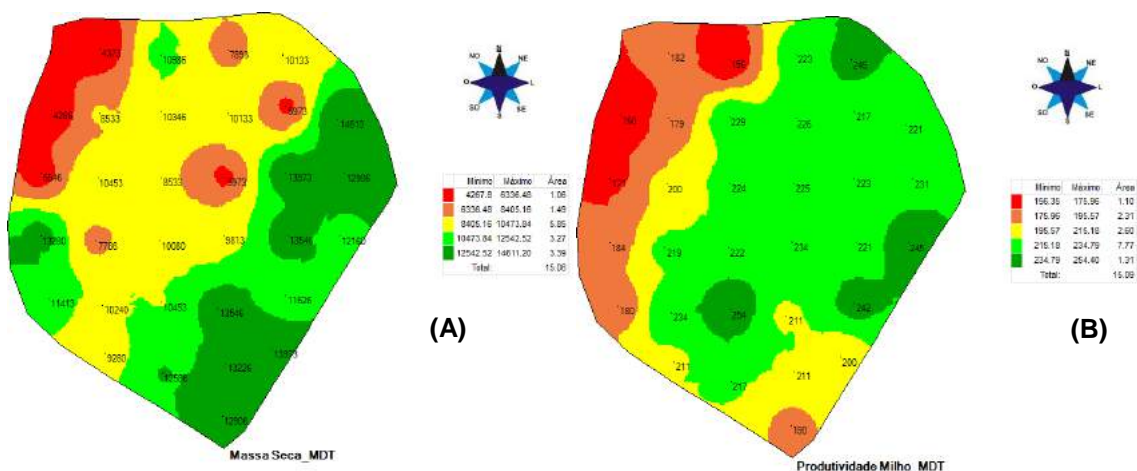
A análise de correlação (tabela 2) foi significativa ao nível de 1 a 5% de probabilidade de erro estimada para a produtividade do milho positiva para argila (0,42), saturação de bases (0,47), cálcio (0,59), índice SMP (0,35), magnésio (0,37) assim como as plantas de cobertura do solo; e correlação negativa para saturação por alumínio (-0,47), enxofre (-0,68), alumínio (-0,44), manganês (-0,47) e hidrogênio + alumínio (-0,36), o que indica que atributos químicos do solo podem ter influência significativa sobre a produtividade da cultura.

A produção de massa seca de aveia+nabo apresenta correlação significativa ao nível de 1 a 5% de probabilidade de erro estimada (tabela 2) positiva com matéria orgânica (0,34), Índice SMP (0,37), CTC à pH 7 (0,34) e magnésio (0,35). Já para outras variáveis a massa seca apresentou análise de correlação linear de Pearson negativa como enxofre (-0,34), manganês (-0,39), cobre (-0,43) e zinco (-0,34), mostrando que não só a produtividade de milho mas também a produção de cobertura no inverno é influenciável pelos atributos do solo.

Para interpretar diretamente a variância observa-se os valores de desvio padrão (S) indicando onde a variância está mais distribuída entre os atributos, com isso pode-se visualizar os atributos fósforo, potássio, produtividade do milho e massa seca com os maiores índices de desvio padrão, índices esses que demonstram a dificuldade de poder relacionar alguns atributos químicos e de produção entre si pela sua alta variância encontrada. Para a variável matéria orgânica obteve correlação positiva entre massa seca (0,34) e cálcio (0,39).

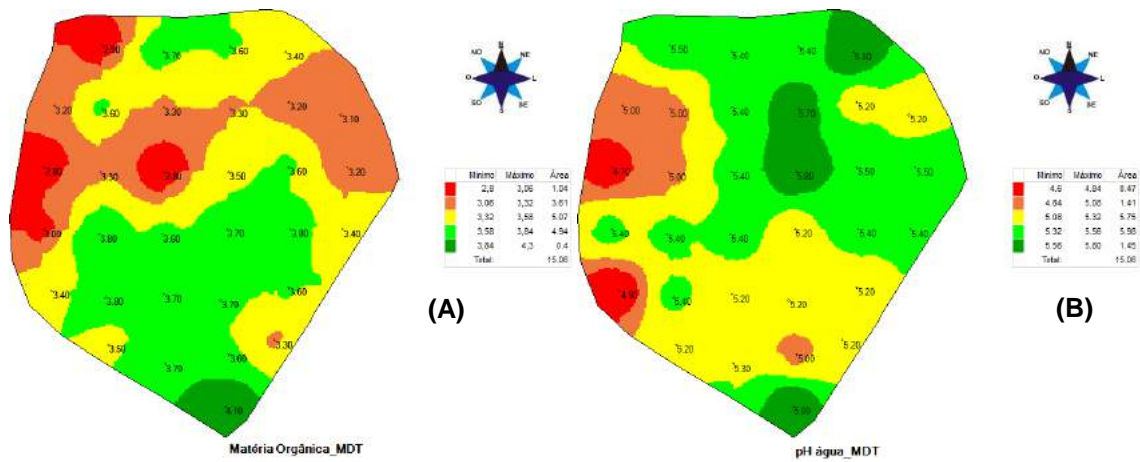
Abaixo corresponde os mapas temáticos da massa seca e produtividade (Figura 2), dos atributos químicos do solo de matéria orgânica (figura 3),  $pH_{\text{água}}$  (figura 3), hidrogênio + alumínio (figura 4), Índice SMP (figura 4), saturação por alumínio (figura 5) e saturação por bases (figura 5), os quais se basearam nos valores obtidos em cada ponto (conforme tabela 3 no apêndice).

Figura 2 – Produção de massa seca de aveia+nabo forrageiro  $kg \cdot ha^{-1}$  (A) e produtividade de grãos de milho  $sc \cdot ha^{-1}$  (B) da área experimental. Júlio de Castilhos, RS.



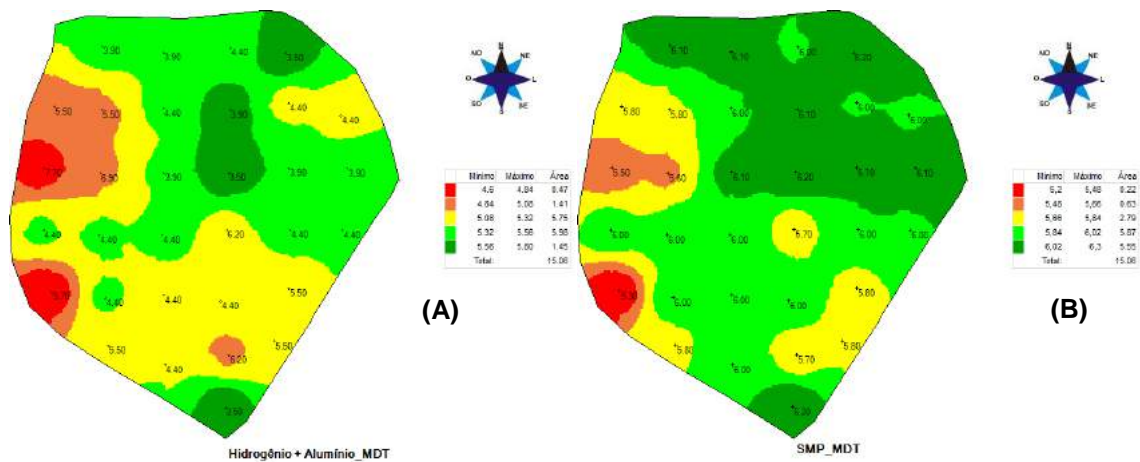
Fonte: COCCO, 2016

Figura 3 - Variabilidade espacial da matéria orgânica do solo (A) e pH água (B) da área experimental. Júlio de Castilhos, RS.



Fonte: COCCO, 2016

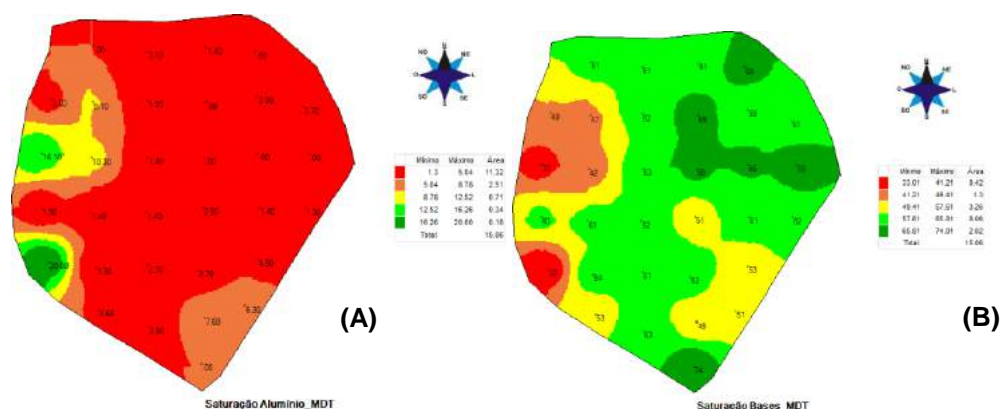
Figura 4 - Variabilidade espacial do hidrogênio + alumínio (A) e índice SMP (B) da área experimental. Júlio de Castilhos, RS.



Fonte: COCCO, 2016



Figura 5 - Variabilidade espacial da saturação por alumínio (A) e saturação por bases (B) da área experimental. Júlio de Castilhos, RS.



Fonte: COCCO, 2016

Tabela 2 - Matriz de correlação simples de Pearson entre os atributos químicos do solo, produção de massa seca de aveia+nabo, produtividade de grãos de milho, safra 2014. Júlio de Castilhos – RS.

	Argila	M O	Prod. Milho	Massa Seca	Sat. Al	Sat. Bases	H+Al	Índice SMP	CTC <sub>pH7</sub>	Ca	S	Al	Mg	Mn	Cu
<b>Argila</b>	1														
<b>MO<sup>(1)</sup></b>		1													
<b>Prod. Milho</b>	0.42*	0.34*	1												
<b>MS</b>				1											
<b>Sat. Al<sup>(2)</sup></b>			-0.47*		1										
<b>Sat. B.<sup>(3)</sup></b>			0.47**		0.92**	1									
<b>H+Al<sup>(4)</sup></b>			-0.36*		0.94**	0.95**	1								
<b>Í. SMP</b>			0.35*		0.91**	0.97**	0.98**	1							
<b>CTC<sub>pH7</sub><sup>(5)</sup></b>				0.37*	0.41*		0.51**	-0.45*	1						
<b>Ca<sup>(6)</sup></b>		0.39*	0.59**	0.34*	0.77**	0.89**	0.73**	0.76**		1					
<b>S<sup>(7)</sup></b>		0.42*	0.68**	-0.34*	0.46*	-0.45*	0.36*	-0.35*		0.60**	1				
<b>Al<sup>(8)</sup></b>			-0.44*		0.99**	0.92**	0.95**	0.92**	0.42*	0.75**	0.43*	1			
<b>Mg<sup>(8)</sup></b>			0.37*	0.35*	0.65**	0.80**	0.65**	0.70**	0.81**		0.66**	1			
<b>Mn<sup>(10)</sup></b>		0.37*	0.47**	-0.39*	0.60**	0.61**	0.49**	0.50**	0.68**	0.54*	0.58**	0.73**	1		
<b>Cu<sup>(11)</sup></b>		0.41*		-0.43*					0.44*				0.55**	1	

Fonte: COCCO, 2016

Legenda: Significativo \*( $p \leq 0,05$ ) e \*\*( $p \leq 0,01$ ); (ns) não significativo.; (1) Matéria Orgânica; (2) Saturação Alumínio; (3) Saturação por Bases; (4) Hidrogênio + Alumínio; (5) CTC<sub>pH7</sub> Capacidade de Troca de Cátions; (6) Cálcio; (7) Enxofre; (8) Alumínio; (9) Magnésio; (10) Manganês; (11) Cobre;

## 4 CONCLUSÃO

Os atributos químicos do solo possuem altos valores de variância no desvio padrão (S) e coeficiente de variação (CV%) do fósforo (18,158 e 42,46), potássio (38,263 e 25,80), saturação por alumínio (4,633 e 130,14), enxofre (6,722 e 40,57) e manganês (7,321 e 30,23).

A correlação linear de Pearson indicou argila, saturação de bases, cálcio, índice SMP, magnésio e foram significativos positivamente quando correlacionados com produtividade de grãos de milho. Já produção de massa seca indicou matéria orgânica, índice SMP, CTC<sub>pH 7</sub> e magnésio.

## 5 REFERÊNCIAS:

AMADO, T.J.C.; SANTI A.L. AP aplicada ao aprimoramento do manejo do solo. In: FIORIN, J. E. (coord.) **Manejo e fertilidade do solo no sistema de plantio direto**. Cruz Alta; Fundacep, Cruz Alta 2007.

CARVALHO, M.P.; TAKETA, E.Y.; FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v. 27, p.695-703, 2003.

COCCO, Leonardo Burin. **Utilização de ferramentas de agricultura de precisão na definição de zonas de manejo**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação de Agricultura de Precisão, RS, 2016.

COELHO, A.M., Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: Tópicos em Ciência do Solo, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v.3. 249 p. 2003.

DAMPNEY, P. M. R., MOORE, M. Precision agriculture in England: Current practice and research-based advice to farmers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, 1998, St. Paul. Proceedings... Madison: **American Society of Agronomy**, 1999. Part A, p.661-73.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. 3. ed. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2013. 353 p.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Secção de Geografia, 1961. 46p.

PIMENTEL GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estabilidade aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

PONTELLI, C.B. **Caracterização da variabilidade espacial das características químicas do solo e da produtividade das culturas utilizando as ferramentas da agricultura de precisão**. Santa Maria, 110p. 2006, Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; EITELWEIN, M. T.; CHERUBIN, M. R.; SILVA, R. F.; DA ROS, C. O. **Definição de zonas de produtividade em áreas manejadas com agricultura de precisão**. **Agrária**, v.8, n.3, p.510-515, 2013.

SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. 2007. 150p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SCHLINDWEIN, J.A. & ANGHINONI, I. Tamanho da subamostra e representatividade da

fertilidade do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.32, n.6, p.963-968, 2002.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. (Boletim Técnico, 5). 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 147p.1995.

## AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA NA PREDIÇÃO DA DENSIDADE DO SOLO

### *Performance evaluation of pedotransfer functions in the prediction of soil density*

Nádia Mariane Mucha<sup>1</sup>, Júlio Cesar Wincher Soares<sup>2</sup>, Claiton Ruviaro<sup>2</sup>, Thiago Floriano Cardoso<sup>1</sup>, Daniel Nunes Krum<sup>1</sup>, Guilherme Fávero Rosado<sup>1</sup>, Lenon Vaz<sup>1</sup>, Gustavo Lamana<sup>1</sup>, Thaylana da Rosa de Souza<sup>1</sup>, Jéssica Santi Boff<sup>1</sup>, Higor Machado de Freitas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Graduanda (o) em Agronomia, Laboratório de Solos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI - Campus Santiago, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, 97700-000, Santiago – RS, Brasil, [muchamariane@gmail.com](mailto:muchamariane@gmail.com)

<sup>2</sup> Professor Dr. do Curso de Agronomia. Laboratório de Solos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI - Campus Santiago, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, 97700-000, Santiago – RS, Brasil, [juliowincher@gmail.com](mailto:juliowincher@gmail.com)

### RESUMO

Uma das limitações do Mapeamento Digital dos Solos (MDS) é a descrição da estrutura do solo, sendo que a densidade do solo (DS) é um importante indicador da qualidade dos mesmos. No entanto, a DS é raramente relatada em levantamentos pedológicos. Uma alternativa para obter a DS, para regiões de dados escassos é a predição a partir de covariáveis menos dispendiosas que utilizam Funções de Pedotransferência (FPT). Este estudo teve como objetivo avaliar a acurácia de diferentes FPT's para prever a DS. No levantamento pedométrico foram utilizados 96 pontos de prospecção, de uma grade com intervalos regulares de 15 m (camada de 0-0,2 m). Para esse efeito, comparou-se a acurácia de FPT's com a densidade do solo real (DS<sub>r</sub>). A DS<sub>r</sub> ajustou-se ao modelo esférico, com grau de dependência espacial classificado como moderado. A FPT de Bernoux et al. (1998) demonstrou maior acurácia e proximidade com os valores e com a distribuição espacial da DS<sub>r</sub>, no pedoambiente amostrado. Esta FPT se propõe como uma alternativa para a predição da DS.

**Palavras-chave:** Mapeamento Digital dos Solos. Krigagem ordinária. Estrutura do solo.

### ABSTRACT

The limitations of Digital Mapping Soil (MDS) is a description of soil structure, and the bulk density (DS) is an important indicator of soil quality. DS is rarely reported in soil survey. The alternative for DS, for data scarce regions is the prediction from covariates using Pedotransfer functions (PTF). This study aims to evaluate PTF's through easily measured soil properties. In survey were used 96 points of prospecting, a grid intervals of 15 m (layer 0 to 0.20 m). To this end, it compared the PTF's performance with the actual soil density (DS<sub>r</sub>). The spherical model was adjusted for DS<sub>r</sub>, with degree of spatial dependence classified as moderate. The PTF Bernoux demonstrated greater accuracy and proximity to the values and the spatial distribution of DS<sub>r</sub>, at the pedoenvironment sampled. And this PTF is proposed an alternative for predicting the DS.

**Keywords:** Digital Soil Mapping. Ordinary kriging. Soil structure.

## 1 INTRODUÇÃO

Nos solos a qualidade física possibilita condições para os processos de sustentação e crescimento vegetal, preservando o ambiente. Por isso, é crescente a demanda por indicadores da qualidade do solo (STRECK, 2007). Todavia, para a avaliação do nível de conservação do solo são importantes alguns parâmetros que habitualmente não são encontrados em bancos de dados de levantamentos de solos (JEUNE, 2012).

Assim, o uso de técnicas de Mapeamento Digital de Solos (MDS) pode contribuir para o reconhecimento do espaço físico (McBRATNEY et al., 2003). No entanto, a abordagem tradicional e a digital de solos devem ser complementares e necessitam ser desenvolvidas simultaneamente (TEN CATEN, 2011).

O Mapeamento Digital do Solo (MDS) consiste na criação e manipulação de sistemas espaciais de dados e informação pedológicas, por meio de modelos numéricos empregados para

o entendimento das variações espaciais e temporais das propriedades e das classes de solo, a partir de observações e conhecimento dos solos e de variáveis ambientais correlacionadas (LAGACHERIE; McBRATNEY, 2007).

Vários modelos quantitativos foram desenvolvidos nos últimos 30 anos para a descrição, classificação e estudo dos padrões de distribuição espacial das classes e das propriedades dos solos de maneira mais objetiva (McBRATNEY et al., 2000).

Dentre as limitações das técnicas de MDS está o estudo da estrutura do solo, sendo que a densidade do solo (DS) é um importante indicador de qualidade estrutural dos solos (PÁDUA et al., 2015). Essa propriedade é fundamental para a realização de inferências sobre a capacidade do solo de reter água, bem como sobre os processos de compactação do solo, e mesmo para a determinação de estoques de carbono no solo. Segundo Benites et al. (2007), são poucos os estudos pedológicos no Brasil que contém dados de DS. Isso ocorre porque, a coleta de amostras com estrutura preservada dificilmente é realizada no campo, uma vez que, trata-se de uma rotina onerosa e demorada (PÁDUA et al., 2015).

A indisponibilidade de dados de DS levou a busca por técnicas que possibilitem a sua predição, são as chamadas Funções de Pedotransferência (MINASNY; HARTEMINK, 2011). Para o MDS, a utilidade dessas funções é de proverem informações úteis em termos de propriedades e qualidade dos solos, tendo emprego gradativo na predição de variáveis de difícil determinação, a contar com covariáveis obtidas com facilidade (REUTER, 1998; LAGACHERIE; McBRATNEY, 2007; McBRATNEY et al., 2011). Bouma (1989) criou a expressão Função de Pedotransferência (FPT), com o conceito de "transformando dados que possuímos em dados que necessitamos".

Assim, as FPT's baseadas em propriedades do solo de fácil mensuração, como carbono orgânico, conteúdo de argila, silte e areia, com padrões adequados de acurácia, apresentam potencialidade para substituir a mensuração da DS quando esta não pode ser obtida.

Porém estas FPT's são geradas para dados pontuais, o que demanda a necessidade de dispor continuidade as suas predições para a DS. Desta maneira, é preciso utilizar a geoestatística para estabelecer relação entre as variáveis aleatórias e as variáveis regionalizadas, produzindo funções aleatórias, que serão processadas por algoritmos nos sistemas de informações geográficas (SIG's).

O uso de métodos geoestatísticos permite a avaliação da dependência espacial mediante o estudo de semivariogramas teóricos. O semivariograma é a parte central da geoestatística, capaz de descrever a estrutura da dependência espacial e possibilitar a determinação de preditores geoestatísticos (McBRATNEY; WEBSTER, 1986).

A predição da geoestatística trata de um processo de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço, a partir de valores adjacentes, enquanto considerados como interdependentes pelo semivariograma (LANDIM, 2006).

Os algoritmos de krigagem tem a capacidade de produzir melhores estimativas em termos de interpolação, porque não ocasionam tendenciosidade ao estimador e possibilitam a mínima variância das estimativas (MELLO et al., 2003; THOMPSON, 1992; VIEIRA, 2000).

A krigagem ordinária é considerada como o melhor interpolador linear não tendencioso. Esta é linear porque suas estimativas são combinações lineares ponderadas dos dados disponíveis; não é tendenciosa porque busca o valor de erro ou resíduo médio igual a zero; e é melhor porque minimiza a variância dos erros (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

Conforme as propostas supramencionadas, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho de diferentes FPT's, aliadas a procedimentos geoestatísticos para prever a DS.

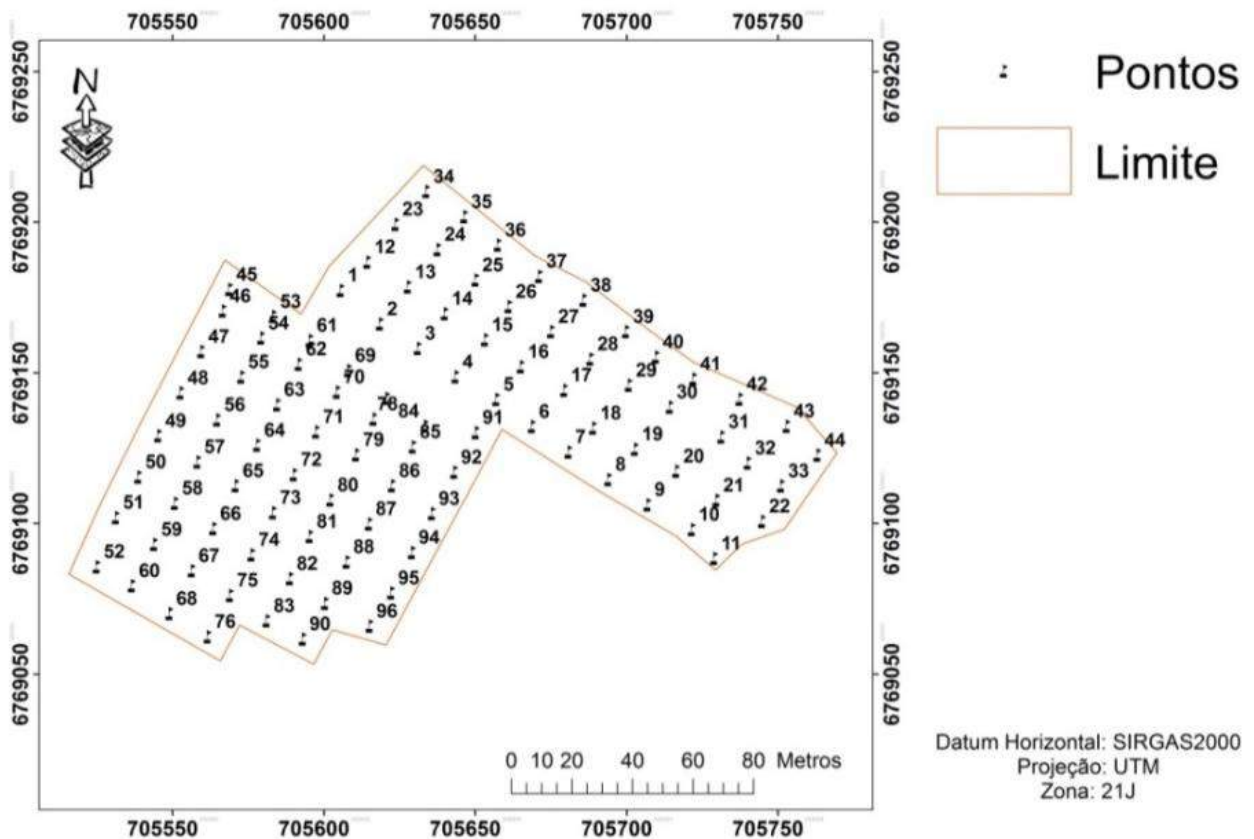
## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Fazenda Escola da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), Campus de Santiago, numa área de 2,10 ha, inseridos nas coordenadas centrais UTM 705.589 (m) E e 6.769.112 (m) S (SIRGAS 2000, Fuso 21 S – Meridiano Central -57,00°, Meridiano principal Greenwich) (Figura 1).

Conforme a nova classificação climática do estado do Rio Grande do Sul, a área de estudo encontra-se sob a influência do tipo climático temperado úmido, com uma pluviosidade média anual de 1.534 mm, e temperatura média de 17,9°C (MALUF, 2000).

O município de Santiago está inserido no domínio dos Biomas da Mata Atlântica e do Pampa, na vegetação predomina a estepe gramíneo-lenhosa, correspondente aos campos da região do planalto. Ocorrem também, formações florestais constituídas por Florestas Ombrófilas, Estacionais, e Estacionais Decíduas (IBGE, 2004).

Figura 1 - Distribuição espacial dos pontos de prospecção em polipédons de NEOSSOLOS, sob diferentes fitofisionomias.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O componente geológico é formado principalmente por rochas sedimentares (arenitos e lutitos) e vulcânicas (basalto e riólito) distribuídas nos compartimentos geomorfológicos do Planalto da Campanha, Planalto das Missões, Planalto das Araucárias e a Depressão Central (IBGE, 2003). O relevo por sua vez, apresenta formas que vão de suave ondulado a ondulado, com altitude média de 394 metros.

Desta forma, esses componentes da paisagem contribuem para a formação de diferentes classes de solos, em uma escala de desenvolvimento que vai de NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos até LATOSSOLOS VERMELHOS Distróficos (STRECK et al., 2008).

Foi analisado um polipédon de NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico e outro de NEOSSOLO REGOLÍTICO Distrófico, estes solos encontram-se sob campo nativo, com mais de três décadas (1,10 ha), um povoamento de Eucalipto (0,55 ha) e um povoamento de Pinus (0,45 ha), ambos com 12 anos de implantação.

Na definição pedométrica foram utilizados 96 pontos de prospecção de uma malha, com intervalos regulares de 15 m, com profundidade de 0-0,2 m (Figura 1).

Nos pontos de prospecção foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solo. Para a determinação da densidade do solo (DS), da textura e do pH H<sub>2</sub>O foram utilizadas as

metodologias propostas por Donagema (2011). O teor de carbono orgânico (CO) foi determinado com o método descrito por Raij et al. (2001).

Duas funções foram desenvolvidas para os solos brasileiros, a de Bernoux et al. (1998) e a de Tomasella e Hodnett (1998), essas FPT's forneceram a primeira base matemática para predição da DS, e foram desenvolvidas utilizando dados de solos da Bacia Amazônica. Para o desenvolvimento da FPT de Manrique e Jones (1991) foram utilizados dados de perfis de solos norte-americanos e de outros países da América Central (Tabela 1).

Bernoux et al. (1998), utilizaram o procedimento de regressão múltipla com inclusão progressiva de variáveis (*forward stepwise*), demonstrando que o conteúdo de argila, de areia, de carbono orgânico e pH do solo descrevem 56% da variação da DS. Já Tomasella e Hodnett (1998), ajustaram regressões múltiplas lineares para a predição da DS a partir do conteúdo de carbono orgânico, silte e argila, essas propriedades respondem por 77% da sua variação. Manrique e Jones (1991) estimaram a DS utilizando apenas o conteúdo de carbono orgânico, por ser um modelo simplificado explicou apenas 46% da variação da DS.

Para aferir a normalidade das covariáveis e dos resultados das FPT's, foi testada a distribuição normal dos dados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de significância.

Tabela 1 - Função de Pedotransferência (PTS's) utilizadas para a predição da densidade do solo (DS).

Referência	Função	R <sup>2</sup>
1	$DS = 1,524 - 0,0046*(argila\%) - 0,051*(CO\%) - 0,0045*(pH\ H_2O) + 0,001*(areia\%)$	0,53
2	$DS = 1,578 - 0,054*(CO\%) - 0,006*(silte\%) - 0,004*(argila\%)$	0,77
3	$DS = 1,660 - 0,318*(CO)^{1/2}$	0,46

1: Bernoux et al. (1998), 2: Tomasella e Hodnett (1998), 3: Manrique e Jones (1991). Abreviaturas: DS = densidade do solo; CO = carbono orgânico; FPT's = funções de pedotransferência; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação do modelo de ajuste.

As análises geoestatísticas foram realizadas no software do Sistema de Informações Geográficas ArcGIS® 10.4.1 (ArcToolbox → Geostatistical Analyst → Assistente de geoestatística → Geoestatistical Methods → Kriging → Kriging type → Ordinary). O estimador de krigagem ordinária é descrito por Trangmar et al. (1985), com a seguinte equação:  $\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$ , em que:  $\hat{Z}(x_0)$  é a estimativa de krigagem para o local  $x_0$  não amostrado;  $Z(x_i)$  valor obtido por amostra coletada a campo; n corresponde ao número de amostras vizinhas; e  $\lambda_i$  são os pesos da krigagem atribuídos aos valores vizinhos  $Z(x_i)$  para estimar  $\hat{Z}(x_0)$  (CARAM, 2007; SILVA JÚNIOR, 2014).

Assim, as estimativas lineares e não enviesadas preditas pelo interpolador de krigagem ordinária, o qual utiliza a informação estrutural obtida pelo variograma e também, que considera a incerteza associada às estimativas da variância da krigagem, confere continuidade aos dados pontuais de uma amostra. Desta maneira, supera-se um dos gargalos das simulações espaciais, que é dar continuidade espacial acurada aos dados ou as informações de uma pesquisa.

Na sequência, estabeleceram-se semivariogramas para possibilitar a avaliação quantitativa das variáveis regionalizadas. Com o interpolador de krigagem ordinária, foram testados os seguintes modelos teóricos de semivariogramas: circular, esférico, exponencial, gaussiano, e *stable*.

O procedimento de seleção do modelo semivariográfico consiste, naquele que representar o melhor resultado no teste de validação cruzada (*cross-validation*). A partir da comparação entre os valores da DS<sub>r</sub> com os valores preditos da DS nas FPT's, a validação cruzada permite identificar a melhor estrutura de dependência espacial, indicando assim, o erro de predição de cada valor verificado (CARAM, 2007; SANTANA, 2011). Logo, os erros de predição testados, também chamados de resíduos, são: Média dos Erros Preditos (M), Média dos Erros Padronizada (MS), Raiz Quadrada da Média do Erro ao Quadrado (RMS), Média da Variância dos Erros Padronizados (ASE) e Raiz Quadrada da Média dos Erros Padronizados ao Quadrado (RMSS).

Modelos que oferecem predições acuradas precisam obedecer a premissa de que as

estatísticas M e MS devem estar próximas a zero, e os valores em RMS, ASE e RMSS sejam próximos de 1 (ESRI, 2016).

Do ajuste dos modelos de semivariograma aos dados, foram definidos os seguintes parâmetros: efeito pepita, patamar e alcance. Posteriormente, o índice de dependência espacial (IDE) foi classificado conforme Zimback (2001), sendo descrito pela equação  $[C/(C_0+C)]*100$ , onde  $C_0$  é o efeito pepita;  $C_0+C$  é o patamar; C é a contribuição. Desta maneira, considera-se a dependência espacial fraca, quando  $IDE \leq 25\%$ ; a dependência espacial é moderada, quando  $25\% \leq IDE < 75\%$ ; e a dependência espacial é forte, quando  $IDE > 75\%$ .

Em seguida, os mapas foram gerados com a aplicação do interpolador de krigagem ordinária, seguindo a rotina: ArcToolbox → Spatial Analyst → Interpolação → Krigagem → Ordinária.

Como medidas de acurácia das FPT's foram aplicados os seguintes critérios de ajuste: a Média dos Desvios Absolutos (MAD), que consiste na média da diferença entre os valores reais e preditos, é muito acurada para dados distribuídos normalmente; a Média Aritmética dos Quadrados dos Desvios (MSE), que realça os grandes erros, comparados aos erros de menor magnitude; a Raiz Quadrada da Média Aritmética dos Quadrados dos Desvios (RMSE), sendo que esse critério também tende a exagerar erros grandes, e por assim podem ajudar a eliminar valores com grandes erros; e a Média Absoluta Percentual dos Erros (MAPE), onde dentre os critérios para avaliar a acurácia da previsão, é o mais popular (KAHN, 1998). Assim, considera-se que o desempenho das FPT's depende dos tipos de critérios estatísticos adotados (MOREELS et al., 2003), a avaliação dos modelos preditivos deve ser baseada nestes critérios de ajuste.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As estatísticas descritivas dos dados utilizados para derivar as FPT's foram apresentadas na tabela 2. Das covariáveis avaliadas, apenas a argila (0,06) e o silte (0,22) apresentaram dados com distribuição normal, conforme o teste de Kolmogorov-Smirnov, com grau de confiança de 95% (nível de significância de 5%).

De acordo com os valores do coeficiente de variação (CV), a variabilidade do pH H<sub>2</sub>O foi classificada como baixa ( $CV < 12\%$ ), as demais variáveis apresentaram variabilidade classificada como média ( $12 < CV < 62\%$ ), conforme Warrick e Nielsen (1980).

Tabela 2 - Análise estatística descritiva das propriedades do solo e covariáveis ambientais utilizadas para a predição da densidade do solo.

Propriedade	Observações	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV (%)	K-S	SIG
pH H <sub>2</sub> O	96	4,20	5,64	4,93	0,29	5,88	1,46	0,03
CO (%)	96	1,24	5,19	1,81	0,42	23,20	1,89	0,00
Argila (%)	96	10,00	50,12	33,85	7,25	21,42	1,34	0,06
Areia (%)	96	6,10	50,40	12,66	5,11	40,36	1,57	0,02
Silte (%)	96	20,70	83,90	53,49	6,92	12,93	1,05	0,22

pH H<sub>2</sub>O: pH em água. CO: Carbono orgânico. CV: Coeficiente de variação. K-S: Teste de Kolmogorov-Smirnov. Sig: Significância ( $p < 0,05$ ).

Com base na classificação da dispersão do coeficiente de variação (CV), os valores de densidade do solo (DS) preditos pelas FPT's apresentaram variação baixa ( $CV < 12\%$ ). Já a densidade real (DS<sub>r</sub>) variou de 0,97 a 1,55 g cm<sup>-3</sup>, com uma média de 1,29 g cm<sup>-3</sup>, perfazendo um CV de 9,30 % (Tabela 3), considerado por Warrick e Nielsen (1980) como de baixa dispersão.

O teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov indicou que a distribuição dos dados da DS<sub>r</sub> e da predição da DS realizada com a FPT de Bernoux et al. (1998), apresentaram distribuição normal. Os dados de DS preditos pelas FPT's de Tomasella e Hodnett (1998) e, Manrique e Jones (1991) não apresentam distribuição normal (Tabela 3).



Tabela 3 - Análise estatística descritiva da densidade do solo real e predita por diferentes funções de pedotransferência.

Propriedade	Observações	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV (%)	K-S	SIG
DS <sub>r</sub>	96	0,97	1,55	1,29	0,12	9,30	0,43	0,99
DS <sub>1</sub>	96	1,11	1,39	1,27	0,04	3,14	1,25	0,09
DS <sub>2</sub>	96	0,83	1,24	1,02	0,04	3,92	1,58	0,01
DS <sub>3</sub>	96	2,01	2,38	2,09	0,04	1,91	1,68	0,00

DS<sub>r</sub>: Densidade do solo real (g cm<sup>-3</sup>). DS<sub>1</sub>: Densidade do solo predita pela função de Bernoux et al. (1998) (g cm<sup>-3</sup>). DS<sub>2</sub>: Densidade do solo predita pela função de Tomasella e Hodnett (1998) (g cm<sup>-3</sup>). DS<sub>3</sub>: Densidade do solo predita pela função de Manrique e Jones (1991) (g cm<sup>-3</sup>). CV: Coeficiente de variação. K-S: Teste de Kolmogorov-Smirnov. Sig: Significância (p<0,05).

Os valores preditos da DS obtiveram semivariogramas ajustados a modelos teóricos (Tabela 4). A partir dos semivariogramas é possível definir um modelo espacial que melhor descreva o comportamento de um dado no espaço (JOURNEL e HUIJBREGTS, 1978).

Tabela 4 - Parâmetros dos modelos de semivariogramas ajustados para a densidade real do solo (DS<sub>r</sub>) e para os valores preditos de densidade do solo por diferentes FPT's.

DS	Modelo	Alcance	Patamar	Pepita	Dependência	IDE (%)
DS <sub>r</sub>	Esférico	186,87	0,0100	0,0079	Moderada	31,26
DS <sub>1</sub>	Gaussiano	74,01	0,0011	0,0008	Fraca	23,90
DS <sub>2</sub>	Exponencial	28,84	0,0013	0,0000	Forte	100,00
DS <sub>3</sub>	Gaussiano	24,99	0,0004	0,0000	Forte	100,00

DS<sub>r</sub>: Densidade do solo real (g cm<sup>-3</sup>). DS<sub>1</sub>: Densidade do solo predita pela função de Bernoux et al. (1998) (g cm<sup>-3</sup>). DS<sub>2</sub>: Densidade do solo predita pela função de Tomasella e Hodnett (1998) (g cm<sup>-3</sup>). DS<sub>3</sub>: Densidade do solo predita pela função de Manrique e Jones (1991) (g cm<sup>-3</sup>). IDE: Índice de dependência espacial classificado conforme Zimback (2001) (%).

A DS<sub>r</sub> demonstrou que sua estrutura de dependência espacial ajustou-se ao modelo esférico (Tabela 4), concordando com Santos et al. (2017); onde pelo teste da validação cruzada apresentou a Média dos Erros Preditos (M) de 0,0001, a Raiz Quadrada da Média do Erro ao Quadrado (RMS) de 0,1002, a Média dos Erros Padronizada (MS) de 0,0025, a Raiz Quadrada da Média dos Erros Padronizados ao Quadrado (RMSS) de 0,9920 e a Média da Variância dos Erros Padronizados (ASE) de 0,1012 (Tabela 5).

Os valores da DS para as FPT's de Bernoux et al. (1998) e Manrique e Jones (1991), demonstraram ajuste ao modelo gaussiano (Tabela 4), com M de 0,0001, RMS de 0,0329, MS de 0,0006, RMSS de 1,0211 e ASE de 0,0321; e M de 0,0002, RMS de 0,0498, MS de 0,0028, RMSS de 1,5391 e ASE de 0,0319, respectivamente (Tabela 5). Por sua vez a FPT de Tomasella e Hodnett (1998) obteve ajuste conforme o modelo exponencial (Tabela 4), M de 0,0001, RMS de 0,0395, MS de 0,0000, RMSS de 1,1435 e ASE de 0,0344, como representado na (Tabela 5).

Tabela 5 - Parâmetros da validação cruzada dos semivariogramas ajustados para a densidade do solo real (DS<sub>r</sub>) e para os valores preditos de densidade do solo por diferentes FPT's.

DS	M	RMS	MS	RMSS	ASE
DS <sub>r</sub>	0,0001	0,1002	0,0025	0,9920	0,1012
DS <sub>1</sub>	0,0001	0,0329	0,0006	1,0211	0,0321
DS <sub>2</sub>	0,0001	0,0395	0,0000	1,1435	0,0344
DS <sub>3</sub>	0,0002	0,0498	0,0028	1,5391	0,0319

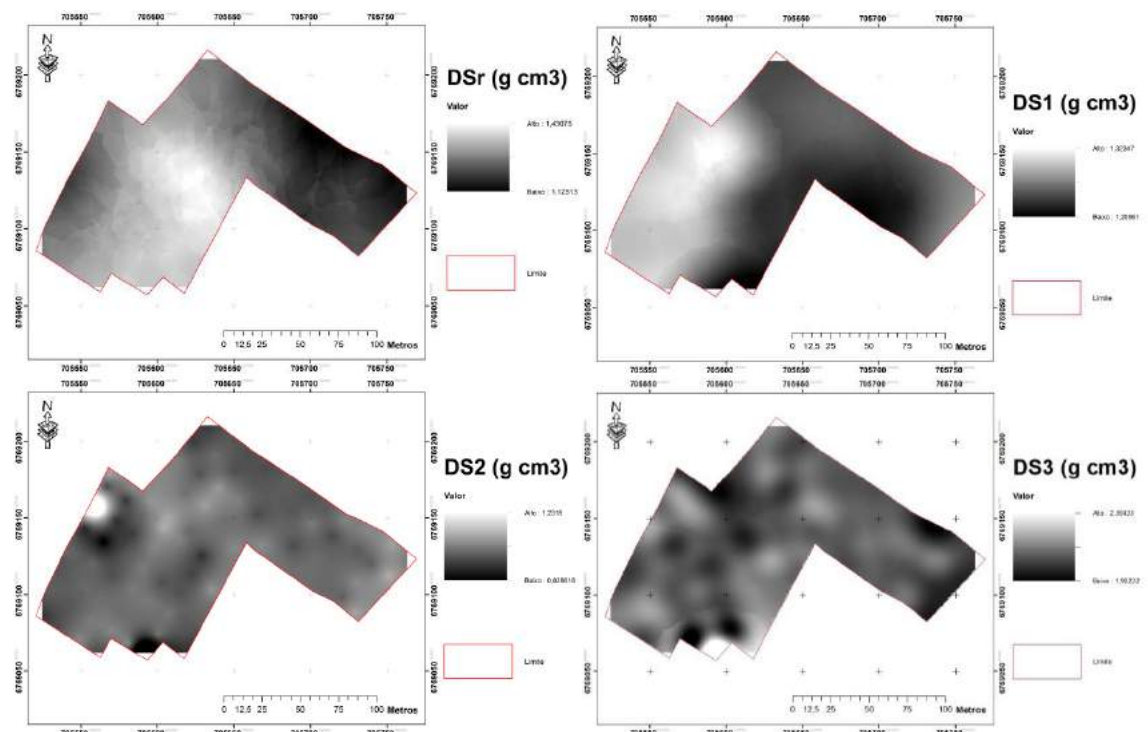
DS<sub>r</sub>: Densidade do solo real (g cm<sup>-3</sup>). DS<sub>1</sub>: Densidade do solo predita pela função de Bernoux et al. (1998) (g cm<sup>-3</sup>). DS<sub>2</sub>: Densidade do solo predita pela função de Tomasella e Hodnett (1998) (g cm<sup>-3</sup>). DS<sub>3</sub>: Densidade do solo predita pela função de Manrique e Jones (1991) (g cm<sup>-3</sup>). M: Média. RMS: Raiz Quadrada Média. MS: Média Padronizada. RMSS: Raiz Quadrada Média Padronizada. ASE: Erro Médio Padrão.

Quanto maior a dependência espacial da variável, melhor estrutura espacial e maior precisão podem ser obtidas na estimativa em locais não amostrados, por intermédio das técnicas geoestatísticas (KRAVCHENKO et al., 2006; LIMA et al., 2010). A  $DS_r$  apresentou índice de dependência espacial moderado ( $25\% \leq IDE < 75\%$ ), conforme a classificação de Zimback (2001). Na  $DS$  predita por Bernoux et al. (1998) a dependência espacial foi fraca ( $IDE \leq 25\%$ ). Já para as FPT's de Tomasella e Hodnett (1998), e Manrique e Jones (1991) os semivariogramas apresentaram forte dependência espacial ( $IDE > 75\%$ ) (Tabela 4).

Os parâmetros responsáveis pelo ajuste da dependência espacial, descreveram para a  $DS_r$ , o valor do efeito pepita de 0,0079, e do patamar de 0,01. Na  $DS$  predita pela função de Bernoux et al. (1998), o valor do efeito pepita foi de 0,0008, e do patamar de 0,0011. As FPT's de Tomasella e Hodnett (1998) e Manrique e Jones (1991), obtiveram efeito pepita 0, e valores do patamar de 0,0013 e 0,0004, respectivamente (Tabela 4). Quanto menor a proporção do efeito pepita em relação ao patamar do semivariograma, maior será a dependência espacial apresentada pela propriedade. Por conseguinte, maior será a continuidade espacial da variável, menor a variância da estimativa e maior a confiança nas estimativas (VIEIRA, 1997; LIMA, 2010). Se o valor do efeito pepita é 0, quer dizer que o erro experimental é praticamente nulo, e que não existe uma variação significativa para distâncias menores que a amostrada (TRANGMAR et al., 1985). Para os valores de  $DS_r$ , e  $DS$  preditos por Bernoux et al. (1998), Tomasella e Hodnett (1998), e Manrique e Jones (1991) o semivariograma atinge o patamar com alcance de, respectivamente: 186,87; 74,01; 28,84; e 24,99 m (Tabela 4). Corá e Beraldo (2006) afirmam que altos valores de alcance promovem maior qualidade nas estimativas realizadas.

Conforme a figura 2, que apresenta a distribuição espacial da  $DS_r$  e de  $DS$ 's preditas por diferentes FPT's. A FPT de Bernoux et al. (1998) apresentou valores de  $DS$  preditos entre 1,20 a 1,32  $g\ cm^{-3}$ . E, assim, alcançou maior proximidade com os valores e com a distribuição espacial da  $DS_r$ , visto que essa obteve valores entre 1,13 a 1,43  $g\ cm^{-3}$ . Pode-se inferir que a FPT de Tomasella e Hodnett (1998) não efetuou previsões confiáveis, subestimando os valores da  $DS$ , com valores entre 0,83 a 1,23  $g\ cm^{-3}$  comprometendo assim, a sua distribuição espacial (Figura 2).

Figura 2 - Mapas da distribuição espacial da densidade real do solo e dos valores preditos da densidade do solo por diferentes FPT's.



Datum horizontal: SIRGAS 2000. Projeção UTM. Zona 21 S

Fonte: Elaborado pelo autor.

A explicação para este efeito pode estar associada ao elevado teor de silte do solo (média de 53,49 %) (Tabela 2). Já a FPT de Manrique e Jones (1991) superestimou os valores da DS (Figura 2), variando de 1,98 a 2,39 g cm<sup>-3</sup> prejudicando também, a distribuição espacial do fenômeno. O comportamento dessa FPT pode ter sido afetado em função dos baixos teores de CO no solo (média de 1,81%) (Tabela 2).

Assim, ao avaliar a acurácia foi possível observar que a função de Bernoux et al. (1998) com as propriedades preditoras: teores de argila, areia, carbono orgânico (CO) e pH H<sub>2</sub>O, o MAPE verificou o erro de ajuste em 7,5% dos dados, o MAD como a média da diferença entre a DS<sub>r</sub> e os valores de DS preditos de 0,096, o MSE realçando os grandes erros comparados aos de menor proporção de 0,015, e RMSE como a raiz quadrada dos MSE de 0,122 (Tabela 6). Visto que, para todos os métodos de acurácia, valores menores desempenham um ajuste melhor da FPT na predição da DS. A FPT de Tomasella e Hodnett (1998), que utiliza como preditores o CO, e os teores de silte e argila, desempenhou um MAPE de 20,02%, MAD de 0,266, MSE de 0,085 e RMSE de 0,293. Já a FPT de Manrique e Jones (1991) que possuía como preditor somente o teor de CO, expressou o MAPE de 63,46%, MAD de 0,798, MSE de 0,653 e RMSE de 0,808 (Tabela 6).

Tabela 6 - Acurácia da densidade do solo predita por diferentes FPT's, submetidas a critérios de ajuste

Densidade do Solo	MAD	MSE	RMSE	MAPE
DS <sub>1</sub> (g cm <sup>-3</sup> )	0,09623	0,01533	0,12247	7,51578
DS <sub>2</sub> (g cm <sup>-3</sup> )	0,26681	0,08591	0,29310	20,02878
DS <sub>3</sub> (g cm <sup>-3</sup> )	0,79817	0,65333	0,80829	63,46850

DS<sub>1</sub>: Densidade do solo predita pela função de Bernoux et al. (1998). DS<sub>2</sub>: Densidade do solo predita pela função de Tomasella e Hodnett (1998). DS<sub>3</sub>: Densidade do solo predita pela função de Manrique e Jones (1991). MAD: Média dos Desvios Absolutos. MSE: Média Aritmética dos Quadrados dos Desvios. RMSE: Raiz Quadrada da Média Aritmética dos Quadrados dos Desvios. MAPE: Média Absoluta Percentual dos Erros.

Por haver muitas funções que podem prever a propriedade DS, Minasny et al. (2003) afirmam que é mais prudente escolher a FPT que tenha o menor erro e que também se ajuste ao pedoambiente.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O valor de DS predito que apresentou maior acurácia dos dados, conferiu a FPT de Bernoux et al. (1998) maior proximidade com os valores e com a distribuição espacial da DS<sub>r</sub>. Esta se propõe como uma alternativa para prever a densidade de solos pouco desenvolvidos em áreas com deficiência de dados pedológicos.

O preditor geoestatístico de krigagem ordinária respondeu satisfatoriamente a continuidade aos dados medidos e preditos de DS. As predições da DS efetuadas pelas FPT's de Bernoux et al. (1998) e Manrique e Jones (1991), ajustaram-se ao modelo gaussiano. A DS<sub>r</sub> ajustou-se ao modelo esférico e, a FPT Tomasella e Hodnett (1998) ao modelo exponencial. Tanto a DS<sub>r</sub>, como a DS predita pela FPT de Bernoux et al. (1998) apresentaram moderada dependência espacial. Nas FPT's de Tomasella e Hodnett (1998), e Manrique e Jones (1991) os semivariogramas demonstraram dependência espacial forte.

## REFERÊNCIAS

BENITES, V. M.; MACHADO, P. L. O. A.; FIDALGO, E. C. C.; COELHO, M. R.; MADARI, B. E. Pedotransfer functions for estimating soil bulk density from existing soil survey reports in Brazil. *Geoderma*, Amsterdam, v.139, p.90-97, 2007.

BERNOUX, M.; ARROUAYS, D.; CERRI, C.; VOLKOFF, B.; JOLIVET, C. Bulk densities of Brazilian Amazon soils related to other soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 62, n. 3, p.743-749, 1998.

BOUMA, J. Using soil survey data for quantitative land evaluation. **Advances in Soil Science**, New York, v. 9, p.177-213, 1989.

CARAM, R. O. **Reconstrução de séries e análise geoestatística da precipitação no Estado de Minas Gerais**. 2007. 92f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/ MG.

CORÁ, J. E.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v.26, n.2, p.374-387. 2006.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, p.230, 2011. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

ENVIROMENMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Using ArcGIS geoestatistical analyst**. Redlands, 2016. Disponível em <http://www.esri.com>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapa de biomas do Brasil: primeira aproximação. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro: **IBGE**, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapas temáticos do Projeto RADAMBRASIL do Rio Grande do Sul na escala 1:250.000. **IBGE/SAA** - RS. Florianópolis, 2003. CD – ROM.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. An introduction to applied geostatistics. **Oxford University Press**, New York, p.278,1989.

JEUNE, W. **Espacialização da densidade do solo e do estoque de carbono da bacia Guapi-Macacu/RJ, determinados por meio de funções de pedotransferência (FTP's)**. 2012. 52f. Dissertação (Mestrado em Agronomia- Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, C. J. Mining geostatistics. **Academic Press**, London, p.600, 1978.

KAHN, K. B. Benchmarking Sales Forecasting Performance Measures. **The journal of Business Forecasting Methods & Systems**, v.17, n.4, p.19-23, winter 1998/1999.

KRAVCHENKO, A. N.; ROBERTSON, G. P.; SNAP, S. S.; SMUCKER, A. J. M. Using information about spatial variability to improve estimates of total soil carbon. **Agronomy Journal**, v.98, p.823-829, 2006.

LAGACHERIE, P.; McBRATNEY, A. B. Spatial soil information systems and spatial soil inferencesystems: perspectives for digital soil mapping. In: LAGACHERIE, P.; McBRATNEY, A. B.; VOLTZ, M. eds. Digital soil mapping-an introductory perspective. **Elsevier Science**, Amsterdam, p.3-22, 2007.

LANDIM, P. M. B. Sobre Geoestatística e mapas. **Terra e Didática**, Campinas, v.2, n.1, p.19-33, 2006.

LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; SILVA, S. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos químicos do solo em área de vegetação natural em regeneração. **Revista Árvore**, Viçosa, v.34, n.1, p.127-136, 2010.

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.8, n.1, p.141-150, 2000. ISBN 0104-1347.

- MANRIQUE, L. A.; JONES, C. A. Bulk-densidade de solos em relação às propriedades físicas e químicas do solo. **Soil Science Society of America**, v.55, p.476-481, 1991.
- McBRATNEY, A. B. et al. An overview of pedometric techniques for use in soil survey. **Geoderma**, Amsterdam, v.97, p.293-327, 2000.
- McBRATNEY, A. B.; MENDONÇA-SANTOS, M. L.; MINASNY, B. On digital soil mapping. **Geoderma**, Amsterdam, v.117, p.3-52, 2003.
- McBRATNEY, A. G.; WEBSTER, A. G. Choosing functions for semi-variograms and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, v.37, p.617-39, 1986.
- McBRATNEY; A. B.; MINASNY B.; TRANTER, G. Necessary meta-data for pedotransfer functions. **Geoderma**, Amsterdam, v.160, p.627-629, 2011.
- MELLO, C. R.; LIMA, J. M.; SILVA, A. M.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, M. S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.3, p.925-933, 2003.
- MINASNY, B.; HARTEMINK A. E. Predicting soil properties in the tropics. **Earth-Science Reviews**, v.106, p.52-62, 2011.
- MINASNY, B.; McBRATNEY, A. E.; MENDONÇA-SANTOS, M. de L.; SANTOS, H. G. dos. Revisão sobre funções de pedotransferência (PTF's) e novos métodos de predição de classes e atributos do Solo. **Embrapa Solos**, Rio de Janeiro, n.45, 2003.
- MOREELS, E.; DE NEVE, S.; HOFMAN, G.; VAN MEIRVENNE, M. Simulating nitrate leaching in bare fallow soils: a model comparison. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 67, n. 2, p. 137-144, Feb. 2003.
- PÁDUA, E. J.; GUERRA, A. R.; ZINN, Y. L. Física do solo Modelagem da Densidade do Solo em Profundidade sob Vegetação Nativa em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.39, n.3, p.725-736, 2015.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Determinação da Matéria Orgânica. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A., eds. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. **Instituto Agrônomo de Campinas**, Campinas, p.189-199, 2001.
- REUTER, D. J. Developing indicators for monitoring catchment health: the challenges. **Australian Journal Experimental Agriculture**, East Melbourne, Australia, v.38, p.637-648, 1998.
- SANTANA, R. A. **Avaliação de técnicas geoestatísticas no inventário de povoamentos de *Tectona grandis* L. f.** 2011. 43 p. Dissertação, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- SANTOS, E. O. de J.; GONTIJO, I.; SILVA, M. B. da; PARTELLI, F. L. Sampling Design of Soil Physical Properties in a Conilon Coffee Field. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [online]. 2017, vol.41, e0160426. Epub Apr 27, 2017.
- SILVA JÚNIOR, J. F. da. **Simulação geoestatística e classificação numérica para o delineamento de unidade de mapeamento de atributos e erosão do solo.** 2014. 111p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2014.
- STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D. et al. **Solos do Rio Grande do Sul.** 2.ed. Porto Alegre: EMATER/RS, UFRGS, 2008. 222p.
- TEN CATEN, A. **Mapeamento digital de solos: metodologias para atender a demanda por informação espacial em solos.** 2011. 108 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.
- THOMPSON, S. K. Sampling. **Wiley-Interscience Publication**, New York, p.343, 1992.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M. G. Estimating soil water characteristics from limited data in Brazilian Amazonia. **Soil Science**, Baltimore, MD, v.163, p.190-202, 1998.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; WADE, M. K.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.38, n.1, p.45-94, 1985.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R., eds. Tópicos em ciência do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, p.1-54, 2000.

VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um latossolo roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v.56, n.1, p.181-190, 1997.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (ed.) Applications of soil physics. **Academic Press**, New York, 1980.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do solo e Fotopedologia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

# COMPARAÇÃO DE TAXA FIXA E VARIÁVEL NAS APLICAÇÕES DE CaCO<sub>3</sub> E KCL EM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO NA REGIÃO CENTRO-SUL DE MG

## *Comparison of Fixed and Variable Rate in The Applications of CaCO<sub>3</sub> and KCL in Dissolved Red Latosolo*

Mailson Freire de Oliveira<sup>1</sup>, Pedro Clemente Castro<sup>1</sup>, Marco Antonio Vrech de Souza<sup>1</sup>,  
Rafael de Graaf Corrêa<sup>1</sup>, Cristiano Zerbato<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista (UNESP), Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellani s/n, 14884-900, Jaboticabal-SP, Brasil, [mailsonagronomia@gmail.com](mailto:mailsonagronomia@gmail.com)

### RESUMO

O avanço na Agricultura de Precisão vem tornando as práticas agrícolas mais sustentáveis e menos onerosas. Sendo assim, objetivou-se neste trabalho avaliar o consumo de KCL e Calcário em duas estratégias de adubação sendo a fertilização em taxa variável e convencional. O experimento foi conduzido em um talhão da fazenda Campo Alegre no município de BambuÍ, MG. Para a amostragem de solo foi utilizado uma sonda acoplada a um quadriciclo com sistema de geoposicionamento. Para análise e processamento dos dados foi utilizado o software HGIS e para a geração de mapas interpolados de fertilidade e prescrição de corretivos e fertilizantes foi utilizado o software SMS Advanced. O trabalho mostrou que a utilização da agricultura de precisão fornece um estudo mais preciso da variabilidade espacial dos fatores de fertilidade do solo, sendo assim, possível se fazer a distribuição dos insumos em taxa variável. Em comparação das duas técnicas de condução do preparo do solo, a agricultura de precisão proporciona uma redução na quantidade de insumos utilizados, ao contrário da agricultura convencional que não leva em conta a variabilidade dos atributos químicos em relação ao espaço.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão. Amostragem. Taxa variável.

### ABSTRACT

Therefore, the objective of this work was to evaluate the consumption of KCL and limestone in two fertilization strategies, with variable and conventional rate fertilization. The experiment was conducted in a field farm Campo Alegre in the municipality of BambuÍ, MG. For soil sampling, a probe was coupled to a quadricycle with a system of geo-positioning. The HGIS software was used to analyze and process the data, and the SMS software was used for the generation of interpolated fertility maps and prescription of correctives and fertilizers. The work showed that the use of precision agriculture provides a more precise study of the spatial variability of soil fertility factors, thus, it is possible to make the distribution of inputs at variable rates. In comparison to the two techniques of soil preparation, precision farming provides a reduction in the amount of inputs used, as opposed to conventional farming that does not take into account the variability of chemical attributes in relation to space.

**Keywords:** Precision agriculture, Sampling, Variable rate.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo OLIVEIRA et al. (2007), SILVA et al. (2008) e CARVALHO et al. (2009), a agricultura de precisão apresenta-se como um conjunto de tecnologias capaz de auxiliar o produtor rural a identificar as estratégias a serem adotadas para aumentar a eficiência no gerenciamento da agricultura. Inclui maximizar a rentabilidade das colheitas, tornando o agronegócio mais competitivo face ao processo de globalização da economia e contribuir, assim, para o sucesso da atividade agrícola.

Uma das necessidades da agricultura moderna é a predição da variabilidade espacial dos atributos do solo, em escalas mais detalhadas para o gerenciamento sustentável e otimização das práticas de manejo (KORSAETH; RILEY, 2006).

Segundo Corá et al. (2004) e Grego e Vieira (2005), o conhecimento da variabilidade das propriedades do solo e das culturas, no espaço e no tempo, é considerado como princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas, qualquer que seja sua escala.

Amado et al. (2009) citam que a coleta de amostras de solo georreferenciadas permite espacializar os atributos químicos, com o auxílio das ferramentas de geoestatística, sendo frequentemente utilizada, visando identificar zonas com restrições químicas, que possam limitar o rendimento da cultura. Ao se identificarem estas restrições, passa-se para a etapa de correção destas distorções presentes na área. Assim, surge a aplicação de insumos à taxa variável, que segundo Yuan et al. (2010), é uma parte importante da agricultura de precisão, pois preconiza a aplicação de insumos, em níveis específicos, adequados à área de gestão. Bernardi et al. (2004) citam que a adubação a taxas variáveis tem potencial para otimizar o uso de fertilizantes, minimizar os impactos negativos da atividade agrícola no ambiente, uniformizar a produtividade de uma área e reduzir os custos com fertilizantes.

Uma das etapas da agricultura de precisão é a aplicação dos insumos em taxa variável. Para que ela ocorra, é necessário ter, a disposição, equipamentos específicos que controlam a distribuição do insumo conforme o caminhamento na área e a necessidade para cada ponto no talhão. O ajuste da distribuição é feito automaticamente com base nos mapas de prescrição, gerados a partir dos dados obtidos da análise de solo interpretados e parametrizados agronomicamente.

Neste contexto, objetivou-se neste trabalho avaliar o consumo de KCL e Calcário em duas estratégias de adubação sendo a fertilização em taxa variável e convencional.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda Campo Alegre, localizada no município de Bambuí, Minas Gerais, localizada em torno das coordenadas 19°59' S e 45°48' W (Figura 1).

**Figura 1.** Imagem orbital com destaque para o polígono da Gleba Alecrim.



**Fonte:** Google Earth



O clima da região foi classificado, pelo método de Köppen como subtropical úmido do tipo Cwa seco no inverno. A altitude média é de 725,9 metros, com precipitação média de 1.369 mm.

A temperatura média anual é de 21,3 °C, com temperatura do mês mais quente superior a 29 °C e a do mês mais frio inferior a 9 °C. A umidade relativa do ar média de 74% e o solo foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (EMBRAPA, 2013).

Na área será implantada uma lavoura de soja com primeiro ano de manejo de aplicação de insumos em taxa variada. O experimento foi desenvolvido em um talhão da propriedade, denominado Alecrim, com área de 52,5 ha. Nele foi realizada amostragem de solo em grid com densidade amostral de uma amostra para cada 3 ha<sup>-1</sup> (Figura 2) perfazendo o total de 18 pontos, sendo cada amostra composta por 10 subamostras (0 – 40 cm) em um raio de 10 m do ponto amostral teórico.

Para o tráfego na área e coleta das amostras de solo utilizou-se uma sonda hidráulica da empresa Saci acoplada a um quadriciclo Honda 4x4 251 Cc, com monitoramento dos pontos por GPS.

Após a coleta, as amostras compostas de solo foram devidamente embaladas e etiquetadas e posteriormente submetidas a análise laboratorial para caracterização química, sendo esta: pH em CaCl<sub>2</sub> e acidez potencial (H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>), as bases trocáveis cálcio (Ca<sup>2+</sup>) magnésio (Mg<sup>2+</sup>) e potássio (K<sup>+</sup>), segundo RAIJ et al. (2001). Por fim, foram calculados os valores da soma de bases (SB), de capacidade de troca catiônica à pH 7,0 (CTC) e de saturação por bases (V%).

Para o cálculo da necessidade de calagem e de adubação potássica na área, foi considerada a variabilidade espacial e, posteriormente, foi calculada a porcentagem de área de cada classe de aplicação dos insumos em estudo. Para o cálculo da necessidade de corretivo, utilizou-se o método da saturação por bases (RAIJ et al., 1997), na qual leva-se em consideração o V% atual do solo, a CTC e o nível de saturação por bases ideal para cultura, que no caso foi de 70%.

Para o cálculo da dose, o PRNT do calcário foi considerado 85%. A adubação (kg ha<sup>-1</sup>) de potássio (K<sub>2</sub>O) foi baseada nos níveis de extração da cultura a ser implantada mais a elevação do elemento na CTC do solo a 4% com produtividade esperada de 4 t ha<sup>-1</sup>.

Para a geração do grid com os pontos amostrais teóricos foi utilizado o software HGIS e para a geração de mapas interpolados de fertilidade e prescrição de corretivos e fertilizantes foi utilizado o software SMS Advanced (AG Leader). O método de interpolação utilizado foi o inverso da distância ao quadrado, que calcula os valores de um ponto não amostrado atribuindo maior importância (peso) a pontos mais próximos ao centro do pixel que se que estimar (ponderação pela distância) conforme a equação abaixo.

$$z = \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^{pZ_i}}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}}$$

Em que:

z é valor estimado para um dado ponto;

n é o número de pontos amostrais na vizinhança utilizados na estimativa;

Z<sub>i</sub> é o valor observado no ponto amostral;

d<sub>i</sub> é a distância entre o ponto amostral e o ponto estimado (Z<sub>i</sub> e Z);

p é o ponderador (potência), no caso deste experimento 2.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As doses recomendadas para aplicação de potássio na área variam de 60,11 a 134,78 kg ha<sup>-1</sup> tendo por base o mapa interpolado em taxa variável (Figura 4), demonstrando que a necessidade de adubação potássica é variável dentro do talhão e multiplicando a dose máxima

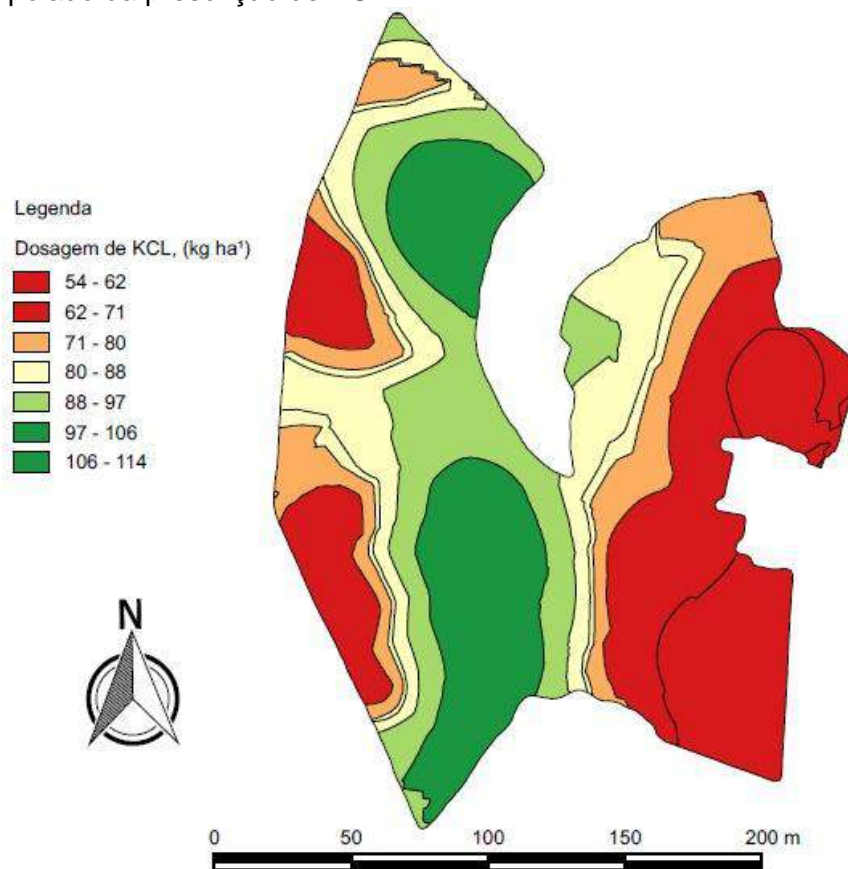
requerida de cada uma das 7 zonas de demanda divididas pela área de cada uma delas chega-se ao consumo total de KCl de 4,7 t.

Considerando o mapa de recomendação em dose fixa, como é feito na agricultura tradicional a dose aplicada na área seria  $114,08 \text{ kg ha}^{-1}$  de KCl, gerando um consumo total de KCl de 5,95 t para a aplicação em área total (Figura 4), realizando a diferença entre o recomendado em taxa fixa variável em taxa fixa variável tem-se uma economia de 1240 kg de KCl para esse talhão ou seja uma economia de  $23.77 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Isto demonstra claramente que a adoção da adubação em taxa variável diminuiu o consumo de KCl, racionalizando e otimizando sua utilização, pois as doses necessárias estão de acordo com a variabilidade espacial demonstrada pela fertilidade do solo.

Pela adubação baseada na média, a área seria tratada de forma uniforme, ou seja, as áreas que demandam uma dose menor que  $114,08 \text{ kg ha}^{-1}$  receberiam fertilizantes acima do necessário e as áreas que possuem uma demanda maior que essa, receberiam uma quantidade insuficiente de fertilizante podendo prejudicar a produtividade final (Figura 4).

**Figura 4.** Mapa interpolado da prescrição de KCl.



Fonte: O autor

Os resultados obtidos neste experimento estão acima dos encontrados por Gabbi (2013), que realizando pesquisas em uma propriedade de 1400 ha no estado de Santa Maria – RS obtiveram uma economia de utilização de 15% utilizando a aplicação em taxa variada comparada com a aplicação pela média, já nesta pesquisa obtivemos ganhos com a taxa variada em torno de 21%, por meio da utilização da recomendação em taxa variável, o que possivelmente pode refletir em menos custo no processo de fertilização da propriedade.

Em um estudo desenvolvido por Corá et al. (2004) a avaliação da variabilidade espacial de atributos químicos na cultura de cana-de-açúcar, possibilitou definir zonas homogêneas de manejo específico, com o objetivo de efetuar a aplicação de calcário e fertilizantes a taxas

variáveis, proporcionando, desta forma, um manejo mais eficiente e econômico da cultura.

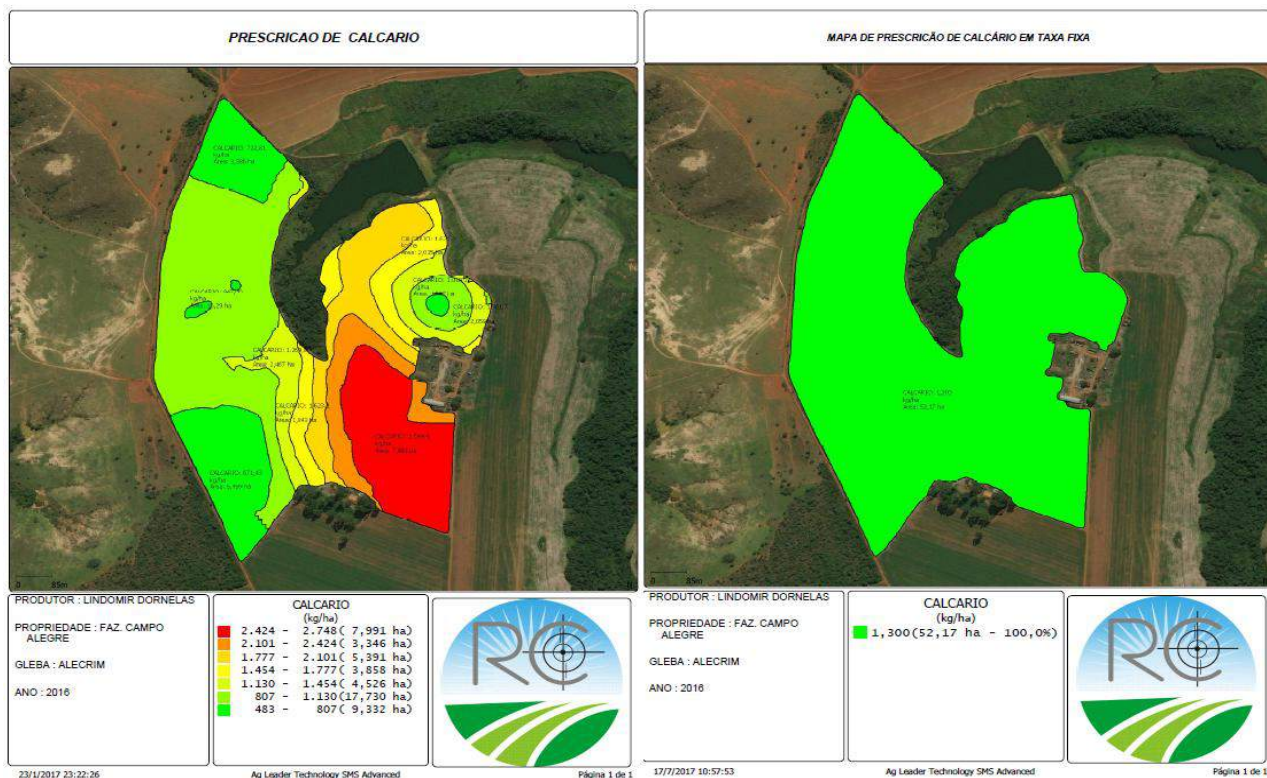
A necessidade de calcário informada pelos mapas obtidos por interpolação (Figura 5) variou de 0,48 a 2,75 t ha<sup>-1</sup> na área. O cálculo da necessidade de calcário, utilizando-se do método convencional sem considerar a variabilidade espacial de atributos de acidez do solo, indicou ser necessário aplicar 1,3 t ha<sup>-1</sup> de calcário (Figura 5).

Avaliando o mapa de recomendação em dose fixa, como é feito na agricultura tradicional, a dose de calcário a ser aplicado na área seria de 1,3 t ha<sup>-1</sup>, gerando um consumo de 67,82 t para a aplicação em área total (Figura 5). No entanto considerando a dose máxima de cada subárea do mapa em taxa variável, temos uma demanda de 82,4 t de calcário para que se consiga aplicar em todo o talhão, realizando a diferença entre o recomendado em taxa fixa e variável tem-se um consumo maior de calcário de 14,58 t para esse talhão.

Apesar desta demanda maior de calcário, essa é uma característica vantajosa das ferramentas de agricultura de precisão, pois se constatou que 39% da área do talhão demandaram dose acima do que seria recomendado se a área fosse tratada de forma homogênea, o que poderia limitar a produção da cultura, pois a quantidade de calcário seria insuficiente para atender a demanda para uma melhor correção do solo.

Observando o mapa por outro ponto de vista, constata-se que 52 % da área seriam tratadas com quantidade superior a demandada se o solo fosse corrigido de forma convencional, fazendo com que esse calcário seja distribuído de forma inadequada, gerando desperdício, pois estaríamos aplicando mais que o necessário.

**Figura 5.** Mapa interpolado de prescrição de Calcário, sendo o mapa da esquerda em taxa variável e o da direita em taxa fixa.



Fonte: O autor

De maneira geral, considera-se que a estratégia de gestão de adubação por meio de técnicas de agricultura de precisão, fornece um conhecimento mais preciso da variabilidade espacial dos fatores de fertilidade do solo, em comparação com a gestão convencional destes recursos, permitindo uma maior otimização do uso do calcário e de

KCI, gerando economia no consumo de KCI e uma melhor alocação do corretivo, sendo aplicado somente o recomendado para cada zona de necessidade de adubação e correção do solo.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na aplicação de KCI a utilização em Taxa Variável reduziu o consumo do insumo e otimizou sua distribuição ao longo da área.

A calagem apresentou resultados contrários ao KCI, no entanto a otimização da distribuição do insumo ao longo do talhão.

## REFERÊNCIAS

AMADO, T. J. C. et al. Atributos químicos e físicos de latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 831-843, ago. 2009.

BERNARDI, A. C. de C. et al. Aplicação de fertilizantes a taxas variáveis. In: MACHADO, P. L. O. de A.; BERNARDI, A. C. de C.; SILVA, C. A. (Ed.). Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. p. 153-164.

CARVALHO, G.R.; BOTELHO, C.E.; BARTHOLO, G.F.; PEREIRA, A.A.; NOGUEIRA, Â.M.;

CARVALHO, A. M. de. Comportamento de progênies F4 obtidas por cruzamentos de „Icatu“ com „Catimor“. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.33, n.1, p.47-52, 2009.

CORÁ, J.E.; ARAUJO, A.V.; PEREIRA, G.T.; BERALDO, J. M. G. **Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v.28, n.6, p.1013-1021, 2004.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 3.ed. Brasília: EMBRAPA, 2013. 353p.

GABBI, R. E. **Agricultura de precisão como apoio a gestão dos custos de aquisição de fertilizantes.** 2013. 44f. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

KORSAETH, A.; RILEY, H. Estimation of economic and environmental potentials of variable rate versus uniform N fertilizer application to spring barley on morainic soils in se norway. Precision Agriculture, Dordrecht, v. 7, n. 4, p. 265-279, 2006.

OLIVEIRA, E.; SILVA, F.M.; GUIMARÃES, R.J.; SOUZA, Z.M. Eliminação de linhas em cafeeiros adensados por meio semimecanizado. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.31, n.6, p.1.826-1.830, 2007

RAIJ, B. van, et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

RAIJ, B. Van, et al. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo.** 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico,100).

SILVA, F.M.; SOUZA, Z.M.; FIGUEIREDO, C A.P.; VIEIRA, L.H.S.; OLIVEIRA, E. Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.32, n.1, p.231-241, 2008.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 169-177, mar./abr. 2005.

YUAN, J. et al. Gaussian process based bivariate control parameters optimization of variable-rate granular fertilizer applicator. Computers and Electronics in Agriculture, Amsterdam, v. 70, n. 1, p. 33-41, Jan. 2010.

# COMPARAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO NA TRANSIÇÃO DO SISTEMA DE CAMPO NATIVO PARA O PLANTIO CONVENCIONAL

## *Comparison of carbon stock at converting of natural grassland for conventional tillage*

Lenon Lourenço Vaz<sup>1</sup>, Júlio César Wincher Soares<sup>2</sup>, Claiton Ruviano<sup>2</sup>, Thiago Floriano Cardoso<sup>1</sup>,  
Daniel Nunes Krum<sup>1</sup>, Guilherme Fávero Rosado<sup>1</sup>, Nádia Mariane Mucha<sup>1</sup>, Gustavo Lamana<sup>1</sup>,  
Jéssica Santi Boff<sup>1</sup>, Pedro Maurício Santos dos Santos<sup>1</sup>, Higor Machado de Freitas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Graduando (a) em Agronomia, Laboratório de Solos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e  
das Missões - URI - Campus Santiago, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, 97700-000,  
Santiago – RS, Brasil, [lenonvaz7@outlook.com](mailto:lenonvaz7@outlook.com)

<sup>2</sup> Professor Dr. do Curso de Agronomia. Laboratório de Solos da Universidade Regional Integrada do Alto  
Uruguai e das Missões - URI - Campus Santiago, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, 97700-000,  
Santiago – RS, Brasil, [juliowincher@gmail.com](mailto:juliowincher@gmail.com)

### RESUMO

O solo é um importante compartimento do ciclo global de carbono, e seu estoque pode ser alterado conforme a prática de manejo do solo adotada na área cultivada. Com a transformação do campo nativo para o plantio convencional (PC), o estoque de carbono orgânico (SOC) é alterado, devido às práticas de revolvimento do solo, o que desfavorece o acúmulo do carbono orgânico no solo. O trabalho teve por objetivo avaliar a variabilidade espaço-temporal do SOC, na transição do campo nativo para o PC. A análise espaço-temporal do SOC demonstrou um valor médio de 87,04 Mg ha<sup>-1</sup>, sob campo nativo e para o plantio convencional o valor médio foi de 60,06 Mg ha<sup>-1</sup>. Após essa transição o balanço (saldo) resultou em uma média de perdas de 26,98 Mg ha<sup>-1</sup>. A desestruturação dos agregados do solo ocasionou perdas do SOC no terço inferior da encosta (Catena), e uma redistribuição do carbono que estava estocado no terço superior para a meia encosta. As técnicas de simulação espaço-temporais demonstraram uma ótima performance para o monitoramento das alterações no SOC, após a transformação de um sistema natural estável para o sistema de cultivo, com alto revolvimento do solo.

**Palavras-chave:** Conservação do solo. Sequestro de carbono orgânico. Mapeamento Digital de solos.

### ABSTRACT

Soil is an important compartment of the global carbon cycle, and its stock can be altered according to the soil management practice adopted in the cultivated area. With the transformation from the native field to the conventional tillage, the organic carbon stock (SOC) is altered due to the practices of soil revolving, which detracts from the accumulation of organic carbon in the soil. The objective of this study was to evaluate the spatiotemporal variability of SOC in the transition from the native field to the tillage. The spatial-temporal analysis of SOC showed an average value of 87.04 Mg ha<sup>-1</sup>, under native field and for conventional tillage the mean value was 60.06 Mg ha<sup>-1</sup>. After this transition, the balance resulted in an average loss of 26.98 Mg ha<sup>-1</sup>. Deterioration of soil aggregates resulted in SOC losses in the lower hill (Catena), and a redistribution of the carbon that was stored in the upper third to the half hill. The spatiotemporal simulation techniques demonstrated an excellent performance for the monitoring of the changes in SOC, after the transformation of a stable natural system to the crop system, with high soil plowing.

**Keywords:** Soil conservation. Carbon sequestration. Digital Soil Mapping.

## 1 INTRODUÇÃO

O carbono orgânico (CO) é um dos componentes fundamentais do solo, e o seu estoque pode ser alterado devido às práticas de manejo adotadas na área. O solo é considerado o principal reservatório de carbono em nosso ecossistema (BRUCE et al., 1999), pois apresenta em média 4,5 vezes mais carbono do que a biota, e 3,3 vezes mais do que a atmosfera (LAL et al., 2004).

Conforme Lal (2004), o estoque de carbono orgânico do solo (SOC) possui grande importância para o funcionamento dos ecossistemas. As pastagens naturais, principalmente nas

regiões subtropicais, têm sido apontadas como meio eficiente na imobilização de carbono no solo. Através da fotossíntese, as plantas capturam o gás carbônico (CO<sub>2</sub>) da atmosfera, concentrando grandes quantidades no solo. Desta maneira a estrutura física do solo é condicionada pela agregação, o que aumenta a porosidade, e melhora a infiltração e armazenamento de água. Estas condições propiciam a planta produzir sistema radicular abundante com raízes profundas, dando-lhes vantagens para buscar nutrientes e água, através das camadas mais profundas do solo.

Para produzir informações referentes a distribuição do SOC, faz-se relevante a utilização sustentável do solo, priorizando a gestão conservacionista da paisagem. Para Sleutel et al. (2006), o sequestro do carbono no solo depende de fatores como a cobertura vegetal, práticas de manejo e dos tipos de solo (classificação taxonômica).

Ao utilizar boas práticas de manejo em campo nativo, é possível manter a proteção do solo, onde o sistema radicular das espécies poderá contribuir para a infiltração de água no solo, aumentando a resistência a erosão, acumulando SOC, e assim também reduzindo a emissão de gases do efeito estufa.

Os solos agrícolas quando mal manejados, esgotam os materiais geradores de CO e os mesmos acabam perdendo matéria orgânica (MO). No caso de solos virgens, a perda da MO original pode ser de 20 a 70% quando empregado o plantio convencional (PC). Entretanto, quando introduzidas práticas agrícolas apropriadas, esse processo pode ser retardado ou até mesmo minimizado (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

No Brasil, o PC é baseado num sistema de manejo com intenso revolvimento do solo, e normalmente ocasiona a perda de estoque original da MO na área manejada (PÖTTKER, 1977; BAYER et al., 2003). O preparo do solo com gradagem e aração provoca perdas de carbono no solo; que segundo Fitzsimmons et al. (2003), essas alterações na estrutura do solo encontram-se entre as principais causas de emissão antropogênica para a atmosfera. Deste modo, esse sistema fica mais exposto à processos erosivos (LAL et al., 2003).

Com a remoção do campo nativo, para implantação de práticas convencionais de uso do solo ocorre um revolvimento, misturando e expondo suas camadas, e conseqüentemente há quebra no ciclo do CO, modificando então seus estoques existentes no solo. Castro Filho et al. (1998), relatou que a ruptura dos agregados do solo, causada pelo seu sistema de preparo, tende a acelerar as perdas de CO pela oxidação da MO, tornando-se notável nos primeiros 20 cm de profundidade.

É preciso compreender que, embora o sistema de manejo adotado tenha influencia no SOC, outros fatores como a densidade do solo, profundidade e elevação do terreno também estabelecem influência, pois suas deposições irão depender desses fatores atrelados às práticas de manejo adotado, para que assim o CO permaneça na área completando seu ciclo.

Contudo, são poucas as pesquisas relacionadas com a conversão de SOC em áreas que anteriormente foram de campo nativo, e tornaram-se lavouras com PC. Desta forma, é de suma importância compreender a variabilidade espacial do SOC e a sua redistribuição nesses ambientes, na escala da encosta (Catena).

Entretanto ao tratar-se da coleta de dados pontuais, é necessário estabelecer uma continuidade espacial para predizer os valores de SOC, e para isso utiliza-se métodos de interpolação. Desta maneira, é preciso utilizar a geoestatística para estabelecer relação entre as variáveis aleatórias e as variáveis regionalizadas, produzindo funções aleatórias, que serão processadas por algoritmos nos sistemas de informações geográficas (SIG's). O uso de métodos geoestatísticos permite a avaliação da dependência espacial mediante o estudo de semivariogramas teóricos.

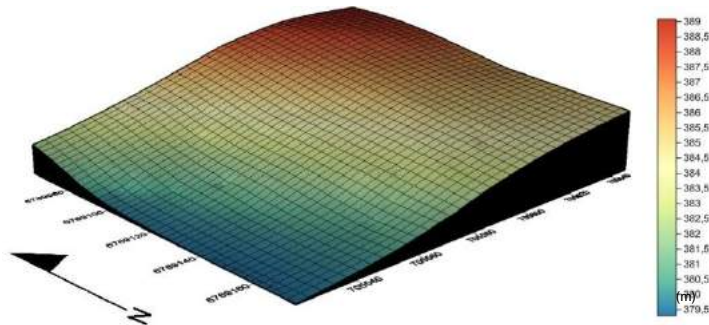
A hipótese do estudo é que a transformação do campo nativo para o PC, desencadeia processos de adição e perdas do SOC numa encosta, e estes processos estão atrelados a erosão hídrica, potencializada pelo revolvimento intensivo do solo.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a variabilidade do SOC, na transição do campo nativo para o PC, comparando o seu estoque em ambos os sistemas, na escala de encosta.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Fazenda Escola da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus Santiago, sobre uma área de encosta de 1,17 ha, utilizando coordenadas centrais UTM 705.589 E e 6769112 N (SIRGAS 2000, zona 21 J) (Figura 1).

Figura 1 - Modelo Digital de Elevação da área de estudo.



Na classificação de Köppen (1931), o tipo climático predominante é o Cfa, subtropical úmido com precipitação abundante em todos os meses do ano, perfazendo durante o ano uma precipitação de 1.919 mm; já a temperatura média anual é de 17,9 °C (MORENO, 1961). O relevo mostra por sua vez, formas que vão de suave ondulado a ondulado, alcançando altitudes próximas de 390 metros.

O componente geológico é composto principalmente por rochas sedimentares (arenitos e lutitos) e vulcânicas (basalto e riólito) distribuídas nos compartimentos geomorfológicos do Planalto das Missões, Planalto das Araucárias e a Depressão Central (IBGE, 2003).

A vegetação encontra-se sob o domínio da Estepe Estacional, da Floresta Estacional Decidual e da Estepe Ombrófila (LEITE, 2002), distribuídas nos Biomas do Pampa e da Mata Atlântica (IBGE, 2004). Na composição do uso do solo e cobertura vegetal, predominam cultivos agrícolas, formações campestres e florestas nativas em diferentes estágios regenerativos.

Regionalmente, os componentes da paisagem, contribuem para a formação de classes de solos diferentes, em uma escala de desenvolvimento, indo desde NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos até LATOSSOLOS VERMELHOS Distróficos (STRECK et., 2008).

No primeiro ano, foram analisados NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos e NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Distróficos, sob campo nativo, por meio de 52 pontos de uma malha com intervalos regulares de 15 x 15 m, a profundidade de trabalho deu-se até o saprolito ou contato lítico. No ano seguinte, pós inserção da cultura da soja em sistema de plantio convencional (PC), essa análise foi repetida na mesma área, utilizando os mesmos pontos de prospecção.

Foi empregado um receptor GNSS (*Global Navigation Satellite System*), com dupla frequência (L1/L2) e disponibilidade de *Real Time Kinematic* (RTK), para realizar a alocação dos pontos, onde Datum horizontal utilizado foi o SIRGAS, 2000, zona 21 S.

Para realizar a determinação da densidade do solo (DS), e do teor de carbono orgânico (CO), foram coletadas amostras deformadas e indeformadas durante as prospecções. A análise para determinar o teor de CO, foi realizada conforme Raij et al. (2001) e a determinação da DS foi realizada conforme Donagema (2011).

Empregando a seguinte equação, obtivemos o SOC:  $SOC = (CO \times DS \times \text{prof.})/10$ , em que: SOC = estoque de carbono do solo ( $Mg \text{ ha}^{-1}$ ); Co = teor de carbono do solo ( $g \text{ kg}^{-1}$ ); Ds = densidade do solo ( $g \text{ cm}^{-3}$ ); e prof. = profundidade do solo (cm).

A variabilidade das variáveis do solo foi avaliada pela análise estatística descritiva. A normalidade foi testada por Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de significância.

Foram utilizados os limites de coeficiente de variação (CV) estabelecidos por Warrick e Nielsen (1980), para a classificação da variabilidade das propriedades analisadas, sendo:  $CV < 12 \%$ ,  $12 \% < CV < 60 \%$  e  $CV > 60 \%$ , considerados de baixa, média e alta variabilidade, respectivamente.

As análises geoestatísticas foram realizadas no software do Sistema de Informações



Geográficas ArcGIS® 10.4.1 (ArcToolbox → Geostatistical Analyst → Assistente de geoestatística → Geoestatistical Methods → Kriging → Kriging type → Ordinary). O estimador de krigagem ordinária é descrito por Trangmar et al. (1985), com a seguinte equação:  $\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$ , em que:  $\hat{Z}(x_0)$  é a estimativa de krigagem para o local  $x_0$  não amostrado;  $Z(x_i)$  valor obtido por amostra coletada a campo;  $n$  corresponde ao número de amostras vizinhas; e  $\lambda_i$  são os pesos da krigagem atribuídos aos valores vizinhos  $Z(x_i)$  para estimar  $\hat{Z}(x_0)$  (CARAM, 2007; SILVA JÚNIOR, 2014).

Assim, as estimativas lineares e não enviesadas preditas pelo interpolador de krigagem ordinária, o qual utiliza a informação estrutural obtida pelo variograma e também, que considera a incerteza associada às estimativas da variância da krigagem, confere continuidade aos dados pontuais de uma amostra. Desta maneira, supera-se um dos gargalos das simulações espaciais, que é dar continuidade espacial acurada aos dados ou as informações de uma pesquisa.

Na sequência, estabeleceram-se semivariogramas para possibilitar a avaliação quantitativa das variáveis regionalizadas. Com o interpolador de krigagem ordinária, foram testados os seguintes modelos teóricos de semivariogramas: circular, esférico, exponencial, e gaussiano.

O procedimento de seleção do modelo semivariográfico consiste, naquele que representar o melhor resultado no teste de validação cruzada (*cross-validation*). A validação cruzada permite identificar a melhor estrutura de dependência espacial, indicando assim, o erro de predição de cada valor verificado (CARAM, 2007; SANTANA, 2011). Logo, os erros de predição testados, também chamados de resíduos, são: Média dos Erros Preditos (M), Média dos Erros Padronizada (MS), Raiz Quadrada da Média do Erro ao Quadrado (RMS), Média da Variância dos Erros Padronizados (ASE) e Raiz Quadrada da Média dos Erros Padronizados ao Quadrado (RMSS).

Modelos que oferecem predições acuradas precisam obedecer a premissa de que as estatísticas M e MS devem estar próximas a zero, e os valores em RMS, ASE e RMSS sejam próximos de 1 (ESRI, 2016).

Do ajuste dos modelos de semivariograma aos dados, foram definidos os seguintes parâmetros: efeito pepita, patamar e alcance. Após foi definido, o grau de dependência espacial (GDE) sendo classificado conforme Cambardella et al. (1994), onde a dependência espacial é fraca, quando a razão do efeito pepita for superior a 75 % do patamar, a dependência espacial moderada, quando a razão do efeito pepita for superior a 25 % e inferior ou igual a 75 % do patamar e a dependência espacial forte, quando a razão do efeito pepita for inferior ou igual a 25 % do patamar.

Em seguida, os mapas foram gerados com a aplicação do interpolador de krigagem ordinária, seguindo a rotina: ArcToolbox → Spatial Analyst → Interpolação → Krigagem → Ordinária.

Por fim, procedeu-se com a análise do balanço (saldo) do SOC mediante a análise do acúmulo e perda deste, numa área de transição do campo nativo para PC.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O CO apresentou valor médio de 18,83 g Kg<sup>-1</sup>, no campo nativo (Tabela 1), sendo que, considerando os valores obtidos por Bernoux et al. (2001), o solo encontra-se dentro da média nacional. Conforme Warrick e Nielsen (1980), o CO apresentou variabilidade média de 28%. Já no PC o valor médio do CO foi de 14,73 g Kg<sup>-1</sup>, com variabilidade média de 19,86%, conforme tabela 1. Assim pode-se observar que o valor médio de CO foi reduzido no PC, devido o manejo empregado nesse sistema. Compreende-se que o CO encontrava-se em um sistema estável (campo nativo) e foi exposto pelo processo de aração a diferentes fatores de perdas como, processos erosivos, aceleração do ciclo de transformação da MO e emissão de CO<sub>2</sub>.

A tabela 1 demonstra que o valor médio determinado para a DS foi de 1,34 g.cm<sup>-3</sup>, sob campo nativo, e no PC foi de 1,21 g.cm<sup>-3</sup>, assim sendo considerados valores aceitáveis para o desenvolvimento da maioria das culturas. A DS em campo nativo apresentou um coeficiente de variação (CV) de 7,46% e no PC de 7,56%, ambas classificadas como de baixa variabilidade.

A tabela 1 demonstra que o valor médio determinado para a DS foi de 1,34 g.cm<sup>-3</sup>, sob

campo nativo, sendo considerado aceitável para o desenvolvimento da maioria das culturas. O CV para a DS foi de 7,46%, sendo considerado baixo.

O valor médio determinado para a DS no PC foi de 1,21 g.cm<sup>-3</sup>, também aceitável para o desenvolvimento das culturas. Esse valor baixo para a DS em PC quando comparado ao campo nativo, se deu pelo revolvimento do solo, causando uma desagregação das partículas, com o rompimento as camadas adensadas do mesmo. A variabilidade em PC foi 7,56%, classificada como baixa.

O solo amostrado em campo nativo, e posteriormente em PC variou de 50 cm a 110 cm de profundidade, obtendo valor médio de 33 cm, apresentando CV elevado (79,26%) (Tabela 1). Conforme o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (2013), a profundidade de até 50 cm da superfície do solo classifica como NEOSSOLO LITÓLICO, e profundidades maiores que 50 cm caracteriza um NEOSSOLO REGOLÍTICO.

Sob campo nativo o SOC obteve valor mínimo de 9,27 Mg ha<sup>-1</sup> e o valor máximo de 300,64 Mg ha<sup>-1</sup>, perfazendo uma média de 87,03 Mg ha<sup>-1</sup>, corroborando com a média encontrada por Braz et al. (2004) numa área de pastagem, na profundidade de 1 m. Porém cabe salientar que os solos em estudo, apresentam média bem inferior a 1 m.

Os valores de SOC podem estar atrelados, em parte, a deposições contínuas e variadas de diversos materiais orgânicos com diferentes graus de decomposição, dada a diversidade vegetal da pastagem natural. DIAS-FILHO (2006), salienta que em ecossistemas nativos a matéria orgânica do solo, encontra-se em equilíbrio dinâmico onde as entradas e saídas se equilibram (Tabela 1).

Já no PC, o SOC apresentou valor mínimo de 5,26 Mg ha<sup>-1</sup> e o valor máximo de 171,23 Mg ha<sup>-1</sup>, com uma média de 60,05 Mg ha<sup>-1</sup>. O SOC apresentou alta variabilidade (85,81%) (Tabela 1).

Podemos analisar um elevado CV do SOC, tanto para o campo nativo (86,45%) como para o PC (85,81%), tendo relação direta com a profundidade do solo (Tabela 1).

Tabela 1 - Análise estatística descritiva das propriedades de NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos e NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Distróficos, sob campo nativo (2016) e plantio convencional (2017).

Propriedade	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV (%)	K-S	Sig
<b>Campo nativo</b>							
<b>CO (g kg<sup>-1</sup>)</b>	13,91	51,86	18,83	5,33	28,00	1,53	0,019
<b>DS (g cm<sup>-3</sup>)</b>	0,99	1,55	1,34	0,10	7,46	0,49	0,966
<b>Prof. (cm)</b>	0,50	110,00	33	0,26	79,26	1,79	0,003
<b>SOC (Mg ha<sup>-1</sup>)</b>	9,27	300,64	87,04	75,24	86,45	1,44	0,031
<b>Plantio convencional</b>							
<b>CO (g kg<sup>-1</sup>)</b>	1,41	21,66	14,73	2,93	19,86	0,99	0,285
<b>DS (g cm<sup>-3</sup>)</b>	1,00	1,34	1,21	0,09	7,56	0,86	0,450
<b>Prof. (cm)</b>	0,50	110,00	0,33	0,26	79,26	1,79	0,003
<b>SOC (Mg ha<sup>-1</sup>)</b>	5,26	171,23	60,05	51,54	85,81	1,59	0,013

Legenda: CO: Carbono orgânico. DS: Densidade do solo. Prof.: Profundidade do solo. SOC: Estoque de carbono orgânico do solo. CV: Coeficiente de variação. K-S: Teste de Kolmogorov-Smirnov. Sig: Significância (p<0,05).

Com a implantação do PC na área onde era campo nativo, foi observado uma perda média de 31% (saldo) do SOC. Dado semelhante foi encontrado por Sá et al. (2014), que observou um estoque médio de 29% de C na camada de 0-20 cm de profundidade, em uma conversão do campo nativo para o PC.

A alteração do uso do solo promoveu uma perda de SOC, visto que ao analisar os valores máximos de cada sistema, no PC em relação ao campo nativo houve uma perda no valor máximo de SOC de 42,93% (saldo), isso nos mostra como a ação antrópica influi diretamente na perda desse elemento nas camadas superficiais do solo.

De acordo com Tivet et al. (2013), as mudanças no uso da terra constitui um importante fator que afeta o SOC e a distribuição no perfil do solo. Analisamos que com a transição de campo nativo para PC, houve uma redistribuição desse elemento do terço superior da encosta (Catena) para o terço médio, e nos locais de depósitos o CO se perdeu por processos erosivos e volatilização (Figura 1).

O saldo do SOC, apresentou significativos valores de perda, demonstrando valores que vão de 2,19 Mg ha<sup>-1</sup> como mínimo, até 129,41 Mg ha<sup>-1</sup> de valor máximo, como demonstrado na tabela 2.

Tabela 2 - Análise estatística descritiva do saldo do CO sob NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos e um NEOSSOLOS REGOLITICOS Distróficos

SOC	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV (%)	K-S	Sig
<b>SOC (Mg ha<sup>-1</sup>)</b>	2,19	-129,41	-26,9788	29,44617	109,14	1,672	0,007

Legenda: SOC: Estoque de carbono orgânico do solo. CV: Coeficiente de variação. K-S: Teste de Kolmogorov-Smirnov. Sig: Significância (p<0,05).

O emprego do PC, com a utilização de práticas como gradagem e aração, ocasionou uma perturbação do solo, pois esse sistema de manejo causa uma desagregação da estrutura do solo, expondo suas camadas para superfície, deixando vulnerável à ação da chuva. Com isso verificou-se uma redistribuição do CO que estava estocado no topo da encosta (Catena) para o terço médio, e no local de depósito ocorreu lixiviação desse elemento, perdendo-se da área de estudo (Figura 2).

Para mensurar o quanto é agrupada a distribuição espacial de uma variável calcula-se o grau de dependência espacial (GDE) (MOLIN et al., 2015). Na classificação de Cambardella et al. (1994), os valores para o SOC no campo nativo e no plantio convencional e ainda o saldo de perdas, apresentaram forte grau de dependência espacial (GDE ≤ 25%) (Tabela 3).

Os componentes responsáveis pelo ajuste da dependência espacial, descreveram para o SOC em campo nativo e o saldo de perdas o valor do efeito pepita igual a 0, valores do patamar de 3244,78 e 645,16, respectivamente. Para p SOC no PC, obteve-se um efeito pepita de 485,45, e do patamar de 3049,77 (Tabela 3).

Para os valores do SOC no campo nativo, no PC e do saldo de perdas o semivariograma atinge o patamar com alcance de, respectivamente: 18,10; 86,55; e 17,45 m (Tabela 3). Corá e Beraldo (2006) afirmam que altos valores de alcance promovem maior qualidade nas estimativas realizadas.

Tabela 3 - Análise estatística descritiva do SOC do solo estudado.

SOC	Modelo	Alcance	Patamar	Pepita	Contribuição	Dependência	GDE
<b>2016</b>	Exponencial	18,10	3244,78	0,00	3244,78	Forte	0,00
<b>2017</b>	Circular	86,55	3049,77	485,45	2564,32	Forte	15,92
<b>SALDO</b>	Esférico	17,45	645,16	0,00	645,16	Forte	0,00

Legenda: SOC: Estoque de carbono orgânico do solo (Mg ha<sup>-1</sup>). SOC 2016: Estoque de carbono orgânico do solo no campo nativo (Mg ha<sup>-1</sup>). SOC 2017: Estoque de carbono orgânico do solo no plantio convencional (Mg ha<sup>-1</sup>). GDE: Grau de dependência espacial.

Quanto menor a proporção do efeito pepita em relação ao patamar do semivariograma, maior será a dependência espacial apresentada pela propriedade. Por conseguinte, maior será a continuidade espacial do fenômeno, menor a variância da estimativa e maior a confiança nas estimativas (VIEIRA, 1997; LIMA, 2010). Se o valor do efeito pepita é 0, quer dizer que o erro experimental é praticamente nulo, e que não existe uma variação significativa para distâncias menores que a amostrada (TRANGMAR et al., 1985).

A estrutura de dependência espacial do SOC no campo nativo ajustou-se conforme o modelo teórico exponencial. O SOC em PC ajustou-se ao modelo circular. Já o saldo de perdas do

CO obteve ajuste ao modelo esférico (Tabela 4). Na escolha da melhor modelagem do semivariograma para os valores do SOC em campo nativo e em PC, e do saldo de perdas, a validação cruzada foi executada a fim de selecionar os menores erros para efetivar a krigagem.

Sendo assim no teste de validação cruzada o SOC apresentou a Média dos Erros Preditos (M) de 2,0010, a Raiz Quadrada da Média do Erro ao Quadrado (RMS) de 61,3207, a Média dos Erros Padronizada (MS) de 0,0293, a Raiz Quadrada da Média dos Erros Padronizados ao Quadrado (RMSS) de 1,0056 e a Média da Variância dos Erros Padronizados (ASE) de 60,5600 (Tabela 3). O SOC no PC, demonstrou a M de 0,7244, RMS de 34,7544, MS de 0,0104, RMSS de 0,9594 e ASE de 35,7625. Já o saldo de perdas na alteração dos sistemas, estabeleceu a M de 0,6156, RMS de 27,3522, MS de 0,0208, RMSS de 1,0170 e ASE de 26,4948 (Tabela 4).

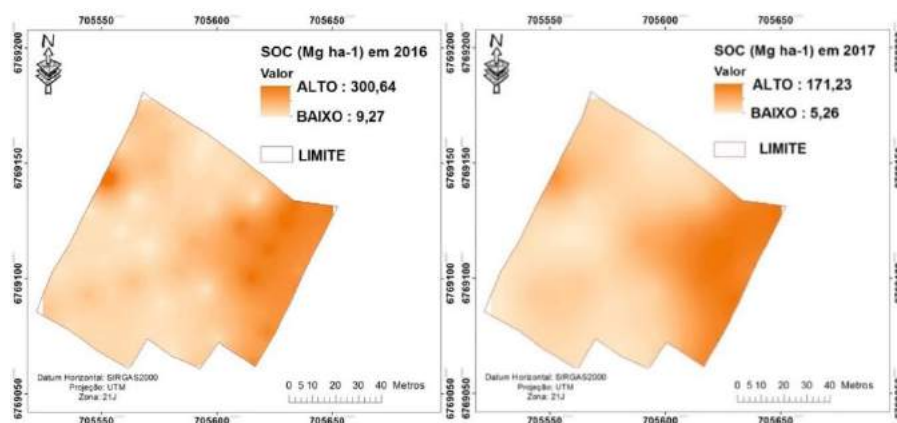
Tabela 4 - Parâmetros da validação cruzada dos semivariogramas ajustados para o SOC em campo nativo e posteriormente em plantio convencional, e o saldo da transição.

SOC	M	RMS	MS	RMSS	ASE
2016 (Mg ha <sup>-1</sup> )	2,0010	61,3207	0,0293	1,0056	60,5600
2017 (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,7244	34,7544	0,0104	0,9594	35,7625
SALDO (Mg ha <sup>-1</sup> )	0,6156	27,3522	0,0208	1,0170	26,4948

Legenda: SOC: Estoque de carbono orgânico do solo (Mg ha<sup>-1</sup>). SOC 2016: Estoque de carbono orgânico do solo no campo nativo (Mg ha<sup>-1</sup>). SOC 2017: Estoque de carbono orgânico do solo no plantio convencional (Mg ha<sup>-1</sup>). M: Média. RMS: Raiz Quadrada Média. MS: Média Padronizada. RMSS: Raiz Quadrada Média Padronizada. ASE: Erro Médio Padrão.

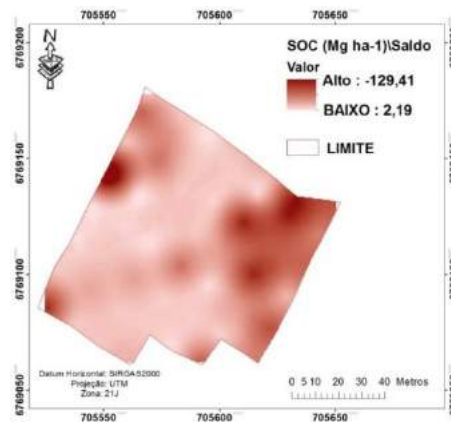
Pela análise dos teores de CO nos dois sistemas estudados, podemos observar que em 2016 o SOC na área sob campo nativo apresentava um valor mínimo de 9,27 g kg<sup>-1</sup> e um valor máximo de 300,64 g kg<sup>-1</sup>. Em 2017, observamos que esse SOC em PC apresentou uma redução significativa, onde o valor mínimo encontrado foi de 5,26 g kg<sup>-1</sup> e o valor máximo foi de 171,23 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 1).

Figura 1 - Mapa da distribuição do SOC sob NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos e NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Distróficos.



Com a análise da perda do SOC, na alteração do uso do solo de campo nativo para PC, podemos observar os valores do saldo, onde foi quantificado as perdas do CO na área. Para essa análise obtivemos valor máximo de perda de -129,41 g kg<sup>-1</sup> e na meia encosta houve o ganho do SOC (Figura 2).

Figura 2 - Mapa da distribuição espacial do saldo do SOC sob NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos e um NEOSSOLOS REGOLITICOS Distróficos.



Este estudo abre novos caminhos para pesquisas futuras, pois, possibilita relacionar os atributos do terreno com o SOC; também, utilizar traçadores isotópicos como o Césio-137 e C14 para estudar a redistribuição do SOC. Por fim, utilizar modelos de redistribuição do SOC, como o Seros C (VAN OOST et al., 2005), para descrever estes processos na escala de encostas.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O terço inferior (área de depósito) e superior da encosta, foram os sítios que demonstraram maior perda do SOC, com a transformação do campo nativo para o plantio convencional.

O SOC oriundo do terço superior da encosta foi redistribuído e depositado, principalmente, na meia encosta (terço médio).

A área de depósito presente em 2016, teve o SOC exportado para fora da encosta.

Com a transição do campo nativo para o plantio convencional, houve uma redução da DS, devido o revolvimento das camadas e essa desagregação da estrutura do solo propiciou as perdas por erosão e dissipação do CO.

A densidade amostral foi de grande importância para a definição das variáveis com exatidão.

As técnicas de simulação espaço-temporais demonstraram uma ótima performance para o monitoramento das alterações no SOC, após a transformação de um sistema natural estável para o sistema de cultivo, com alto revolvimento do solo.

## REFERÊNCIAS

BAYER, C.; SPAGNOLLO, E.; WILDNER, L. P.; ERNANI, P. R.; ALBURQUEQUE, J. A. Incremento de carbono e nitrogênio num latossolo pelo uso de plantas estivais para cobertura do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, p. 469-475, 2003.

BERNOUX, M. et al. CO2 emission from mineral soils following land-cover change in Brazil. **Global Change Biology**, Oxford, v. 7, p. 779-787, 2001.

BRAZ, S. P. et al. Degradação de pastagens, matéria orgânica do solo e a recuperação do potencial produtivo em sistemas de baixo "input" tecnológico na região dos cerrados, **Embrapa Agrobiologia**, Seropédica, Dez. 2004. 8 p. (Circular Técnica, 9).

BRUCE, J. P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R. Carbon sequestration in soils. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 5, p. 382-389, 1999.

CAMBARDELLA, C. A et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 58:1501-1511, 1994.

- CARAM, R. O. **Reconstrução de séries e análise geoestatística da precipitação no Estado de Minas Gerais**. 2007. 92f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/ MG.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistema de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.3, p.527-38, 1998.
- CORÁ, J. E.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v.26, n.2, p.374-387. 2006.
- DIAS-FILHO, M. B. Sistemas silvipastoris na recuperação de pastagens degradadas. **Embrapa Amazônia Oriental**. Belém, n.1, 31p, Dez.2006.
- DONAGEMA, G.K. et al. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).
- ENVIROMENMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Using ArcGIS geoestatistical analyst**. Redlands, 2016. Disponível em <http://www.esri.com>.
- FITZSIMMONS, M. J.; PENNOCK, D. J.; THORPE, J. Effects of deforestation on ecosystem carbon densities in central Saskatchewan, Canada. **Forest Ecology and Management**, v.188, n. 1-3, p. 349-361, Feb. 2003.
- IBGE. 2003. **Mapas temáticos do Projeto RADAMBRASIL do Rio Grande do Sul na escala 1:250.000**. IBGE/SAA - RS, Florianópolis. 2003 CD - ROM.
- IBGE. 2004. **Mapa de Biomas do Brasil, primeira aproximação**. Rio de Janeiro: IBGE. Acessível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br).
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. An introduction to applied geostatistics. **Oxford University Press**, New York, p.278,1989.
- KÖPPEN, W. **Climatologia**. México, Fundo de Cultura Econômica, 1931.
- LAL, R. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. **Science**, v.304, p.1623-1627, 2004.
- LAL, R. Soil erosion and the global carbon budget. **Environment International**, Cumbria, v. 29, p. 437-450, 2003.
- LEITE, P. F. Contribuição ao conhecimento Fitoecológico do Sul do Brasil. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 51-73, 2002.
- MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLACO, A. F. Agricultura de precisão. São Paulo: **Oficina de Textos**, p. 111, 2015.
- MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**: Transformações bioquímicas e ciclos dos elementos no solo. Lavras, MG. Universidade Federal de Lavras, 2006, p 326.
- MORENO, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, **Secretaria da Agricultura**, 42p, 1961.
- TIVET, F.; SÁ, J.C.M.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; BORSZOWSKI, P.R.; BURKNER, J.D.S.; FARIAS, A.; EURICH, G.; HARTMAN, D.D.C.; NADOLNY, M.J.; BOUZINAC, S.L.S. Aggregate C depletion by plowing and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 126, p. 203–218, 2013.
- PÖTTKER, D. **Efeito do tipo de solo, tempo de cultivo e da calagem sobre a mineralização da matéria orgânica em solos do Rio Grande do Sul**. 1977. 128 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

RAIJ, B. V. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

SÁ, J.C.M.; TIVET, F.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D.D.C.; SANTOS, J.F.; SANTOS, J.B.D. Long term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 136, 38-50, 2014

SANTANA, R. A. **Avaliação de técnicas geoestatísticas no inventário de povoamentos de *Tectona grandis* L. f.** 2011. 43 p. Dissertação, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA JÚNIOR, J. F. da. **Simulação geoestatística e classificação numérica para o delineamento de unidade de mapeamento de atributos e erosão do solo**. 2014. 111p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2014.

SLEUTEL, S.; DE NEVE, S.; HOFMAN, G. Estimates of carbon stock changes in Belgian cropland. **Soil Use and Management**, v. 19, n. 2, p. 166-171, 2006.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. do; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. Solos do Rio Grande do Sul. 2 ed. Porto Alegre: **EMATER/RS - ASCAR**, 2008. 222 p.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; WADE, M. K.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.38, n.1, p.45-94, 1985.

VAN OOST, et al., 2005. From water to tillage erosion dominated landform evolution. **Geomorphology** 72 (1-4), 193-203.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (ed.) Applications of soil physics. **Academic Press**, New York, 1980.

## CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO

*Electrical conductivity of soil and its relation to the productivity of corn grains*

Luan Pierre Pott<sup>1</sup>, Telmo Jorge Carneiro Amado<sup>2</sup>, Antônio Gutheil<sup>3</sup>, Brian Silveira Trindade<sup>4</sup>,  
Tiago De Gregori Teixeira<sup>5</sup>, Darlan Preuss<sup>6</sup>

<sup>1,2,4,5,6</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000, 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil,  
**luanpierrepot@hotmail.com, florestatel@hotmail.com, brianstrindade@hotmail.com,**  
**t18t@hotmail.com, darlanpreuss@hotmail.com**

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo Profissional RTV Dekalb, Rua do Comércio, 98700-972, Ijuí – RS, Brasil,  
**antonio.l.gutheil@monsanto.com**

### RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo determinar a condutividade elétrica aparente de um solo e relacionar esse atributo com a produtividade de grãos da cultura do milho. A área estudada era sob pivô central com manejo do CLUBE DA IRRIGAÇÃO. As avaliações foram realizadas durante a safra agrícola de 2013/14 e 2014/2015 ambos anos com o cultivo de milho. A análise de correlação dos atributos trabalhados demonstrou-se que há correlação positiva entre condutividade elétrica do solo e a produtividade de grãos safra 2013/2014 como também com a produtividade de grãos da safra 2014/2015, com valores de 0,5199 e 0,5711 respectivamente. Também pode-se observar a similaridade da variabilidade espacial da produtividade da cultura do milho nas duas safras estudadas, com coeficiente de correlação de 0,675. Desta forma pode-se concluir que o mapeamento da condutividade elétrica aparente do solo tem alto potencial para delinear a variabilidade espacial da produtividade de grãos da cultura do milho.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão. Condutividade elétrica. Variabilidade espacial.

### ABSTRACT

The present work had as objective to determine the apparent electrical conductivity of a soil and to relate this attribute with grain yield of the corn crop. The area studied was under the central pivot of management of the CLUBE DA IRRIGAÇÃO. The evaluation was carried out in 2013/14 and 2014/2015 both years with the cultivation of corn. A correlation analysis of the attributes worked showed that there is a positive correlation between soil electrical conductivity and crop yield 2013/2014 as well as grain yield of the 2014/2015 crop, with values of 0.5199 and 0.5711, respectively. It is also possible to observe a similarity of spatial variability of maize crop productivity in the two harvests studied, with a correlation coefficient of 0.675. Then, it can be concluded that the mapping of the apparent electric conduction of the soil has high potential to delineate the spatial variability of grain yield of maize crop.

**Keywords:** Precision agriculture. Electrical conductivity. Spatial variability.

## 1 INTRODUÇÃO

O milho é o cereal de maior volume de produção no mundo. O Brasil no ano agrícola 2016/2017 obteve produção de 93,835 milhões de toneladas, com produtividade média de 5.409 t ha<sup>-1</sup>, (CONAB, 2017).

A variabilidade espacial ou a heterogeneidade da produtividade de grãos pode estar associada a uma série de fatores que interagem de forma complexa e condicionam a expressão da cultura. O estudo da variabilidade espacial de atributos de solo e de planta e da produtividade da cultura é fundamental para o entendimento dos fatores que determinam a expressão do potencial produtivo da cultura e sua variabilidade em uma área agrícola, o que pode levar ao desenvolvimento de práticas de manejo sítio-específicas, visando à maximização do potencial produtivo em diferentes zonas da lavoura, (VIAN, A. L. et al, 2016).

Geralmente, a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo é intrínseca a cada local e condições de solo e clima. A variabilidade espacial em culturas é o resultado de uma



função com vários fatores, tais como, biológico (microbiologia, biologia, etc.), edáfico (salinidade, matéria orgânica, acidez, fertilidade, etc.), antrópico (atividades humanas, compactação do solo devido a máquinas agrícolas), topografia (relevo, elevação, declividade) e climático (umidade relativa, temperatura, condições adversas, etc.). No entanto, os métodos disponíveis para a determinação dos atributos referentes a variabilidade espacial, em geral, são caros e demandam grande quantidade de tempo e mão-de-obra. Nesse contexto, tem crescido o interesse por métodos que permitam determinar a variabilidade espacial de atributos do solo de maneira rápida e barata, de forma a proporcionar a obtenção de um grande número de medidas por unidade de área, como a condutividade elétrica aparente do solo (CEa), (MACHADO et al., 2006).

A medida de condutividade elétrica é um produto de fatores tanto estáticos como dinâmicos que incluem a salinidade do solo, a mineralogia e argila, umidade, resistividade e temperatura (JOHNSON et al., 2003; MOLIN; RABELLO, 2011). A condutividade elétrica do solo está ganhando cada vez mais importância para caracterizar as variabilidades de campo com aplicações em agricultura de precisão, por ser de fácil uso e apresentar alta confiabilidade na informação.

A medição da condutividade elétrica aparente do solo é uma tecnologia que se tornou uma ferramenta valiosa para identificar as características físico-químicas do solo que influenciam os padrões de rendimento das culturas, possibilitando o estabelecimento de parâmetros que explicam a variação espacial dessas propriedades no solo (CORWIN et al., 2003).

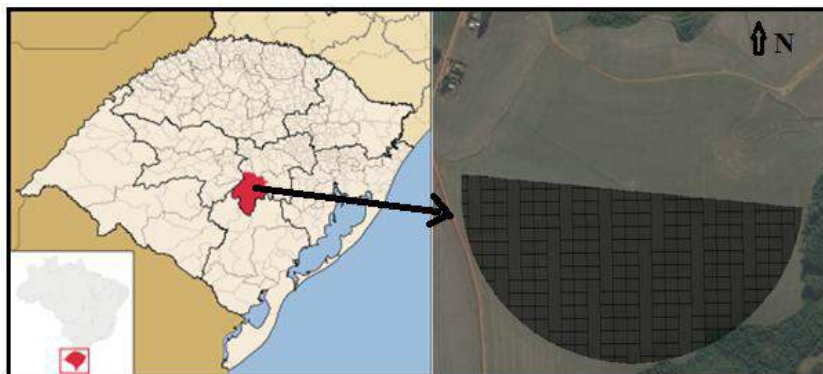
Nesse contexto o presente trabalho teve como objetivo associar a condutividade elétrica aparente de um Argissolo e relacionar esse atributo com a produtividade de grãos do milho.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Cachoeira do Sul - RS, com coordenadas geográficas de 52,9658° O, 30,3054° S, tendo como média 124m de altitude. Segundo KÖPPEN a classificação do clima é Cfa. A temperatura média anual em Cachoeira do Sul é de 19,4 °C com pluviosidade média anual de 1416 mm. O solo analisado foi um Argissolo Vermelho Distrófico arênico, (Embrapa, 2006).

A área estudada era sob pivô central sob manejo do CLUBE DA IRRIGAÇÃO. O pivô central foi dividido pela metade para o estudo, totalizando nesse experimento área de 25 ha, (Figura 1). As avaliações foram realizadas durante a safra agrícola de 2013/14 e 2014/2015 ambos anos com o cultivo de milho.

Figura 1 - Município de Cachoeira do Sul com detalhe para a área de estudo.



Fonte: Site Município de Cachoeira do Sul, adaptado de imagens aéreas Google Earth.

O mapeamento de condutividade elétrica foi realizado no dia 13 de agosto de 2016 com o equipamento VERIS 3100 (Veris Technologies, EUA) o qual realiza uma leitura por segundo. Para este trabalho utilizou-se a largura aproximada de 15 metros entre faixas, resultando em um acumulado de 1900 pontos de leitura, média de 76 pontos ha<sup>-1</sup>.

Para a obtenção do mapa de produtividade do milho, foi utilizado o Sensor de

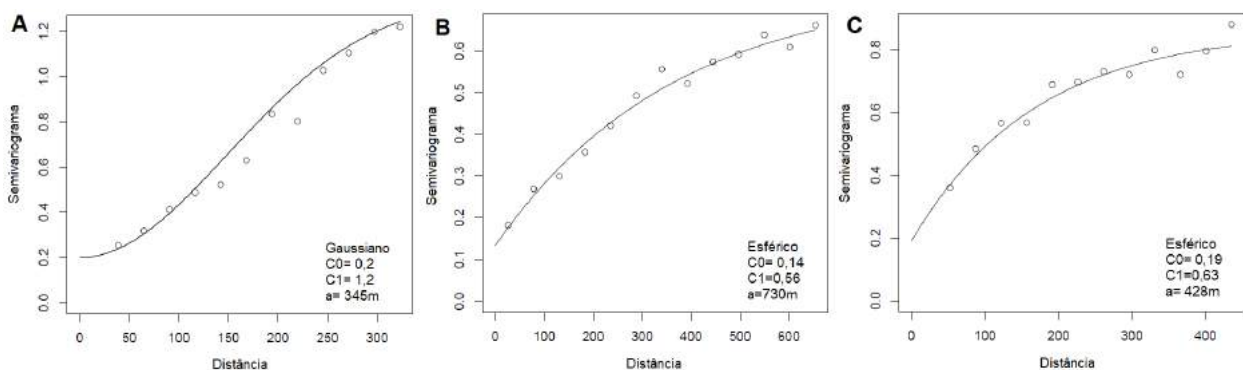
produtividade (Stara S/A), o qual utiliza um sensor de infravermelho para determinar a produção, o sensor também determina a umidade dos grãos. O conjunto estava associado ao receptor GPS Novatel com sinal diferencial OmniSTAR, nos dois anos de cultivo de milho.

As análises de geoestatística bem como seus parâmetros foram ajustadas realizando validação cruzada. Os mapas temáticos de condutividade elétrica e produtividade de milho tanto do ano 2013/2014 como 2014/2015 foram interpolados utilizando a ferramenta de krigagem ordinária. Também foi realizado correlação linear de Pearson. Todas estas análises foram realizadas através do programa R (R CORE TEAM, 2016).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os semivariogramas ajustados com os parâmetros do modelo, efeito pepita ( $C_0$ ), contribuição ( $C_1$ ) e alcance ( $a$ ) das variáveis condutividade elétrica aparente do solo, produtividade de grãos da safra 2013/2014 e 2014/2015 podem ser observados na Figura 2.

Figura 2 – Semivariogramas ajustados das variáveis estudadas.



Legenda: A= condutividade elétrica aparente do solo, B= produtividade de grãos da safra 2013/2014 e C= produtividade de grãos da safra 2014/2015.

Pode-se observar através dos mapas temáticos de condutividade elétrica aparente do solo (Figura 3) e da produtividade de grãos da safra 2013/2014 e 2014/2015 (Figuras 4 e 5), que as variações locais observadas para a condutividade elétrica aparente do solo condizem com variabilidade espacial da produtividade de grãos, independentemente da safra estudada.

Figura 3 - Mapa temático da condutividade elétrica aparente do solo em estudo.

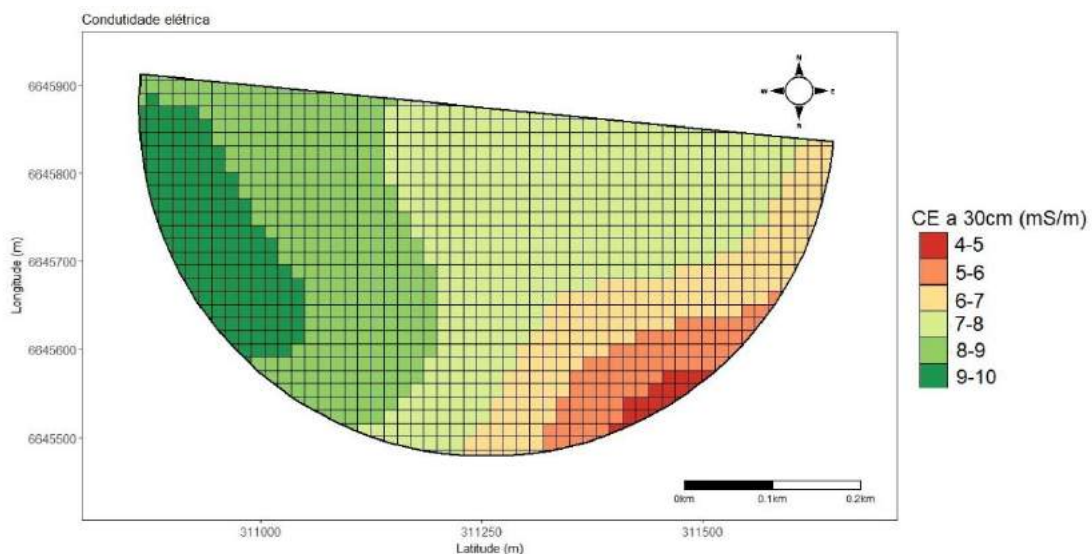


Figura 4 - Mapa temático da produtividade de grãos de milho safra 2013/2014 da área de estudo.

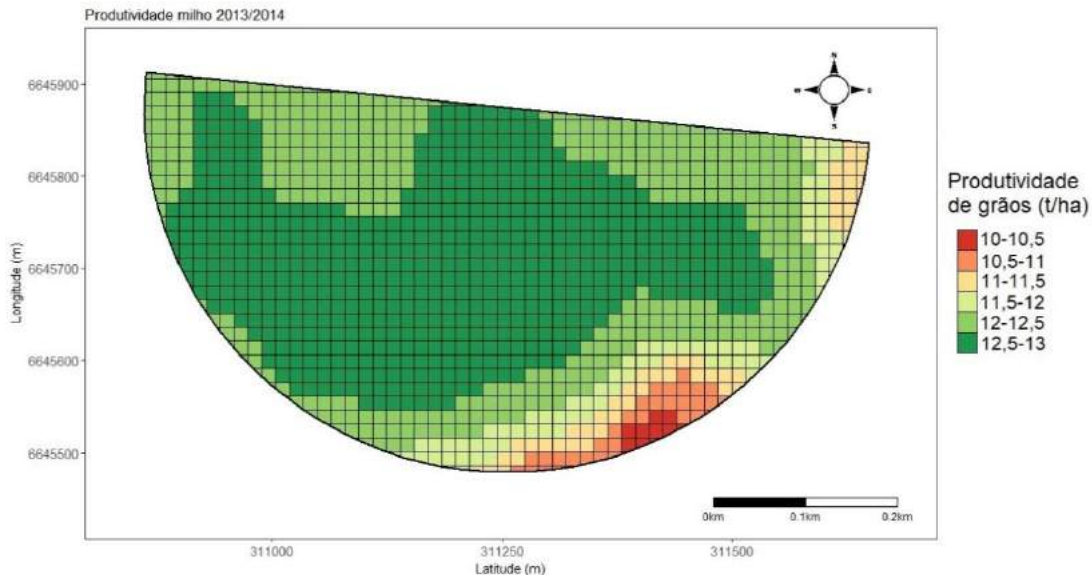
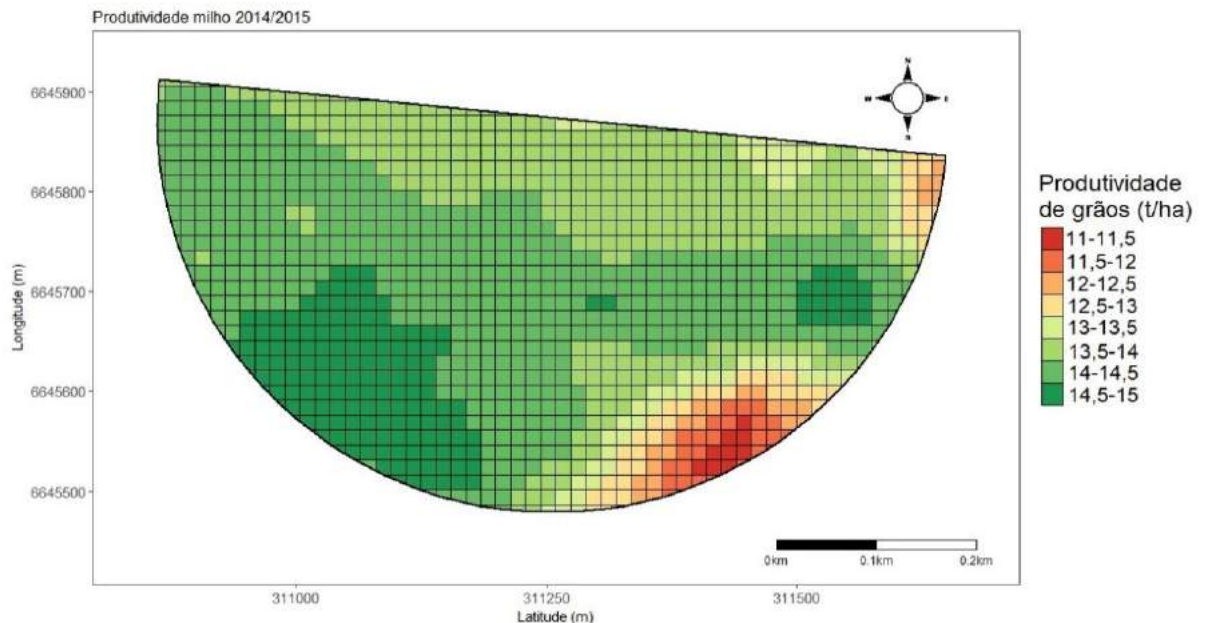


Figura 5 - Mapa temático da produtividade de grãos de milho safra 2014/2015 da área de estudo.



Segundo Corassa et al. (2016) em Latossolo Vermelho Distrófico no Sul do Brasil, a condutividade elétrica aparente apresenta relação direta com a produtividade de grãos de milho. Uma vez que a condutividade elétrica representa a capacidade do solo de conduzir corrente elétrica através da solução do solo, partículas sólidas e cátions trocáveis presentes na superfície dos argilominerais. Portanto, ela se relaciona à textura, à capacidade de troca catiônica, ao conteúdo de água, à salinidade, e à declividade e acidez do solo (LUND et al., 1999; VALENTE et al., 2012; PERALTA & COSTA, 2013; PERALTA et al., 2013).

Através da análise de correlação dos atributos trabalhados, pode-se verificar que há correlação positiva entre condutividade elétrica do solo e a produtividade de grãos safra 2013/2014 como também com a produtividade de grãos da safra 2014/2015, com valores de

0,5199 e 0,5711 respectivamente, (Tabela 1).

Também pode-se observar a similaridade da variabilidade espacial da produtividade da cultura do milho nas duas safras estudadas, com coeficiente de correlação de 0,675, (Tabela 1). Variabilidade espacial que pode ser explicada pela variação da altitude, acidez e fertilidade do solo, condições físicas do solo, declividade, entre outros atributos.

Tabela 1 - Correlações dos atributos avaliados no trabalho.

Correlações	Condutividade elétrica	Produtividade milho 2013/2014	Produtividade milho 2014/2015
Condutividade elétrica	1	-	-
Produtividade milho 2013/2014	0,5199*	1	-
Produtividade milho 2014/2015	0,5711*	0,675*	1

Legenda: \* Refere-se à correlação significativa estatisticamente,  $\alpha=0,05$ .

Os resultados corroboram com os trabalhos de Corassa et al. 2016, que em Latossolo Vermelho distrófico no Sul do Brasil, a condutividade elétrica aparente apresenta relação direta com a produtividade de grãos de milho.

## 4 CONCLUSÃO

O mapeamento da condutividade elétrica aparente do solo tem alto potencial para representar a variabilidade espacial da produtividade de grãos da cultura do milho.

## REFERÊNCIAS

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Nono levantamento. V. 4 - Safra 2016/17.

CORASSA, G. M.; AMADO, J. C. A.; TABALDI, F. M.; SCHWALBERT, R. A.; REIMCHE, G. B.; DALA NORA, D.; ALBA, P. J.; HORBE, T. A. N. Espacialização em alta resolução de atributos da acidez de Latossolo por meio de sensoriamento em tempo real. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.9, p.1306-1316, set. 2016.

CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: theory, principles, and guidelines. **Agronomy Journal**, v. 95, n. 3, p. 455-471, 2003.

LUND, E.D; COLIN, P.E; CHRISTY, D.; DRUMMOND, P.E. Applying soil electrical conductivity technology to precision agriculture. In: ROBERT, P.C.; RUST, R.H.; LARSON, W.E. (Ed.). **Precision agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1999. p.1089-1100.

MACHADO, P.L.O. de A.; BERNARDI, A.C. de C.; VALENCIA, L.I.O.; MOLIN, J.P.; GIMENEZ, L.M.; SILVA, C.A.; ANDRADE, A.G. de; MADARI, B.E.; MEIRELLES, M.S.P. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de um Latossolo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1023-1031, 2006.

MOLIN, J.P.; CASTRO, C.N. de. Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the fuzzy clustering technique. **Scientia Agricola**, v.65, p.567-573, 2008.

MOLIN, J.P.; RABELLO, L.M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. **Engenharia na Agricultura**, v. 31, n. 1, p. 90-101. 2011.

PERALTA, N.R.; COSTA, J.L. Delineation of management zones with soil apparent electrical conductivity to improve nutrient management. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.99, p.218-226, 2013.

PERALTA, N.R.; COSTA, J.L.; BALZARINI, M.; ANGELINI, H. Delineation of management zones with measurements of soil apparent electrical conductivity in the southeastern Pampas. **Canadian Journal of Soil Science**, v.93, p.205-218, 2013.

R CORE TEAM, R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2016.

VALENTE, D.S.M.; QUEIROZ, D.M. de; CARVALHO PINTO, F. de A. de; SANTOS, N.T.; SANTOS, F.L. Relação entre condutividade elétrica aparente e propriedades do solo. **Revista Ciência Agrônômica**, v.43, p.683-690, 2012.

VIAN, A. L.; SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; SIMON, D. H.; DAMIANI, J. M.; BREDEMEIER, C. Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e sua correlação com variáveis explicativas de planta. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.46, n.3, p.464-471, mar, 2016

## CORRELAÇÃO E VARIABILIDADE ESPACIAL DA ESTRUTURA DE NEOSSOLOS, SOB CULTIVO DE SOJA EM PLANTIO CONVENCIONAL E SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

*Correlation and space variability of Neosols structure, under soybean  
cultivation in conventional plants and direct plants*

Gustavo Lamana<sup>1</sup>, Júlio César Wincher Soares<sup>2</sup>, Claiton Ruvier<sup>2</sup>, Daniel Nunes Krum<sup>1</sup>, Guilherme Fávero Rosado<sup>1</sup>, Thaylana da Rosa de Souza<sup>1</sup>, Lenon Vaz<sup>1</sup>, Nádia Mariane Mucha<sup>1</sup>, Guilherme Guerin Munareto<sup>1</sup>, Jéssica Santi Boff<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI – Campus Santiago, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, Santiago-RS, 97700-00, Brasil, [gustavo\\_lamana@hotmail.com](mailto:gustavo_lamana@hotmail.com)

<sup>1</sup> Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI – Campus Santiago, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, Santiago-RS, 97700-000, Brasil, [juliowincher@gmail.com](mailto:juliowincher@gmail.com)

### RESUMO

As propriedades físicas ligadas à estrutura dos solos possuem estreita afinidade. Diante disto, objetivou-se avaliar a variabilidade e a correlação das propriedades estruturais de NEOSSOLOS, sob cultivo da soja em plantio convencional (PC) e sistema de plantio direto (SPD). Foram coletadas amostras para a determinação da densidade do solo (DS), da porosidade total (PT), da macroporosidade (MACRO) e da microporosidade (MICRO). Os resultados das propriedades avaliadas indicam distribuição normal dos dados. A DS apresentou valor médio de 1,21 g cm<sup>-3</sup> em PC e 1,44 g cm<sup>-3</sup> no SPD, não comprometendo a produtividade dos solos agrícolas. Foram observadas correlações entre os diferentes componentes da estrutura dos solos, que se relacionaram no espaço. Os diferentes solos estudados apresentaram boa fertilidade física nos dois sistemas de manejo.

**Palavras chave:** Qualidade estrutural do solo. Geoestatística. Agricultura de precisão.

### ABSTRACT

The physical properties related to the soil structure have close affinity. The objective of this study was to evaluate the variability and correlation of the structural properties of NEOSSOLOS under conventional soybean cultivation (PC) and no-tillage system (SPD). Samples were collected to determine the soil density (DS), of total porosity (PT), macroporosity (MACRO) and microporosity (MICRO). The evaluated properties results indicate a normal data distribution. DS presented a mean value of 1.21 g.cm<sup>-3</sup> in PC and 1.44 g.cm<sup>-3</sup> in SPD, without compromising the productivity of agricultural soils. Correlations were observed between the different components of the soil structure, which were related in space. The different soils studied presented good physical fertility in both management systems.

**Keywords:** Soil structural quality. Geostatistics. Precision agriculture

## 1 INTRODUÇÃO

As propriedades físicas ligadas à estrutura dos solos são importantes para a determinação da sua capacidade em suportar culturas agrossilvipastoris e mantê-las em condições adequadas de desenvolvimento. Estas propriedades incidem num arranjo de partículas configurando um ambiente dinâmico, onde as suas alterações determinarão um novo comportamento dos processos que ocorrem no solo.

O monitoramento espacial da qualidade estrutural do solo descreve as alterações das propriedades físicas ligadas a sua estrutura no tempo e no espaço. Através dos resultados obtidos, podemos definir um melhor manejo e deste modo, contribuir com a conservação do solo, melhorando sua qualidade. Desta maneira, torna-se uma importante ferramenta nas funções de controle, fiscalização e monitoramento de áreas produtivas.

A relação entre os elementos minerais e orgânicos promove a organização e acomodamento das partículas no solo, resultando em melhorias da qualidade física. A relação destas propriedades com as frações líquidas e gasosas do solo, interferem na atividade biológica

do mesmo. Solos com uma boa estrutura possuem valores adequados de porosidade. E assim, promovem boa aeração, armazenamento e absorção de água favorecendo o crescimento radicular das plantas (FERREIRA, 2010).

Para avaliar a qualidade do solo, as análises devem ser realizadas sob três aspectos, sendo eles: físico, químico e biológico. Esse diagnóstico é de suma importância para estimar a degradação, aferir a necessidade de correção e habituar os sistemas de uso e manejo do solo (DEXTER, 2004). Entretanto, os atributos físicos merecem ênfase especial, uma vez que o mesmo tem fortes efeitos nos processos químicos e biológicos do solo. No entanto, seus estudos ainda são poucos na avaliação de sua qualidade.

As propriedades avaliadas incidem na análise de densidade do solo (DS), porosidade total (PT), macroporosidade (MACRO) e microporosidade (MICRO), compondo índices numéricos de qualidade dos solos, gráfica ou matemática-computacional. Normalmente, a obtenção desses índices de qualidade de solo é efetivada com coletas pontuais, configurando a necessidade por métodos de análises espacial para sua avaliação, ou seja, métodos que imponham continuidade aos dados com culminante acurácia.

Com o conhecimento da variabilidade espacial das propriedades estruturais do solo, é possível fazer a correlação espacial entre as variáveis. A correlação é adquirida através do semivariograma cruzado e ajustes de modelos matemáticos que descrevem o quanto a propriedade varia entre o espaço (TRANGMAR et al., 1985; WEBSTER, 1985; McBRATNEY e WEBSTER, 1986; ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989).

A hipótese deste estudo é que a utilização do plantio convencional (PC) promove outras feições estruturais ao solo em comparação com o sistema de plantio direto (SPD), e essas mudanças podem ser mensuradas com métodos de análises espaciais.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial e a correlação das propriedades físicas de NEOSSOLOS, sob cultivo da soja em plantio convencional e cultivo em sistema de plantio direto.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Fazenda Escola da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, campus Santiago, situada entre as coordenadas centrais UTM 705.589 E e 6.769.112 S (SIRGAS 2000, ZONA 21S).

Foram delimitadas duas áreas com solos classificados como NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos e NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Distróficos submetidos a cultura da soja. A delimitação da área no sistema de plantio direto resultou em 0,15 ha com uma malha amostral regular de 14 m e 23 pontos de prospecção. A área de plantio convencional foi de 1,17 ha em uma malha de 15 m e com 52 pontos de prospecção, em ambas as áreas a profundidade foi de 0-0,2 m.

Com obtenção de amostras indeformadas, foram determinadas as propriedades: densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade. Na obtenção dos resultados, as amostras foram submetidas ao teste de tensão com coluna d'água em alturas de 0-1 m. Posteriormente, as mesmas foram submetidas a secagem em estufa na temperatura de 105°C. Assim, gerando planilhas para os cálculos geoestatísticos.

Na alocação dos pontos nas diferentes áreas, foi utilizado um receptor GNSS (*Global Navigation Satellite System*) Leica, modelo Viva GS15, que utiliza dupla frequência (L1/L2) com disponibilidade de Real Time Kinematic (RTK).

Para avaliação da variabilidade do solo, foi realizada a análise estatística descritiva e de geoestatística. A hipótese de normalidade dos dados foi verificada através do teste de Kolmogorov-Smirnov (95%).

Foram utilizados os limites de coeficiente de variação (CV) estabelecidos por Warrick e Nielsen (1980), para a classificação da variabilidade das propriedades analisadas, sendo: CV < 12 %, 12 % < CV < 60 % e CV > 60 %, considerados de baixa, média e alta variabilidade, respectivamente.

As análises geoestatísticas foram realizadas no software do Sistema de Informações

Geográficas (SIG) ArcGIS® 10.4.1 (ArcToolbox → Geostatistical Analyst → Assistente de geostatística → Geoestatistical Methods → Kriging → Kriging type → Ordinary). O estimador de krigagem ordinária é descrito por Trangmar et al. (1985), com a seguinte equação:  $\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$ , em que:  $\hat{Z}(x_0)$  é a estimativa de krigagem para o local  $x_0$  não amostrado;  $Z(x_i)$  valor obtido por amostra coletada a campo;  $n$  corresponde ao número de amostras vizinhas; e  $\lambda_i$  são os pesos da krigagem atribuídos aos valores vizinhos  $Z(x_i)$  para estimar  $\hat{Z}(x_0)$  (CARAM, 2007; SILVA JÚNIOR, 2014).

Assim, as estimativas lineares e não enviesadas preditas pelo interpolador de krigagem ordinária, o qual utiliza a informação estrutural obtida pelo variograma e também, que considera a incerteza associada às estimativas da variância da krigagem, confere continuidade aos dados pontuais de uma amostra. Desta maneira, supera-se um dos gargalos das simulações espaciais, que é dar continuidade espacial acurada aos dados ou as informações de uma pesquisa.

Estabeleceram-se semivariogramas que possibilitam avaliar quantitativamente as variáveis em suas determinadas regiões. Com o uso do interpolador de krigagem ordinária, foram testados os modelos teóricos de semivariogramas: circular, esférico, exponencial, gaussiano e *stable*.

A seleção do modelo semivariográfico consiste naquele que simula o melhor resultado no teste de validação cruzada (*cross-validation*). A partir da comparação entre os valores reais e preditos das diferentes variáveis, a validação cruzada permite identificar a melhor estrutura de dependência espacial, assim indicando o erro de predição de cada valor testado (CARAM, 2007; SANTANA, 2011). Logo, os erros de predição testados, também chamados de resíduos, são: Média dos Erros Preditos (M), Média dos Erros Padronizada (MS), Raiz Quadrada da Média do Erro ao Quadrado (RMS), Média da Variância dos Erros Padronizados (ASE) e Raiz Quadrada da Média dos Erros Padronizados ao Quadrado (RMSS).

Os modelos que oferecem predições acuradas precisam corresponder à premissa de que as estatísticas M e MS devem estar próximas a zero, e os valores em RMS, ASE e RMSS sejam próximos de 1 (ESRI, 2016).

Do ajuste dos modelos de semivariograma aos dados, foram definidos os seguintes parâmetros: efeito pepita, patamar e alcance. Posteriormente, o grau de dependência espacial (IDE) foi classificado conforme Cambardella et al. (1994), onde a dependência espacial é fraca, quando a razão do efeito pepita for superior a 75 % do patamar, a dependência espacial moderada, quando a razão do efeito pepita for superior a 25 % e inferior ou igual a 75 % do patamar e a dependência espacial forte, quando a razão do efeito pepita for inferior ou igual a 25 % do patamar.

Por fim, foram gerados mapas temáticos utilizando o algoritmo de krigagem ordinária nos seguintes passos: ArcToolbox → Spatial Analyst → Interpolação → Krigagem → Ordinária, para assim, observar as relações das propriedades no espaço.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As avaliações das propriedades físicas apresentaram distribuição normal conforme o teste de Kolmogorov-Smirnov (95%) (Tabela 1).

Os valores médios das análises para DS foram de 1,21 g cm<sup>-3</sup> para plantio convencional e 1,44 g cm<sup>-3</sup> no sistema de plantio direto. Ao observamos que os solos amostrados classificam-se como de textura média (argila entre 20 e 55%), a densidade crítica segundo Reinert et al. (2001), para as culturas é de 1,55 g cm<sup>-3</sup>.

Para a porosidade total o valor médio encontrado no plantio direto é inferior a 50% (Tabela 1). Segundo Kiehl (1979), valores menores que 50% apresentam alguma dificuldade de desenvolvimento radicular, troca gasosa e infiltração de água. A divisão da porosidade total deve ser 1/3 para macroporosidade e 2/3 para microporosidade, nota-se que no plantio direto o valor de microporosidade foi baixo, mas ainda assim, sendo maior que a macroporosidade. No plantio convencional o valor da macroporosidade foi inferior a 10%, desta maneira, podem ocorrer restrições a infiltração e movimentação da água no perfil do solo e também, nas trocas gasosas



(TAYLOR e ASHCROFT, 1972).

O coeficiente de variação (CV) segundo Warrick e Nielsen (1980) foi considerado de média dispersão para a macroporosidade e microporosidade do sistema de plantio direto; e também para a macroporosidade no plantio convencional. As demais propriedades apresentaram baixa variabilidade em ambos os sistemas (Tabela 1).

Tabela 1 - Análise estatística descritiva das propriedades físicas de NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos e NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Distróficos, sob plantio convencional e sistema de plantio direto.

Propriedade	Pontos	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV (%)	K-S	SIG
<u>Plantio Convencional</u>								
DS (g cm <sup>-3</sup> )	52	1,00	1,43	1,21	0,12	7,50	0,85	0,46
PT (%)	52	45,55	62,00	54,03	5,64	6,40	0,86	0,45
MACRO (%)	52	1,17	19,27	7,30	4,36	47,80	0,63	0,82
MICRO (%)	52	34,42	54,78	46,73	4,37	6,00	0,81	0,53
<u>Plantio Direto</u>								
DS (g cm <sup>-3</sup> )	23	1,20	1,75	1,44	0,13	9,02	0,55	0,91
PT (%)	23	31,00	53,00	43,00	5,00	11,63	0,56	0,90
MACRO (%)	23	9,00	27,00	15,00	4,00	26,67	0,50	0,96
MICRO (%)	23	19,00	38,00	28,00	4,00	14,28	0,85	0,45

DS: Densidade do Solo. PT: Porosidade Total. MACRO: Macroporosidade. MICRO: Microporosidade. K-S: Kolmogorov-Smirnov a 95%. SIG: Significância.

O coeficiente de correlação de Pearson varia de 1 a -1, sendo que valores positivos indicam que uma determinada propriedade aumenta em função da outra e valores negativos indicam o inverso. A correlação espacial da densidade do solo foi negativa com as demais propriedades estudadas.

Dancey e Reidy (2006) classificam a correlação como fraca (0,10 até 0,30), moderada (0,40 até 0,60), e forte (0,70 até 1).

Desta maneira, observou-se correlação forte entre a densidade e porosidade total, e moderada para macroporosidade e microporosidade no plantio convencional e no sistema de plantio direto (Tabela 2).

Tabela 2 - Coeficientes de correlação de Pearson da densidade do solo (DS), porosidade total (PT), macroporosidade (MACRO) e microporosidade (MICRO) de NEOSSOLOS, sob cultivo da soja com plantio convencional (PC) e sistema de plantio direto (SPD).

Propriedade	Pontos	DS	PT	MACRO	MICRO
<u>Plantio Convencional</u>					
DS	52	-	-0,999**	-0,665**	-0,405**
PT	52	-0,999**	-	0,668**	0,403**
MACRO	52	-0,665**	0,668**	-	-0,412**
MICRO	52	-0,405**	0,403**	-0,412**	-
<u>Sistema de Plantio Direto</u>					
DS	23	-	-1,000**	-0,633**	-0,521*
PT	23	-1,000**	-	0,633**	0,521*
MACRO	23	-0,633**	0,633**	-	-0,331
MICRO	23	-0,521*	0,521*	-0,331	-

\*\*= Correlação significativa a 1%. \* = Correlação significativa a 5%. DS = Densidade do solo (g cm<sup>-3</sup>). PT = porosidade total (%). MACRO = macroporosidade (%). MICRO = microporosidade (%).

Para a porosidade total com macroporosidade e microporosidade, os valores foram positivos, assim, o aumento na porosidade total irá aumentar a macroporosidade e/ou microporosidade. A correlação foi considerada moderada para as mesmas nos dois sistemas de plantio. Na correlação entre macroporosidade e microporosidade o valor obtido é estimado como moderado no plantio convencional e fraco no plantio direto (Tabela 2).

Os semivariogramas para a densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade apresentaram valores de alcance maiores no plantio convencional de 24,25; 24,25; 18,77; 25,71 m, respectivamente. No sistema de plantio direto o alcance observado para as mesmas propriedades foi de 17,35; 18,79; 18,87; 24,75 m, respectivamente. Onde os valores representados são maiores de as suas malhas amostrais, sendo que no plantio convencional a malha foi de 15 m, e no sistema de plantio direto foi de 14 m. O alcance é um importante parâmetro no esboço do semivariograma, representando a distância máxima dos pontos das variáveis correlacionadas espacialmente (PANOSSO et al. 2008).

Os modelos teóricos que melhor se ajustaram as propriedades no plantio convencional foram o gaussiano para a densidade do solo e microporosidade; para a macroporosidade foi o exponencial; e para a porosidade total o melhor modelo ajustado foi o *stable* (Tabela 3).

O efeito pepita observado no estudo teve uma variação de 0 a 0,0946, estes resultados mostram que aconteceu baixa variabilidade nos dados não explicados, indicando que aconteceram poucas ou em alguns casos nenhuma variação, considerando a distância amostral utilizada no plantio convencional (CAMBARDELLA et al., 1994).

No sistema de plantio direto, a variação foi de 0,0078 a 8,8491 (Tabela 3), resultados que mostram que teve alta variação em algumas das propriedades.

Tabela 3 - Modelos de semivariogramas ajustados para a densidade do solo, para a porosidade total, para macroporosidade e para a microporosidade de NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos e NEOSSOLOS REGOLÍTICO Distróficos.

Prop.	Modelo	Alcance (m)	Patamar	Pepita	Dependência	GDE (%)
<u>Plantio Convencional</u>						
DS	Gaussiano	24,25	1,23	0,0749	Forte	6,10
PT	Stable	24,25	1,17	0,0946	Forte	8,12
MACRO	Exponencial	18,77	0,96	0,0000	Forte	0,00
MICRO	Gaussiano	25,71	1,22	0,0012	Forte	0,10
<u>Plantio Direto</u>						
DS	Gaussiano	17,35	0,01	0,0078	Moderado	72,30
PT	Stable	18,79	29,30	1,7184	Forte	5,87
MACRO	Esférico	18,87	9,45	8,8491	Fraco	93,62
MICRO	Circular	24,75	17,36	6,6367	Moderada	38,23

DS: Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ). PT: Porosidade Total (%). MACRO: Macroporosidade (%). MICRO: Microporosidade (%). GDE: Grau de dependência espacial.

Segundo Cambardella et al. (1994), o grau de dependência espacial foi analisado como forte em todas as propriedades no sistema de plantio convencional, e para as propriedades da densidade do solo e macroporosidade no sistema de plantio direto. Nas propriedades porosidade total e microporosidade no sistema de plantio direto foi considerado moderado (Tabela 3).

A variação no grau de dependência espacial (GDE) de 0,0 e 8,12% (Tabela 3) no sistema de plantio convencional. Os valores do GDE das propriedades no sistema de plantio direto variaram de 5,87 a 93,62% (Tabela 3). Valor que segundo Lima et al. (2006), quanto menor o resultado do efeito pepita em semelhança ao patamar do semivariograma, maior será a dependência espacial oferecida pelas propriedades e assim, maior será a continuidade das mesmas e melhor será a confiabilidade da estimativa.

Modelos que apresentam predições acuradas necessitam obedecer à premissa de que as estatísticas M e MS devem estar próximas de zero, e os valores em RMS, ASE e RMSS sejam

próximos de 1 (Tabela 4) (ESRI, 2016).

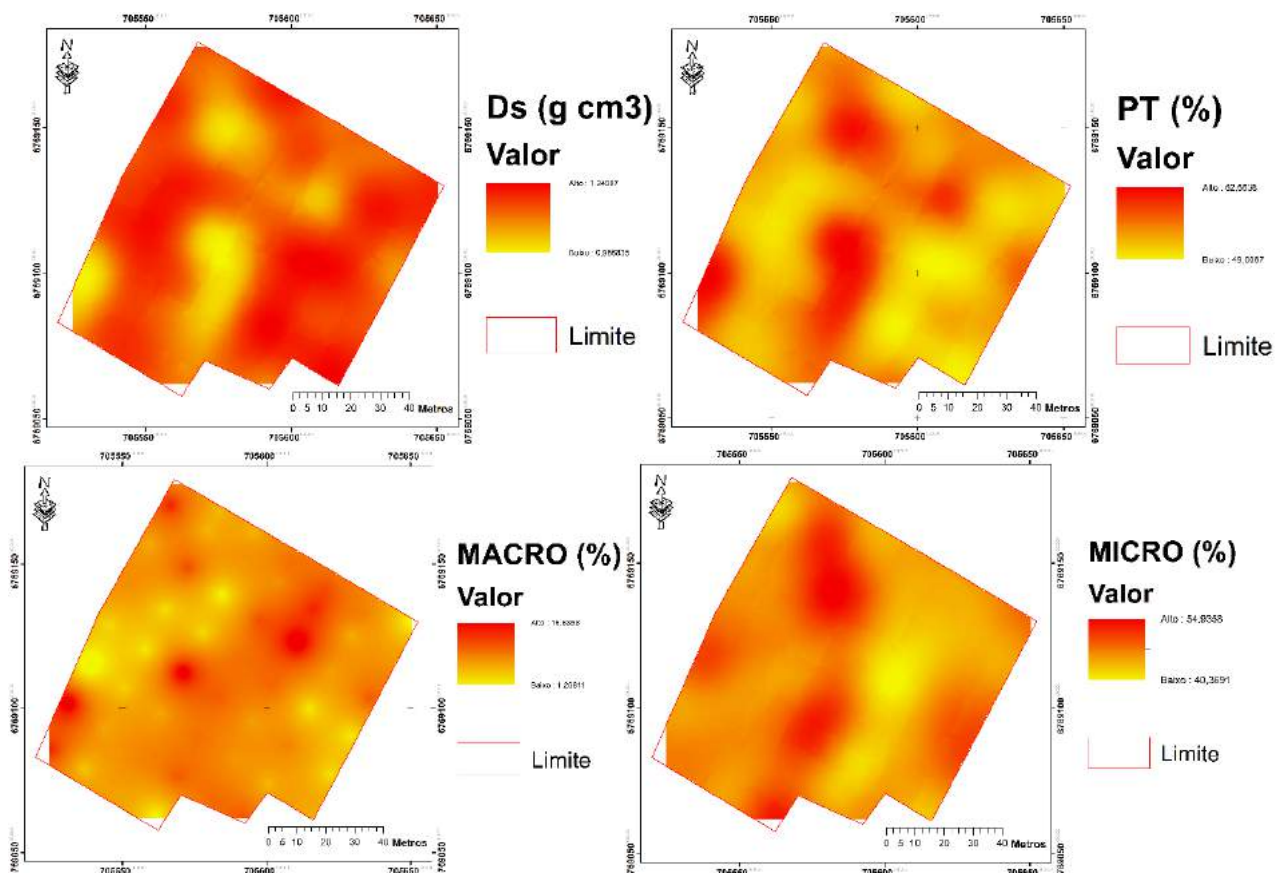
Tabela 4 - Erros de predições dos modelos de semivariogramas das propriedades físicas de NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos e NEOSSOLOS REGOLÍTICO Distróficos.

Prop.	M	RMS	MS	RMSS	ASE
<u>Plantio Convencional</u>					
DS	-0,0009	0,0801	-0,0075	0,9791	0,0811
PT	0,0400	3,0519	0,0088	0,9613	3,1577
MACRO	0,0462	3,3994	0,0125	1,0311	3,3345
MICRO	-0,0675	2,2356	-0,0229	0,9567	2,3135
<u>Plantio Direto</u>					
DS	0,0023	0,1244	0,0002	1,0096	0,1244
PT	-0,1033	4,8995	-0,0017	1,0049	4,9297
MACRO	-0,0557	4,0611	-0,0077	0,9671	4,2082
MICRO	0,1936	4,2526	1,0014	4,2189	2,3135

DS: Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ). PT: Porosidade Total (%). MACRO: Macroporosidade (%). MICRO: Microporosidade (%). M: Média. RMS: Raiz Quadrada Média. MS: Média Padronizada. RMSS: Raiz Quadrada Média Padronizada. ASE: Erro Médio Padrão.

Na comparação entre os mapas temáticos da área com o plantio convencional (Figura 1), nota-se que o comportamento entre a densidade do solo e a porosidade total são inversos, portanto, quando o valor de um for alto, o outro será baixo. Para a macroporosidade e a microporosidade, alguns pontos mostraram valores baixos para as duas propriedades, mostrando que no local a densidade do solo é maior.

Figura 1 - Mapas das propriedades físicas ligadas à estrutura do solo com plantio convencional.

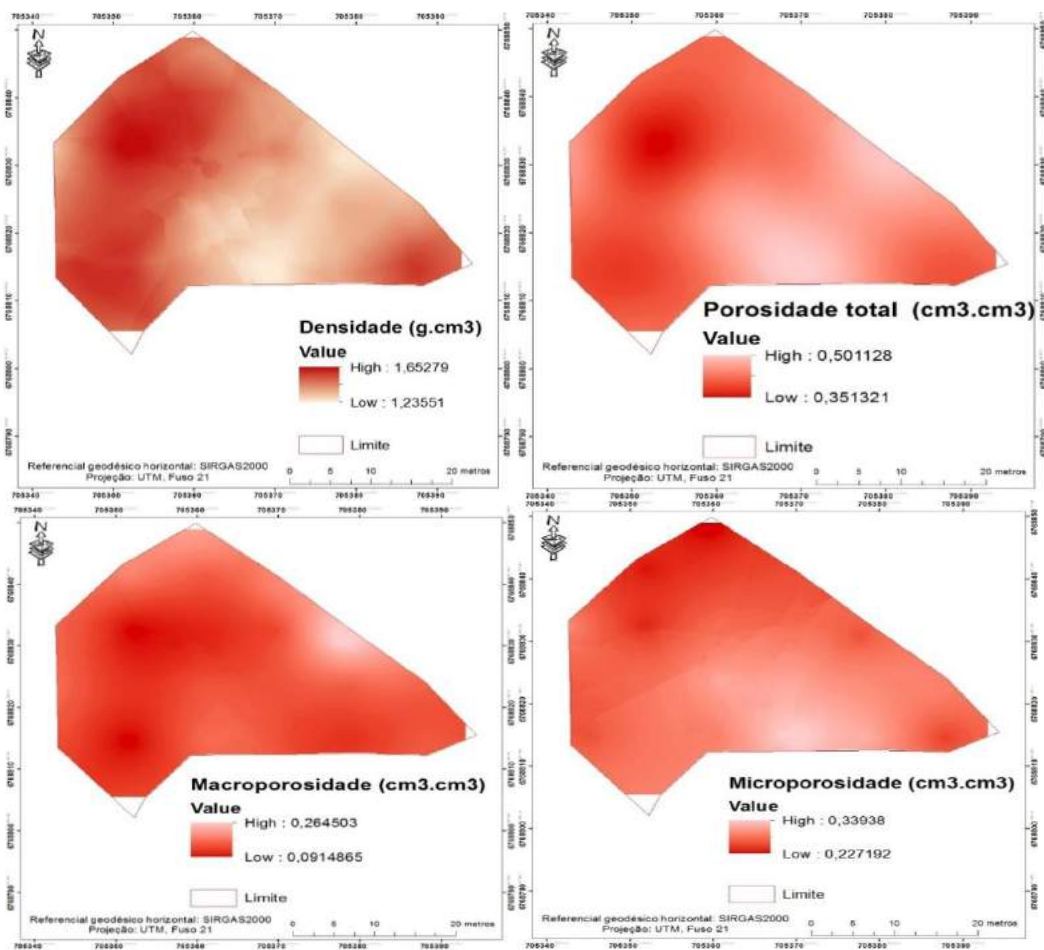


A macroporosidade irá influenciar na capacidade de infiltração de água, troca gasosa e crescimento radicular. Os teores de microporosidade são de suma importância na retenção e armazenamento de água no solo. Na observação dos mapas temáticos, a área em estudo na sua maior parte, tem boa capacidade de reter água.

Na comparação dos mapas temáticos da área em sistema de plantio direto (Figura 2), percebe-se que a relação entre a densidade do solo (DS) e a porosidade total (PT) também são inversas em comparação com sistema de plantio convencional. Para macroporosidade e microporosidade, alguns pontos mostraram valores baixos nas duas propriedades, notando que o teor de densidade é alto.

Em comparação entre as duas áreas, o sistema de plantio convencional afetou fortemente a estrutura do solo, com grande diminuição dos teores de macroporos.

Figura 2 - Mapas das propriedades físicas ligadas a estrutura do solo em sistema de plantio direto.



Sugestão para pesquisas futuras: avaliar a relação das diferentes frações da matéria orgânica do solo (M.O.S.) com a estrutura do solo, pois a M.O.S. é um dos agentes que melhoram as propriedades físicas, e neste estudo, o plantio convencional contribui na redução dos diferentes teores de M.O.S.

## 4 CONCLUSÕES

A densidade amostral foi de suma importância para a definição das variáveis com exatidão.

As diferentes propriedades físicas ligadas à estrutura dos solos nos diferentes sistemas de plantio relacionaram-se no espaço.

As análises estatísticas e geoestatísticas permitiram a descrição da variabilidade e da distribuição espacial da estrutura dos solos, conferindo continuidade espacial às propriedades físicas estudadas.

Os diferentes solos sob plantio convencional e sistema de plantio direto demonstraram boa fertilidade física, na maioria das propriedades estudadas. Somente no plantio convencional a macroporosidade foi restritiva para os fluxos de água e de gases no perfil do solo.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, E. L.; CASTRO, C. C.; ALBUQUERQUE, U. P. Dynamics of Brazilian Caatinga – A review concerning the plants, environment and people. **Functional Ecology and Communities**, v. 1, n. 1, p. 15-28, 2007.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society America Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994.

CARAM, R. O. **Reconstrução de séries e análise geoestatística da precipitação no Estado de Minas Gerais**. 2007. 92f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/ MG.

DANCEY, C.; REIDY, J. **Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows**. Porto Alegre: Artmed, 2006. 608p.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v.120, p.201-214, 2004.

ENVIROMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Using ArcGIS geoestatistical analyst**. Redlands, 2016. Disponível em <http://www.esri.com>

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: LIER, Q. J. (Ed.). **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 1-27.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. **An introduction to applied geostatistics**. New York, Oxford University Press, 1989. 561p.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262p

McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **J. Soil Sci.** v. 37, p.617-639, 1986.

PANOSSO, A. R. et al. Variabilidade espacial da emissão de CO<sub>2</sub> em LATOSSOLOS sob cultivo de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo. **Engenharia Agrícola**, v.28, p.227-236, 2008.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Propriedades físicas de solos em sistema de plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R. et al. **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: UFSM, 2001, 165p.

SANTANA, R. A. **Avaliação de técnicas geoestatísticas no inventário de povoamentos de *Tectona grandis* L.** f. 2011. 43 p. Dissertação, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA JÚNIOR, J. F. da. **Simulação geoestatística e classificação numérica para o delineamento de unidade de mapeamento de atributos e erosão do solo.** 2014. 111p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2014.

TAYLOR, S. A.; ASHCROFT, G. L. **Physical edaphology. The physics of irrigated and non irrigated soils.** San Francisco: W.H. Freeman, 1972. 533p.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Adv. Agron.**, v. 38, p. 45-94, 1985.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. **Applications of soil physics.** New York, Academic Press, 1980. p. 319-344.

WEBSTER, R.; OLIVER, M.A. **Statistical methods in soil and land resource survey.** Oxford, Oxford University Press, 1990. 328p.

## CORRELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE E ATRIBUTOS DE UM LATOSSOLO BRUNO

*Correlation between apparent electrical conductivity and attributes of  
a brown latosol (Haplohumox)*

Eduardo Leonel Bottega<sup>1\*</sup>, Zanandra Boff de Oliveira<sup>1</sup>, Clarissa Moraes da Silva<sup>1</sup>, Irajá  
Jantsch de Souza<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Maria, campus de Cachoeira do Sul, Rua Ernesto Barros, 1345,  
96506-322, Cachoeira do Sul – RS, Brasil, \*[eduardo.bottega@ufsm.br](mailto:eduardo.bottega@ufsm.br)

### RESUMO

O mapeamento da variabilidade espacial dos atributos do solo proporciona ao produtor um controle específico e localizado de variáveis que afetam a produtividade das culturas. No entanto, uma boa precisão no mapeamento demanda uma grade amostral densa, o que apresenta elevado custo com análises laboratoriais. Neste cenário, técnicas que visam caracterizar a variabilidade existente no campo de produção a baixo custo vêm sendo estudadas, o mapeamento da condutividade elétrica aparente do solo (CEa) é uma delas. O objetivo deste trabalho foi estudar a correlação existente entre atributos de um LATOSSOLO BRUNO e sua condutividade elétrica aparente. O trabalho foi desenvolvido em uma área destinada à produção comercial de cebola, alho e sementes de soja, totalizando 13 ha. Utilizou-se malha amostral composta por 50 pontos. Amostrou-se solo a uma profundidade de 0,0-0,2 metros e mensurou-se a CEa em cada ponto. Foi observado existência de correlações significativas entre a condutividade elétrica aparente e atributos do solo, o que indica que esta variável apresenta potencial para ser utilizada como discretizador de zonas com diferentes teores de nutrientes, podendo ser empregada como indicador da variabilidade do solo para amostragens direcionais.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão. Variabilidade espacial. Geostatística.

### ABSTRACT

Mapping the spatial variability of soil attributes provides the producer with specific and localized control of variables that affect crop productivity. However, good mapping precision demands a dense sampling grid, which presents a high cost with laboratory analysis. In this scenario, techniques that aim to characterize the existing variability in the field of production at low cost have been studied, the mapping of the apparent electrical conductivity of the soil (ECa) is one of them. The objective of this work was to study the correlation between attributes of a Brown Latosol (Haplohumox) and its apparent electrical conductivity. The work was developed in an area dedicated to the commercial production of onion, garlic and seeds soybean, totaling 13 ha. A sample mesh composed of 50 points was used. Soil was sampled at a depth of 0.0-0.2 meters and ECa measured at each point. Significant correlations between apparent electrical conductivity and soil attributes were observed, indicating that this variable has the potential to be used as a discretization of zones with different nutrient contents and can be used as an indicator of soil variability for directional sampling.

**Keywords:** Precision agriculture. Spatial variability. Geostatistics.

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão vem sendo utilizada como importante técnica de manejo localizado da fertilidade. Para tanto, é indispensável à caracterização da variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo através de amostragem capaz de representar tais variações (BOTTEGA et al., 2015). O uso crescente do GPS (*Global Positioning System*) na agricultura, associado às técnicas geoestatísticas, vem auxiliando a realização do mapeamento de atributos qualitativos e quantitativos das características químicas e físicas do solo (BOTTEGA et al., 2011), possibilitando a confecção de mapas temáticos que ilustram a variabilidade espacial existente no campo de produção.

A variabilidade dos solos tem sido abordada de diversos modos (BURROUGH et al., 1994),

no entanto a dependência espacial entre as amostras somente pode ser modelada através da geoestatística (WEBSTER, 1985), uma vez que os métodos geoestatísticos conseguem integrar o aspecto espacial ou topológico com o aspecto aleatório ou probabilístico. Análises estatísticas clássicas, que consideram a independência entre as amostras, baseadas na média, vêm sendo substituídas por análises geoestatísticas fundamentadas na teoria das variáveis regionalizadas (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989) através do variograma.

A geoestatística tem-se mostrado de grande utilidade na ciência do solo para caracterizar e mapear a variação espacial de suas propriedades. Assim, ao se estudar a fertilidade de um solo, há de fazer-se um levantamento completo da mesma e caracterizar sua variabilidade espacial através de variogramas e métodos de interpolação baseados neles, como a krigagem, os quais definem o grau de dependência no espaço de uma grandeza medida e o domínio de cada amostragem (MANZIONE et al., 2002).

A análise da variabilidade do solo pode indicar alternativas de manejo não só para reduzir os efeitos da variabilidade do solo sobre a produção das culturas, mas também para aumentar a possibilidade de estimar respostas das culturas sob determinadas práticas de manejo (ZANZARINI et al., 2013). A caracterização da variabilidade espacial de atributos do solo no campo pode ser realizada por meio de amostragem e análise de solo, este processo além de exigir muito tempo, é de custo elevado (BOTTEGA et al., 2015), neste contexto, o uso de variáveis de rápida aquisição e baixo custo de amostragem torna-se chave para adoção de técnicas de agricultura de precisão.

A mensuração e a caracterização da variabilidade espacial da condutividade elétrica aparente do solo tem se mostrado uma importante ferramenta, pois se trata de um processo relativamente fácil, rápido e confiável (CORWIN; LESCH, 2003). Alguns estudos demonstraram a importância desempenhada pelas variáveis elétricas para explicar a variabilidade da produtividade agrícola e das propriedades físico-químicas do solo (CORWIN; LESCH, 2005a; CORWIN; LESCH, 2005b; YAN et al., 2008; SAEY et al., 2009; MORARI et al., 2009).

O mapeamento da CEa é rápido e apresenta baixo custo, se comparado com o mapeamento de nutrientes. Devido sua praticidade e confiabilidade, a CEa tem sido utilizada como estimador indireto da variabilidade existente em um campo de produção (CORWIN; LESCH, 2003). A exemplo, pode-se citar trabalho realizado por MACHADO et al. (2006), onde, a partir do mapeamento da condutividade elétrica aparente do solo, observaram que o mapa produzido refletiu a variação nos teores de argila, podendo ser utilizado para a delimitação das zonas de manejo, por exemplo, para aplicação de fertilizantes a taxas variáveis.

O objetivo deste trabalho foi estudar a correlação existente entre atributos de um LATOSSOLO BRUNO e sua condutividade elétrica aparente.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido no município de Curitiba, estado de Santa Catarina, em uma área destinada à produção comercial de cebola, alho e sementes de soja, totalizando 13 ha. A área apresenta coordenadas centrais 27°20'34.2" de latitude Sul e 50°34'24.2" de longitude Oeste. O solo do local é classificado como LATOSSOLO BRUNO, de textura argilosa (EMBRAPA, 2013). O clima da região é mesotérmico úmido com verão ameno (Cfb), com temperatura média anual de 16° C e precipitação média de 1600 mm (ALVARES et al., 2013). Foi estabelecida uma malha amostral composta por 50 pontos, georreferenciados, com espaçamento de 50 x 50 metros, que serviram de base para coleta de solo e mensuração da condutividade elétrica aparente do solo (Figura 1).

Para a determinação da condutividade elétrica aparente do solo utilizou-se o método da resistividade elétrica. A condutividade elétrica foi obtida introduzindo na superfície do solo quatro eletrodos igualmente espaçados. Nos eletrodos externos foi aplicada uma corrente elétrica e a diferença de potencial foi medida nos eletrodos internos, essa configuração é denominada *Matriz de Wenner* (CORWIN; HEDRICKX, 2002; CORWIN; LESCH, 2003) e é apresentada na Figura 2.



Figura 1 – Modelo digital de elevação e localização espacial dos pontos amostrais utilizados como referência na coleta de dados.

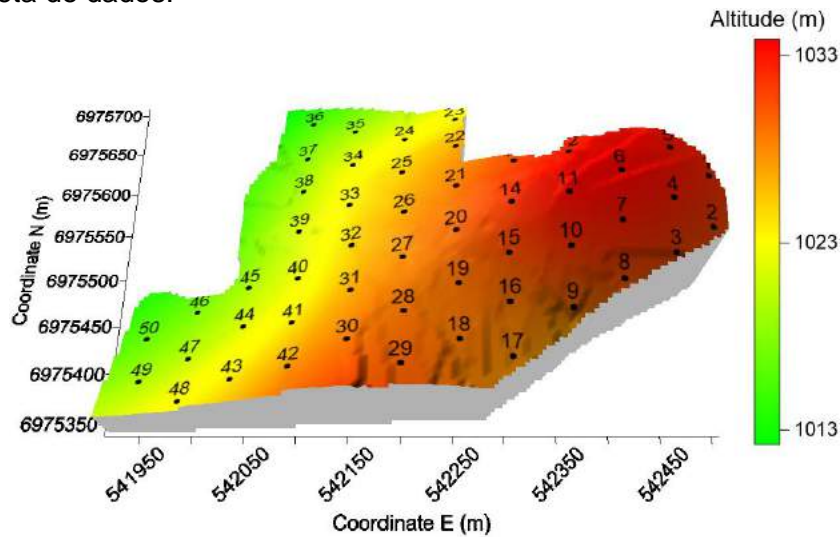
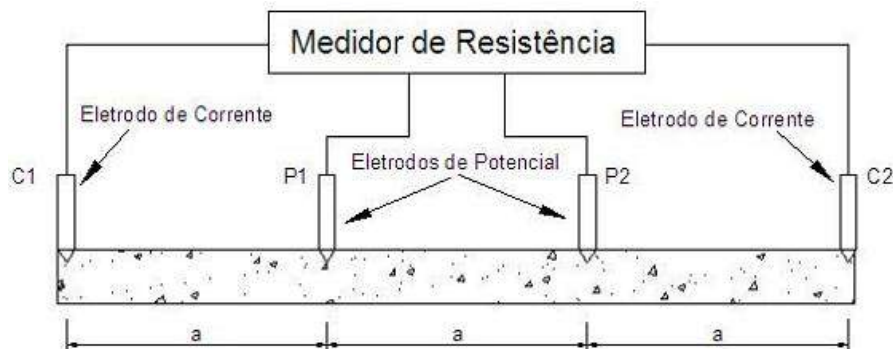


Figura 2 – Diagrama esquemático do método da resistividade elétrica com quatro eletrodos: dois eletrodos de corrente (C1 e C2) e dois eletrodos potenciais (P1 e P2) (CORWIN; LESH, 2003).



A resistividade obtida utilizando a *Matriz de Wenner* foi calculada pela Equação 1 (AVANTS et al., 1999),:

$$\rho = \frac{2 \cdot \pi \cdot a \cdot \Delta V}{i} \quad (1)$$

Em que,

$\rho$  = Resistividade, Ohm m<sup>-1</sup>;

$a$  = Espaçamento entre eletrodos, m;

$\Delta V$  = Diferença de potencial medida, V; e

$i$  = Corrente elétrica aplicada, A.

A condutividade elétrica aparente do solo é o inverso da resistividade, sendo calculada pela Equação 2.

$$CE_a = \frac{1}{\rho} \quad (2)$$

Em que,

$CE_a$  = Condutividade elétrica aparente do solo,  $S\ m^{-1}$ .

Para obtenção da condutividade elétrica aparente do solo utilizou-se um medidor de condutividade elétrica portátil, marca Landviser®, modelo LandMapper® ERM-02 (Figura 3), com quatro eletrodos arranjados de forma a obter medições a 0,20 m de profundidade. Para construção da estrutura de suporte dos eletrodos, foram utilizados tubos de PVC, parafusos de aço para os eletrodos e fios flexíveis em cores diferentes para eletrodos de corrente e eletrodos usados na determinação da diferença de potencial. As leituras foram realizadas com o teor de água do solo próximo a capacidade de campo. Na Figura 4 é apresentada a configuração de eletrodos construída para realização do trabalho.

Figura 3 – Medidor de condutividade elétrica aparente do solo modelo ERM-02, de fabricação da Landviser®.



Figura 4 – Configuração da *Matriz de Wenner* com espaçamentos entre eletrodos de 0,20 m.



Para coleta de solo utilizou-se um trado holandês. A coleta foi realizada na profundidade de 0,0-0,2 metros. As amostras foram encaminhadas para laboratório, para análise de rotina.

Os dados coletados alimentaram uma planilha Excel® que serviu como banco de dados para análises. Procedeu-se análise estatística descritiva e teste de normalidade de Shapiro Wilk's ( $p > 0,05$ ). Calculou-se o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ;  $p < 0,05$ ) e posteriormente realizou-se análise geoestatística. A dependência espacial foi avaliada pelo ajuste de variogramas, pressupondo a estacionaridade da hipótese intrínseca, definida pela Equação 3.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_{i+h})]^2 \quad (3)$$

Em que,

$\hat{\gamma}(h)$  = Semivariância em função da distância de separação ( $h$ ) entre pares de pontos;

$h$  = Distância de separação entre pares de pontos, m;

$N(h)$  = Número de pares experimentais de observações  $Z(x_i)$  e  $Z(x_{i+h})$  separados por uma distância  $h$ .

Uma vez detectada a dependência espacial, produziu-se o mapa temático da distribuição espacial do atributo por meio de krigagem ordinária, onde cada ponto da superfície é estimado a partir da interpolação das amostras mais próximas, utilizando um estimador estatístico com base no variograma. Para as estimativas de valores em locais não amostrados, utilizou-se 16 vizinhos próximos e um raio de busca igual ao valor do alcance encontrado no ajuste do variograma.

A estimativa de valores em locais não amostrados, utilizando krigagem ordinária, descrita por TRANGMAR et al. (1985), como o valor interpolado  $\hat{Z}(x_0)$  de uma variável regionalizada Z, num local  $x_0$  pode ser determinada de acordo com a Equação 4.

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n [\lambda_i Z(x_i)] \quad (4)$$

Em que,

$\hat{Z}(x_0)$  = Valor estimado para local  $x_0$  não amostrado;

$Z(x_i)$  = valor obtido por amostragem no campo;

n = número de amostras vizinhas;

$\lambda_i$  = pesos aplicados em cada  $Z(x_i)$ , sendo gerados por um estimador BLUP (*best linear unbiased predictor*), descrito por ROBINSON (1991) como estimadores lineares não viciados e de mínima variância.

A construção do estimador  $\hat{Z}(x_0)$ , na krigagem ordinária, não requer o conhecimento inicial da média estacionária da amostragem (LANDIM, 1998), mas requer que a soma dos pesos seja igual a 1 (UZUMAKI, 1994). Ainda, de acordo com UZUMAKI (1994), o sistema de Krigagem Ordinária tem solução única se o modelo de variograma for válido. A krigagem, além de ser um estimador não tendencioso, é um interpolador exato, isto é, se o ponto a ser estimado coincidir com um dos pontos amostrados, o valor estimado deverá ser igual ao valor amostrado.

A análise estatística foi realizada no programa Statistica, versão 7. Para análise geoestatística utilizou-se o programa de computador GS+, versão 9. Os mapas temáticos foram gerados utilizando o programa Surfer, versão 8.0.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 1, são apresentados os resultados para análise estatística descritiva apenas para os atributos do solo que apresentaram variabilidade espacial. Os valores de coeficiente de variação (CV) para os atributos pH, matéria orgânica (M.O.) e Argila foram classificados como baixos (CV < 12%), os demais atributos apresentaram CV médio (12% < CV < 60%) segundo a classificação proposta por WARRICK; NIELSEN (1980). Os elevados teores médios de nutrientes no solo são justificados pelos cultivos nele praticados, em especial das culturas da cebola e do alho, que exigem níveis elevados de fertilidade. Todos atributos apresentaram distribuição normal pelo teste de normalidade de Shapiro Wilk's ( $p > 0,05$ ).

Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros resultantes da análise geoestatística e da validação cruzada das variáveis estudadas. O modelo teórico que melhor ajustou à semivariância em função da distância para a maior parte das variáveis analisadas foi o esférico. A semivariância experimental das variáveis pH e Mg foi ajustada ao modelo exponencial e os atributos P e Ca ao modelo gaussiano. O modelo exponencial e o modelo esférico representam, respectivamente, média e baixa continuidade, já o modelo gaussiano, representa elevada continuidade (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989). Variáveis que apresentam ajuste ao modelo esférico tendem a sofrer variação de seus valores em pequenas distâncias de observação, indicando elevada variabilidade.

Tabela 1 – Estatística descritiva e teste de normalidade dos atributos estudados.

Atributos	Média	Mínimo	Máximo	s <sup>(1)</sup>	CV%	w <sup>(2)</sup>
CEa (mS m <sup>-1</sup> ) <sup>(3)</sup>	20,58	10	46	6,66	32,36	0,96 <sup>ns</sup>
pH <sup>(4)</sup>	5,82	5,2	6,8	0,42	7,15	0,97 <sup>ns</sup>
M.O. (g dm <sup>-3</sup> ) <sup>(5)</sup>	35,6	31,5	40	3,50	9,83	0,97 <sup>ns</sup>
P (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>(6)</sup>	54,58	20	92	23,40	42,87	0,96 <sup>ns</sup>
Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>(7)</sup>	82,6	58	102	14,05	17,01	0,98 <sup>ns</sup>
Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>(8)</sup>	26,74	15	43	6,27	23,44	0,96 <sup>ns</sup>
Areia (g dm <sup>-3</sup> )	30,2	24	45	4,12	13,63	0,98 <sup>ns</sup>
Argila (g dm <sup>-3</sup> )	719,66	630	855	46,28	6,43	0,98 <sup>ns</sup>
Silte (g dm <sup>-3</sup> )	250,24	120	346	45,86	18,33	0,98 <sup>ns</sup>

<sup>(1)</sup>Desvio padrão. <sup>(2)</sup>Teste de normalidade de Shapiro-Wilk's: <sup>ns</sup>distribuição normal. <sup>(3)</sup>Condutividade elétrica aparente do solo. <sup>(4)</sup>Potencial hidrogeniônico. <sup>(5)</sup>Matéria orgânica. <sup>(6)</sup>Fósforo. <sup>(7)</sup>Cálcio. <sup>(8)</sup>Magnésio.

Tabela 2 – Parâmetros dos semivariogramas teóricos e da análise de validação cruzada referente à modelagem da dependência espacial das variáveis estudadas.

Atributo	Parâmetros geoestatísticos					
	Modelo	a <sup>(1)</sup>	C <sub>0</sub> +C <sup>(2)</sup>	C <sub>0</sub> <sup>(3)</sup>	SQR <sup>(4)</sup>	R <sup>2(5)</sup>
CEa (mS m <sup>-1</sup> ) <sup>(6)</sup>	Esférico	119	45,31	22,65	192	0,33
pH <sup>(7)</sup>	Exponencial	171,8	0,27	0,04	1,7 E <sup>-3</sup>	0,91
M.O. (g dm <sup>-3</sup> ) <sup>(8)</sup>	Esférico	178,8	11,12	5	0,23	0,98
P (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>(9)</sup>	Gaussiano	305,3	1072,9	81	241	0,97
Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>(10)</sup>	Gaussiano	253	298,6	115,6	458	0,89
Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>(11)</sup>	Exponencial	96	46,85	9,8	3,8	0,64
Areia (g dm <sup>-3</sup> )	Esférico	315,6	20,53	10,26	42,9	0,55
Argila (g dm <sup>-3</sup> )	Esférico	336,4	248,3	124,1	209	0,75
Silte (g dm <sup>-3</sup> )	Esférico	433,8	265,2	129,3	325	0,78
Parâmetros da análise de validação cruzada						
	Coeficiente de Regressão		γ <sup>(12)</sup>	EPP <sup>(13)</sup>	R <sup>2</sup>	
CEa (mS m <sup>-1</sup> )	0,96		0,89	6,27	0,11	
pH	1,04		-0,26	0,32	0,41	
M.O. (g dm <sup>-3</sup> )	0,88		4,24	2,89	0,22	
P (mg dm <sup>-3</sup> )	0,97		2,14	12,46	0,64	
Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,91		7,42	12,65	0,21	
Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,98		0,48	5,24	0,32	
Areia (g dm <sup>-3</sup> )	0,30		2,15	4,17	0,10	
Argila (g dm <sup>-3</sup> )	0,97		21,36	41,5	0,22	
Silte (g dm <sup>-3</sup> )	0,94		16,38	41,6	0,20	

<sup>(1)</sup>Alcance (m). <sup>(2)</sup>Patamar. <sup>(3)</sup>Efeito pepita. <sup>(4)</sup>Soma de quadrados do resíduo. <sup>(5)</sup>Coeficiente de determinação. <sup>(6)</sup>Condutividade elétrica aparente do solo. <sup>(7)</sup>Potencial hidrogeniônico. <sup>(8)</sup>Matéria orgânica. <sup>(9)</sup>Fósforo. <sup>(10)</sup>Cálcio. <sup>(11)</sup>Magnésio. <sup>(12)</sup>Intercepto. <sup>(13)</sup>Erro padrão de predição.

A validação cruzada é um método de seleção do semivariograma, pois permite selecionar o modelo matemático que melhor descreve a dependência espacial das observações das variáveis em função das distâncias. MONTES et al. (2005) enfatizam que a ideia da validação cruzada consiste em validar a capacidade do modelo ajustado de semivariograma associado à incerteza do atributo não amostrado. Na validação cruzada supõe-se, que um elemento da amostra, não tenha sido observado. Para isto, retira-se o valor amostrado e obtém-se a estimativa do mesmo pela krigagem, usando os valores dos pontos vizinhos. Este processo é realizado para todos os pontos amostrados. Ao final para cada ponto existirá o valor verdadeiro e o valor estimado e, portanto, o

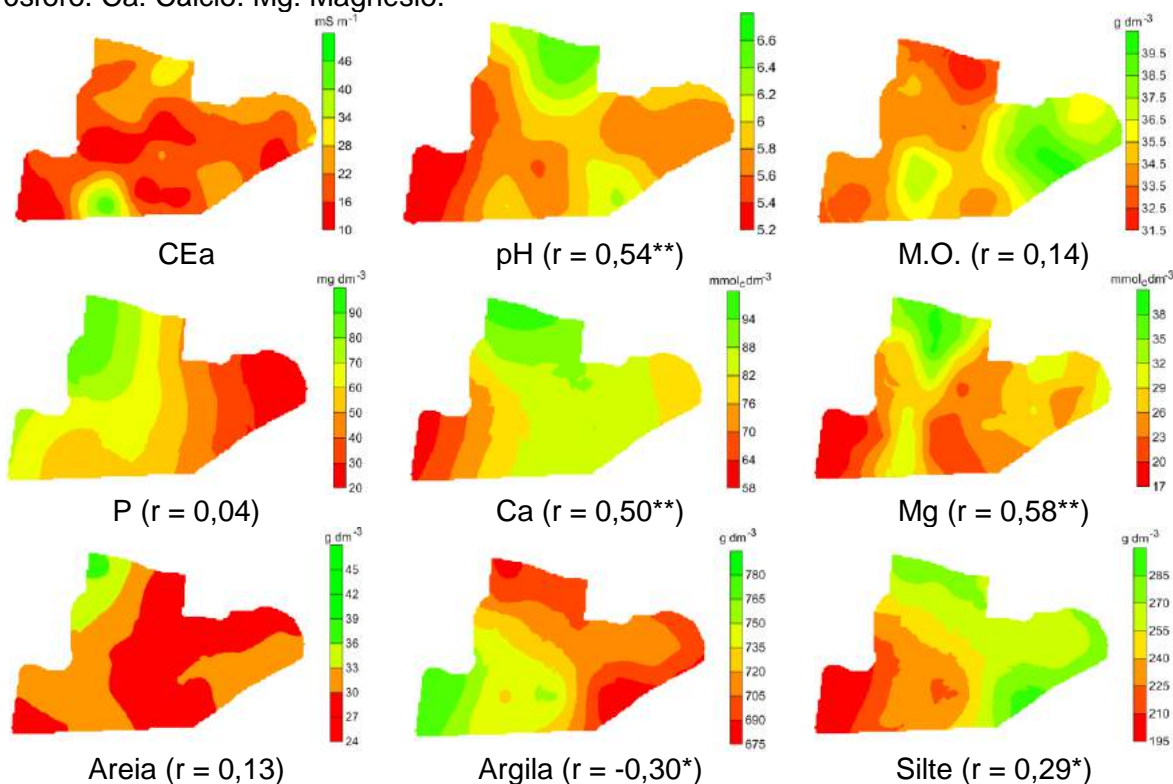
erro de estimação.

As melhores estimativas em locais não amostrados foram observadas para os atributos P, pH e Mg, que apresentaram, respectivamente, coeficiente de determinação na análise de validação cruzada de 0,64, 0,41 e 0,32. Os baixos coeficientes de determinação observados para as variáveis CEa e Areia indicam que o mapeamento destas variáveis, para o caso deste estudo, demandam um maior número de pontos amostrais.

ZANÃO JÚNIOR et al. (2007) destacam que a variabilidade espacial dos nutrientes pode não ser igual entre eles. Alguns nutrientes necessitam de números maiores de amostras que outros para que se possa conhecer o seu comportamento em relação a uma determinada área. Isso acontece, pois as variações nos teores dos elementos do solo não é uniforme para todos.

Na Figura 5, são apresentados os mapas temáticos da distribuição espacial da condutividade elétrica aparente (CEa) e dos atributos do solo, bem como o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ). Correlações positivas e significativas foram observadas entre a CEa e os atributos pH, Ca, Mg e Silte. O solo é capaz de conduzir corrente elétrica através da água intersticial, que contém eletrólitos dissolvidos e através dos cátions trocáveis, residentes próximos as superfícies de partículas de solo carregadas eletricamente (NADLER; FRENKEL, 1980).

Figura 5 – Mapas temáticos da distribuição espacial da condutividade elétrica aparente e dos atributos do solo.  $r$ : Coeficiente de correlação de Pearson do atributo com CEa; \*\*Correlação significativa a 1% de probabilidade. \*Correlação significativa a 5% de probabilidade. CEa: Condutividade elétrica aparente do solo. pH: Potencial hidrogeniônico. M.O.: Matéria orgânica. P: Fósforo. Ca: Cálcio. Mg: Magnésio.



Correlação negativa significativa foi observada entre a CEa e o teor de argila. Estudos conduzidos por SANA et al. (2014) também observaram coeficiente de correlação negativo ( $r = -0,25$ ), no entanto, este não foi significativo. A correlação negativa observada neste estudo pode estar associada ao baixo coeficiente de variação do teor de argila na área de estudo ( $CV\% = 6,43$ ) e a maior influência dos íons cátions  $Mg^{2+}$  e  $Ca^{2+}$  na condução de corrente elétrica pela fase sólido-líquida, onde a corrente elétrica dependente de cátions trocáveis associados aos argilominerais (RHOADES et al., 1999), o que é plausível, dado os elevados teores destes íons no solo. Estes íons ao se ligarem aos argilominerais reduzem sua participação na condução de

corrente elétrica via fase sólida, ou seja, com base na proximidade direta e contínua entre partículas do solo (RHOADES et al., 1999), pois ocupam as cargas presentes nas arestas das argilas, neutralizando-as.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A existência de correlações significativas entre a condutividade elétrica aparente e atributos do solo indica que esta variável apresenta potencial para ser utilizada como discretizador de zonas com diferentes teores de nutrientes, podendo ser empregada como indicador da variabilidade do solo para amostragens direcionais.

## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n.6, p. 711–728, 2013.
- AVANTS, B.; SOODAK, D.; RUPPEINER, G. Measuring the electrical conductivity of the earth. American Association of Physics Teachers. **American Journal of Physics**, v.67, n.7, p.593-598, 1999.
- BOTTEGA, E.L.; BOTTEGA, S.P; SILVA, S.A.; QUEIROZ, D.M.; SOUZA, C.M.A.; RAFULL, L.Z.L. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.6, n.2, p.331-336, 2011.
- BOTTEGA, E.L.; QUEIROZ, D.M.; SANTOS, N.T.; PINTO, F.A.C.; SOUZA, C.M.A. Correlação entre condutividade elétrica aparente e atributos químicos e físicos de um Latossolo. **Comunicata Scientiae**, v.6, n.2, p.134-142, 2015.
- BURROUGH, P.A.; BOUMA, J.; YATES, S.R. The state of the art in pedometrics. **Geoderma**, v.62, p.311-26, 1994.
- CORWIN, D.L.; HENDRICKX, J.M.H. Electrical Resistivity: Wenner Array. In: SILVA, J.S. Methods of Soil Analysis Part 4 Physical Methods, Madison, Wisconsin, USA: **SSSA Book Series**, n. 5, p.1282-1287. 2002.
- CORWIN, D.L.; LESCH, S.M. Application of Soil Electrical Conductivity to Precision Agriculture: Theory, Principles, and Guidelines. **Agronomy Journal**, v.95, n. 3, p. 471-471. 2003.
- CORWIN, D.L.; LESH, S.M. Apparent soil electrical conductivity measurements in agricultural. **Computer and Electronic in Agriculture**, n.46, p.11-43, 2005a.
- CORWIN, D.L.; LESH, S.M. Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity part II. Case study. **Computer and Electronic in Agriculture**, n.46, p.135-152, 2005b.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.
- FU, Q.; WANG, Z.; QIUXIANG, J. Delineating soil nutrient management zones based on fuzzy clustering optimized by PSO. **Mathematical and Computer Modelling**, v.51, p. 1299-1305, 2010.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford Universit, 1989. 561p.
- LANDIM, P.M.B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo, Ed. UNESP, 1998. 226p.
- MACHADO, P.L.O.A.; BERNARDI, A.C.C.; VALENCIA, L.I.O.; MOLIN, J.P.; GIMENEZ, L.M.;

SILVA, C.A.; ANDRADE, A.G.; MEDARI, B.E.; MEIRELLES, M.S.P. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, n.41, p.1023-1031, 2006.

MANZIONE, R.L.; RODRIGUES, J.B.T.; ZIMBACK, C.R.L. Análise espacial multivariada na avaliação de parâmetros químicos do solo. 23p. 2002. In: BALASTREIRE, L.A. **Avanços na Agricultura de Precisão no Brasil no período de 1999-2001**. Piracicaba, 347 p. 2002.

MORARI, F.; CASTRIGNANO, A.; PAGLIARIN, C. Application of multivariate geostatistics in delineating management zones within a gravelly vineyard using geoelectrical sensors. **Computer and Electronic in Agriculture**, n.68, p.97-107, 2009.

NADLER, A.; FRENKEL, H. Determination of soil solution electrical conductivity from bulk soil electrical conductivity measurements by the four electrode method. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, n.5, p.1216-1221, 1980.

RHOADES, J.D.; CHANDUVI, F.; LESCH, S. **Soil salinity assessment: methods and interpretation of electrical conductivity measurements**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1999b. p. 1-150. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 57).

ROBINSON, G.K. That BLUP is a good thing: the estimation of random effects. **Statistical Science**, v.6, p. 15-51, 1991.

RODRÍGUEZ-PÉREZ, J.R.; PLANT, R.E.; LAMBERT, J.J.; SMART, D.R. Using apparent soil electrical conductivity (ECa) to characterize vineyard soils of high clay content. **Precision Agriculture**, n.12, p.775-794, 2011.

SAEY, T.; VAN, M.; VERMEERSCH, H.; AMELOOT, N.; COCKX, L. A Pedotransfer function to evaluate the soil profile textural heterogeneity using proximally sensed apparent electrical conductivity. **Geoderma**, n.150, p.389-395, 2009.

SANA, R.S.; ANGHINONI, I.; BRANDÃO, Z.N.; HOLZSCHUH, M.J. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo e seus efeitos na produtividade do algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.10, p.994-1002, 2014.

TRAGMAR, B.B., YOST, R.S., UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v. 38, p. 45-94, 1985.

UZUMAKI, E.T. **Geoestatística multivariada: Estudo de métodos de predição**. Dissertação (Estatística – Instituto de Matemática, estatística e Ciência da Computação), UNICAMP, 1994. 104p.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed). **Applications of soil physics**. New York: Academic, 1980. Cap.2, p.319-344.

WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. In: Stewart, B.A., ed. **Advance in soil science**, v.3, NY, Springer - Verlag, p.1-70, 1985.

YAN, L.; ZHOU, S.; CI-FANG, W.; HONG-YI, L.; FANG, L. Determination of potential management zones from soil electrical conductivity, yield and crop data. **Journal of Zhejiang University Science B (Biomedicine & Biotechnology)**, n.9, p.68-76, 2008.

ZANÃO JÚNIOR, L.A.; LANA, R.M.Q.; GUIMARÃES, E.C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidade em um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, v. 37, p. 1000-1007, 2007.

ZANZARINI, F.V.; PISSARRA, T.C.T.; BRANDÃO, F.J.C.; TEIXEIRA, D.D.B. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Revista Brasileira de engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.6, p.608-614, 2013.

## DIFERENTES NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO NA INCIDÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS E NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA (*GLYCINE MAX L.*)

*Different levels of compaction in the incidence of weed and the productivity of soybean (Glycine max L.)*

Marcos Longaretti <sup>1</sup>, Cecília Agostini Gazola <sup>2</sup>, João Edison Gubiani <sup>2</sup>, Ricardo Borelli <sup>2</sup>, David Peres da Rosa <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Acadêmico em Agronomia, Bolsista PROBIC-Fapergs, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Sertão Rodovia RS 135, Km 25, Distrito Eng. Luiz Englert, CEP: 99170-000, Sertão/RS, Brasil, [marcos.longaretti@hotmail.com](mailto:marcos.longaretti@hotmail.com)

<sup>2</sup> Acadêmico em Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Sertão, Rodovia RS 135, Km 25, Distrito Eng. Luiz Englert, CEP: 99170-000, Sertão/RS, Brasil, [cegazola@gmail.com](mailto:cegazola@gmail.com), [joao.gubiani@hotmail.com](mailto:joao.gubiani@hotmail.com), [ricardo.borelli@hotmail.com](mailto:ricardo.borelli@hotmail.com)

<sup>3</sup> Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Sertão Rodovia RS 135, Km 25, Distrito Eng. Luiz Englert, CEP: 99170-000, Sertão/RS, Brasil, [david.darosa@sertao.ifrs.edu.br](mailto:david.darosa@sertao.ifrs.edu.br)

### RESUMO

A implantação do sistema plantio direto trouxe inúmeros benefícios para a conservação do solo, porém a ausência do revolvimento do solo acabou causando problemas relacionados a compactação do solo, causando diminuição do rendimento das culturas e aumento de plantas daninhas. Em vista disso, este estudo teve como objetivos avaliar os efeitos de diferentes níveis de compactação e o aumento da incidência de plantas daninhas na área e os seus efeitos no rendimento final da soja (*Glycine max L.*). O experimento foi realizado em 4 blocos com parcelas de 8,0 x 21,0 m. Os níveis de compactação foram feitos através de simulação de tráfego de máquinas (2, 4 e 8 passadas) com trator+pulverizador (5,6 Mg). Para mensurar a incidência de plantas daninhas foram realizadas amostragens aleatórias por parcela, sendo que a área avaliada foi de 1 m<sup>2</sup>. A produtividade foi feita a partir da colheita de 2 m<sup>2</sup> e após foi efetuado a pesagem de cada parcela. Onde foi constatado que os índices de compactação não afetaram no rendimento da soja, mas influenciaram no aumento das plantas daninhas e consequente redução de rendimento da cultura, chegando a 36% de redução.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão. Compactação induzida. Resistência a penetração.

### ABSTRACT

The adoption of the no-tillage system brought innumerable benefits to the conservation of the soil, but the absence of the soil tillage ended up causing problems related to soil compaction, causing a decrease in crop yield and weed growth. This study had the objectives to test the effects of levels of compaction and the raise of the incidence of weeds in the plot and the effects in the final yield of soybean (*Glycine max L.*). The experiment was made in four blocks with plot of 8,0 x 21,0 m. The levels of compaction were made by the simulation of the traffic by agricultural machinery (2, 4 and 8 laps) with a tractor+sprayer (5,6 Mg). For the incidence of weeds, was made random samplings by plot in an area of one square meters. The experiment showed that the levels of compaction did not have influence in the yield response of soybeans, but increased the weeds occurrence and by that yield loss, achieving 36% of reduction.

**Keywords:** Precision agriculture. Induced compaction. Penetration resistance.

## 1 INTRODUÇÃO

O manejo do sistema plantio direto (SPD) trouxe muitos benefícios para a agricultura, pois melhora a retenção e a disponibilidade de água no solo (Dalmago et al., 2009), aumenta a matéria orgânica e o estoque de carbono orgânico deste (Pereira et al., 2011), diminui a erosão hídrica do solo (Oliveira et al., 2012), reduzindo perdas de solo e de nutrientes, evitando contaminação ambiental além de, diminuir as operações realizadas no preparo do solo, reduzindo os custos de produção. Contudo, após vários anos de uso deste sistema, alguns



problemas relacionados à compactação de solos vêm sendo encontrados (Chen et al, 2014). Este problema é advindo do intenso tráfego de máquinas agrícolas, que aliado a errônea inflação de pneus (Feitosa et al., 2015), a falta de um sistema de rotação de culturas, e operações realizadas com teor de água do solo acima do ponto de friabilidade (ponto ideal para trabalho mecanizado) e próximo ao limite plástico o qual resulta na degradação dos atributos físicos do solo, afetando diretamente no desenvolvimentos das plantas e conseqüentemente a produtividade.

Os efeitos da compactação geram dificuldade ao crescimento das raízes das culturas (Freddi et al, 2009) e aumenta o contato solo-semente que tem relação direta com a germinação das plantas daninhas (Lima et al, 2010). Outro problema que ocorre é a redução da infiltração de água no solo (Klein & Klein, 2014), e também o aumento da resistência mecânica à penetração e da densidade do solo, bem como, a redução da macroporosidade.

Solo compactado inibe a absorção de nutrientes pelas plantas cultivadas e diminui a habilidade das mesmas em competir com as plantas daninhas, assim, mudanças nas condições do solo também mudaram a composição (comunidade) das plantas daninhas com o qual a cultura irá competir. Em solos compactados sem o uso de fertilizantes, plantas daninhas de fácil controle tem a tendência de serem substituídas por espécies de plantas daninhas de difícil controle, devido à seleção que ocorre por espécies mais competitivas e que melhor se adaptam ao novo sistema, sendo sérios redutores do rendimento em sistemas agrícolas, pois acumulam os nutrientes disponíveis do solo, bem como a água (Reintam & Kuht, 2012). Segundo estudos de Santos et al. (2008), que avaliando efeito da compactação sobre crescimento e desenvolvimento de *Brachiaria brizantha* e *Bidens pilosa* em relação a soja, afirmam que houve diminuição no crescimento das plantas de soja em função da competição com as espécies infestantes, sendo esse efeito mais pronunciado com o aumento da compactação. Em vista disso este estudo teve como objetivos avaliar os efeitos de diferentes níveis de compactação na incidência de plantas daninhas, bem como, seus efeitos no rendimento final da soja (*Glycine max* L.).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma área experimental do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – *Campus* Sertão, sob um solo classificado como Nitossolo Vermelho (Streck et al., 2008). O clima da região em que se localiza o experimento é do tipo mesotérmico úmido com verão quente (Cfa) e temperatura média de 17,6°C segundo Koppen, possuindo uma altitude média de 685 m. As coletas das informações foram realizadas durante e após a colheita da cultura da soja, sendo que a rotação de culturas na área foi milho (*Zea mays* L.), posterior a área permaneceu em pousio até a semeadura da soja. O solo passou por uma gradagem e subsolagem no primeiro semestre de 2015, para homogeneizar as camadas quanto à estrutura física e química, após isso foi efetuado um processo de tráfego para simular o efeito das máquinas agrícolas nas condições físicas do solo, com isto induzindo compactação na área. Este foi realizado com diferentes passadas de trator + pulverizador com 5,6 Mg de massa (2, 4 e 8 passadas).

A área foi medida por trajeto com o auxílio de um GNSS Garmin® modelo Etrex® 20, e após os dados foram passados para o programa CR7 Campeiro, posteriormente com o mesmo aparelho foram marcados pontos e coletado dados de resistência mecânica do solo a penetração, produtividade da cultura e incidência de plantas daninhas.

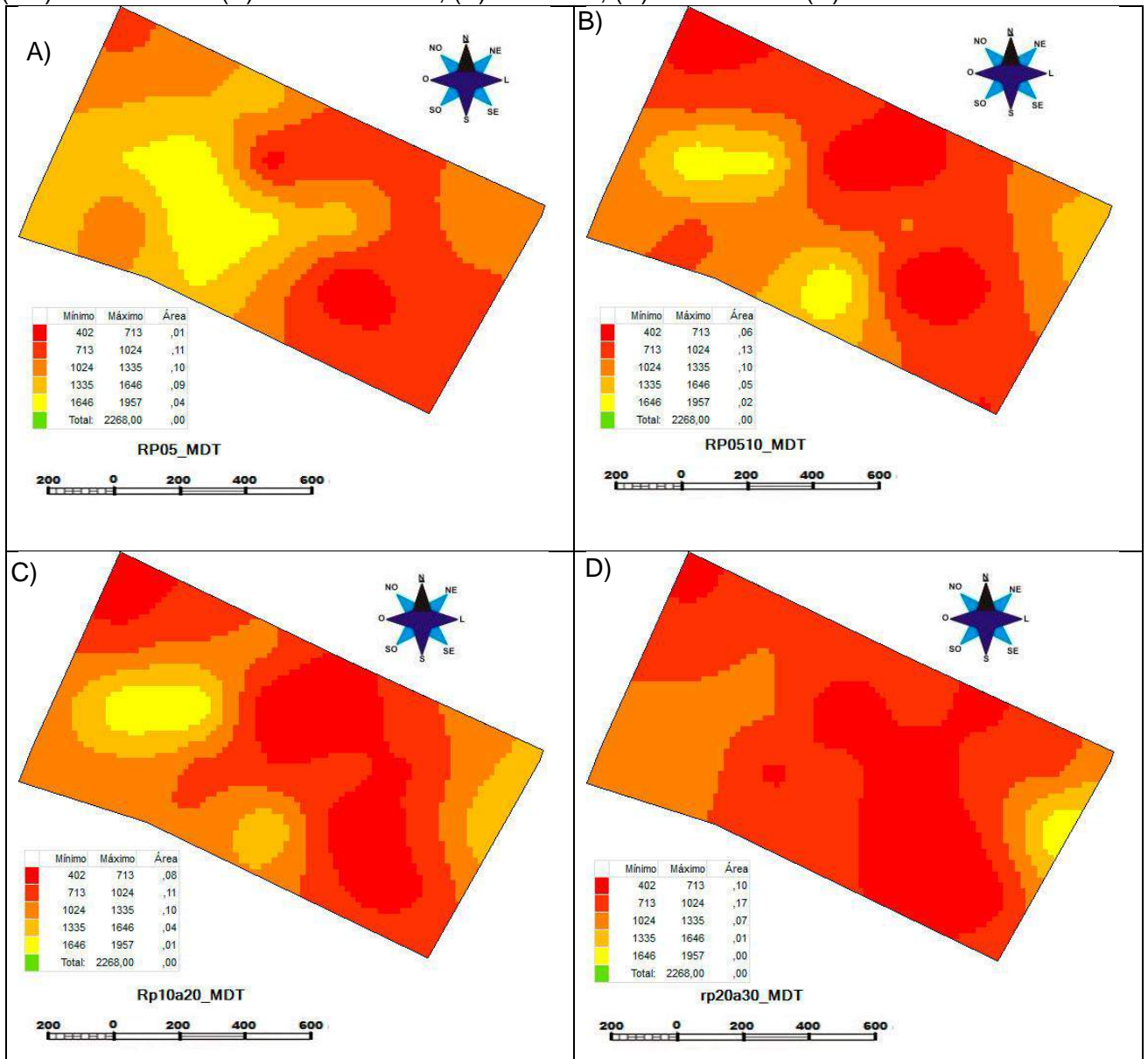
Para determinar o nível de compactação na área foram coletados dados de resistência mecânica do Nitossolo Vermelho à penetração (RP) sendo realizada anterior a semeadura da cultura, através do penetrômetro digital com armazenamento automático marca Falker®, configurado para a coleta de dados a cada 1cm e profundidade máxima de 40cm. Para mensurar a incidência de plantas daninhas foram realizadas amostragens aleatórias por parcela, sendo que a área avaliada foi de 1m<sup>2</sup>. A produtividade foi feita a partir da colheita de 2m<sup>2</sup> e após foi efetuado a pesagem de cada parcela.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Analisando o perfil (0-30cm), tomando como restritivo a resistência mecânica do Nitossolo Vermelho à penetração (RP) de 2000 kPa proposto por Taylor et. al. (1966), a camada de 0 a 5cm não apresenta restrição (Figura 1A) para o desenvolvimento radicular, isto ocorre pois, esta camada sofre influência dos compostos orgânicos que acabam afetando a estabilização dos agregados Cerri et al. (1991), bem como, ação dos mecanismos sulcadores da semeadora. Na camada de 5 a 20 cm (Figura 1B, C) apresenta os maiores valores de RP, sendo grande parte da área possui dados restritivos para o desenvolvimento das plantas, isto é esperado, pois segundo Streck et. al. (2004) é nesta camada que há o efeito do tráfego de máquinas.

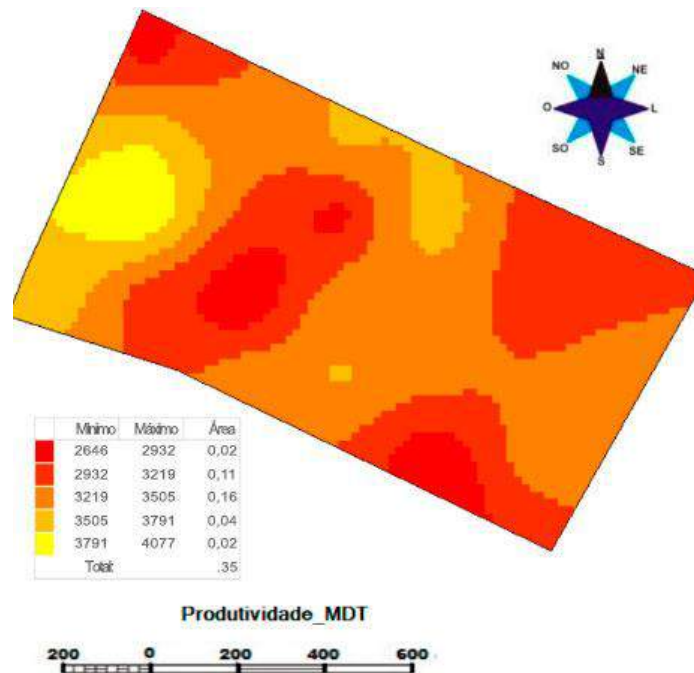
Na camada de 20 a 30cm (Figura 1D) os valores de RP diminuem em relação as camadas anteriores, isto ocorre pois nesta camada já não ocorre efeito do tráfego de máquinas sobre as propriedades físicas do solo.

Figura 1 - Mapa de isolinhas da resistência mecânica (kPa) do Nitossolo Vermelho à penetração (RP) nas camadas (A) RP de 0 a 5 cm, (B) 5 a 10cm, (C) 10 a 20cm e (D) 20 a 30 cm.



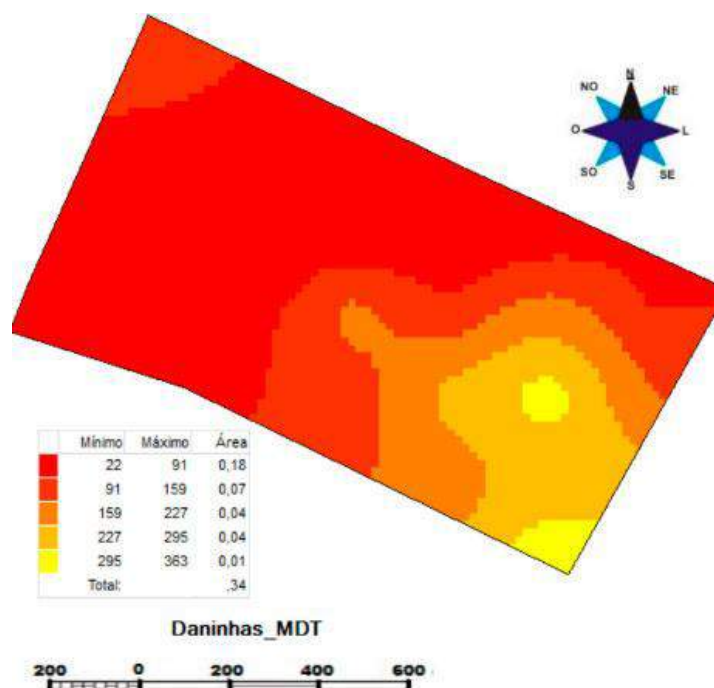
Quando compara-se os dados de resistência a penetração (Figura 1) com os dados de produtividade da soja (Figura 2) observa-se que a maior produtividade ocorreu nos locais onde ocorre maior resistência, isto difere do trabalho de Beutler & Centurion (2004) onde afirmam que a produtividade da soja diminui em altos níveis de resistência. Estes resultados podem ser explicados devido aos bons níveis de chuvas ocorrida no período de avaliação da cultura, não refletindo em sua produtividade.

Figura 2 - Mapa de isolinhas da produtividade da cultura da soja ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) sob sistema plantio direto.



Quando compara-se a produtividade da soja com a incidência de plantas daninhas (Figura 3) pode-se observar que a quantidade de plantas daninhas interferiu na produtividade da cultura, pois nas zonas com maior incidência, classe 3, 4 e 5, que vai de 159,12 à 363,46 plantas, houve produtividade na área nas classes 2 e 3, que representa 2932,6 até 3505,2kg  $\text{ha}^{-1}$ . Isto ocorre devido à competição entre as plantas daninhas e a cultura de interesse, tais dados também foram constatados por Nepomuceno et al., (2007) onde encontraram reduções de cerca de 46% de produtividade em sistema de plantio direto. A incidência de plantas daninhas (Figura 3) apresentaram interação positivas quando comparado com a camada de 0 a 5cm dos dados de resistência mecânica a penetração (Figura 1), isto ocorre, pois as plantas daninhas são mais adaptadas a condições desfavoráveis ao desenvolvimento da cultura da soja como a compactação.

Figura 3 - Mapas de isolinhas da incidência de plantas daninhas na área em estudo.



## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A camada mais compactada foi de 5 a 20 cm de profundidade, onde o tráfego de máquinas exerce maior efeito.

A resistência à penetração não exerceu efeito direto sobre a produtividade da cultura da soja, porém aumentou a incidência de plantas daninhas, que por sua vez influenciou negativamente o rendimento da cultura da soja.

## REFERÊNCIAS

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 6, p. 581-588, 2004.

CERRI, C. C.; FELLER, C.; CHAUVEL, A. Evolução das principais propriedades de um Latossolo Vermelho-Escuro após desmatamento e cultivo por doze e cinquenta anos com cana-de-açúcar. **Cahiers-ORSTOM. Pédologie**, v. 26, n. 1, p. 37-50, 1991.

CHEN, Y. L., PALTA, J., CLEMENTS, J., BUIRCHELL, B., SIDDIQUE, K. H., & RENGEL, Z. Root architecture alteration of narrow-leafed lupin and wheat in response to soil compaction. **Field Crops Research**, v. 165, p. 61-70, 2014.

DALMAGO, G. A., BERGAMASCHI, H., BERGONCI, J. I., KRUGER, C. A. M. B., COMIRAN, F., & HECKLER, B. M. M. Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.855-864, 2009.

FEITOSA, J. R., FERNANDES, H. C., TEIXEIRA, M. M., & CECON, P. R. Influência da pressão interna dos pneus e da velocidade de deslocamento nos parâmetros operacionais de um trator agrícola e nas propriedades físicas do solo. **Engenharia Agrícola**. v. 35, n.1, p.117-127, 2015.

FREDDI, O. C.; DE ALMEIDA, C. X. Compactação de um Latossolo Vermelho de textura argilosa afetando o sistema radicular e a produtividade do milho. **Ceres**, v. 56, n. 5, 2009.

KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Influência do manejo do solo na infiltração de água. **Revista Monografias Ambientais**, v. 13, n. 5, p. 3915-3925, 2014.

LIMA, C. L. R. de; REINERT, D., REICHERT, J., & SUZUKI, L. Produtividade de culturas e resistência à penetração de Argissolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.1, p.89-98, 2010

NEPOMUCENO, M., ALVES, P. L. C. A., DIAS, T. C. S., & PAVANI, M. C. M. D. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da soja nos sistemas de semeadura direta e convencional. **Planta Daninha**, v.25, n.1, p.43-50, 2007.

OLIVEIRA, J. G. R., RALISCH, R., DE FÁTIMA GUIMARÃES, M., DE CESARE BARBOSA, G. M., & TAVARES FILHO, J. Erosão no plantio direto: perda de solo, água e nutrientes. -doi: 10.4025/bolgeogr. v30i3. 17644. **Boletim de Geografia**, v. 30, n. 3, p. 91- 98, 2012.

PEREIRA, M. G., LOSS, A., BEUTLER, S. J., & TORRES, J. L. R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 5, p. 508-514, 2011.

REINTAM, E.; KUHT, J. Weed Responses to Soil Compaction and Crop Management. **INTECH Open Access Publisher**, 2012.

SANTOS, J. B., LÁZARI, T. M., CAMELO, G. N., OLIVEIRA, T. A., & FIGUEIREDO, J. L. A. Competição entre soja resistente ao glyphosate e plantas daninhas em solo compactado. **Planta daninha**, v. 26, n. 1, p. 123-130, 2008.

STRECK, C.A.; REINERT, D .J.; REICHER T, J.M. & KAISER, D .R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, n. 3, p. 755-760, 2004.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. D.; SCHNEIDER, P.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. UFRGS: EMATER/RS-ASCAR. 2008.

TAYLOR, H. M. et al. Soil strength - root penetration relations to medium to coarse – textured soil materials. **Soil Science**, v. 102, n. 1, p. 18-22, 1966.

# IMPLICAÇÃO DO USO DE DIFERENTES GRADES AMOSTRAIS PARA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO

## *Implication of the use of different sample grids to determine soil resistance to penetration*

Jhonatan Spliethoff<sup>1</sup>, Leandro Rampim<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Estadual do Centro-Oeste do Paraná - UNICENTRO, Rua Simeão Varela de Sá, 3, 85040-080, Guarapuava – Paraná, Brasil, [jhonatanspliethoff@hotmail.com](mailto:jhonatanspliethoff@hotmail.com)

<sup>2</sup> Estadual do Centro-Oeste do Paraná - UNICENTRO, Rua Simeão Varela de Sá, 3, 85040-080, Guarapuava – Paraná, Brasil, [rampimleandro@hotmail.com](mailto:rampimleandro@hotmail.com)

### RESUMO

O objetivo com este estudo foi avaliar a variabilidade espacial da resistência à penetração de um Latossolo Bruno, na região Centro-Oeste do Paraná. Foi utilizada área experimental de 0,2 ha e *grid* amostral de 4 x 4 m, totalizando 120 leituras de resistência à penetração. Os dados foram submetidos à análise simulada pela exclusão de pontos amostrais distribuídos uniformemente pela área, sendo obtido *grid* amostral de 4 x 4 m, 4 x 8 m e 4 x 40 m. A resistência à penetração foi determinada utilizando um penetrógrafo com haste de 60 cm. A camada compreendida entre a faixa de 0,05 e 0,2 m apresentou maior média dos valores de resistência à penetração em relação às demais camadas estudadas. Para realizar manejo motomecanizado a taxa fixa em toda a área, a malha 4x40 pode ser utilizada. Para executar manejo a taxa variada, a malha ideal é 4 x 4 m, sendo possível uso da malha 4 x 8 m.

**Palavras-chave:** Penetrógrafo. Malha amostral. Agricultura de precisão.

### ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the spatial variability of penetration resistance of a Bruno Latosol, in Center-West, Paraná. It was realized in 0.2 ha experimental area and 4 x 4 m sampling grid were used, totaling 120 resistance readings. The data were submitted to statistical analysis, performed for different sampling intensities, simulated by the exclusion of sample points distributed evenly in the area, and a sampling grid of 4 x 4 m, 4 x 8 m and 4 x 40 m. Penetration resistance was determined using a 60 cm rod penetrometer. The layer comprised between 0.05 and 0.2 m presented higher mean values of resistance to penetration in relation to the other layers studied. To carry out mechanized mechanization at a fixed rate throughout the area, the 4x40 mesh can be used. To carry out handling at a variable rate, the ideal mesh is 4 x 4 m, being possible to use the 4 x 8 m.

**Keywords:** Penetrometer. Sampling grid. Precision agriculture.

### 1 INTRODUÇÃO

Para a exploração agrícola do solo de forma sustentável, é essencial conhecer suas características intrínsecas, como sua qualidade física. Embora cultivados a muitos anos, os solos são naturalmente heterogêneos, possuindo variações contínuas no espaço e no tempo (SOUZA, 2007). Nesse sentido, torna-se crucial conhecer a heterogeneidade dos solos, haja visto que quando o solo é tratado como um ambiente agrícola homogêneo tem-se perdas na produção e produtividade (JOHANN et al., 2004).

Para garantir a sustentabilidade produtiva dos solos, os conhecimentos de seus atributos físicos são fundamentais (REYNOLDS et al., 2008), já que o conhecimento dessas características permite estabelecer sistemas de manejo do solo e da água adequados a suas peculiaridades. Dentre os indicadores da qualidade física dos solos, Singer e Ewing (2000) e Imhoff (2002) sugerem aqueles diretamente ligados à produção das culturas e que ainda sejam capazes de medir a capacidade do solo em fornecer condições para desenvolvimento adequado das plantas.

Uma alternativa capaz de quantificar essa qualidade física do solo de forma rápida e prática é a avaliação da resistência do solo à penetração (RP). Essa ferramenta expressa a facilidade ou não com que as raízes penetram no solo (MION et al., 2012). De maneira indireta,

indica a localização da camada mais compactada, podendo ser relacionada com outros atributos indicadores do grau de compactação (STEFANOSKI et al., 2013).

Para conhecer a variabilidade física do solo, muitas vezes é necessária amostragem intensa, pois como se sabe, os atributos físicos do solo variam entre pontos relativamente próximos, mesmo em área de manejo semelhante e visualmente semelhantes (SOUZA et al., 2004). Sabendo disso, é importante conhecer o comportamento dessa variabilidade a fim de minimizar os erros de amostragens e futuras recomendações (LIMA et al., 2006).

Recentemente, Araújo et al. (2014) realizaram trabalho para avaliar variabilidade dos atributos físicos do solo, em grid de 15x15 m, identificando níveis elevados de resistência a penetração, mesmo em condições favoráveis de umidade, restritivos ao crescimento das raízes em Neossolo Flúvico. Assim como Cortez et al. (2017) estudaram Latossolo Vermelho com grid de 15x15 m, onde identificaram diferença entre sistema plantio direto e cultivado, com menor resistência a penetração para o cultivado.

Ao identificar camada compactada, Girardello et al. (2017) enfatizam que é oportuno organizar o tráfego de máquinas agrícolas que atualmente ocorre de maneira aleatória dentro das áreas comerciais, sendo uma ação com efeito de mitigar os problemas de compactação, impedindo perdas de produtividade. Uma vez que o tráfego de máquinas de grande porte sob condições inadequadas de umidade (elevada umidade) do solo, associada com a inadequada rotação de culturas e baixo aporte de massa seca, acaba induzindo a ocorrência da compactação do solo.

A importância da compactação e necessidade de avaliar a resistência do solo ao desenvolvimento de raízes, tem fomentado diversas pesquisas como a realizada por Pereira et al. (2017), com a avaliação da compactação do solo por penetrômetro de placa, permitindo tem informação em tempo real, o que pode agilizar processos de interpretação e recomendação de manejo.

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi caracterizar a variabilidade espacial da resistência à penetração em Latossolo Bruno, analisando diferentes densidades amostrais na mesma área, de modo a determinar a eficiência e possibilidade de uso de diferentes malhas amostrais no manejo do solo por operações motomecanizadas.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área experimental do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual do Centro Oeste – UNICENTRO, Paraná, localizado a 25° 33' latitude Sul e 51° 29' longitude Oeste e com altitude de aproximadamente 1100m. Segundo Köppen, o clima predominante na região é do tipo temperado Cfb, devido aos verões amenos, temperatura média no mês mais quente inferior a 22°C, temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C, com geadas severas e sem estação seca definida. A precipitação pluvial anual média entre 1.600 a 2.000 mm (IAPAR, 2000). O solo avaliado é classificado como Latossolo Bruno Distrófico típico - LBd (Embrapa, 2013). A área é manejada culturas de milho e soja no verão e inverno por aveia em sistema de integrado de produção.

A área de estudo tem 2000 m<sup>2</sup>, e nesta foram adotadas três grades amostrais, sendo 4 x 4 m, 4 x 8 m e 4 x 40 m. Para cada grade amostral foi determinada a resistência à penetração média do solo, utilizando o penetrógrafo eletrônico com haste do tipo cone 2, marca Falker modelo PLG1020 (FALKER, 2009). A profundidade efetiva da penetrometria foi até 0,55 m, sendo que, para cada de 0,05 m realizou-se a confecção de um mapa temático efetuada pelos recursos do próprio software Excel.

A análise dos dados foi realizada para diferentes intensidades de amostragem, simuladas pela exclusão de pontos amostrais distribuídos uniformemente pela área, sendo obtido grid amostral de 4 x 4 m, 4 x 8 m e 4 x 40 m seguindo o formato de implantação das culturas na área pelo deslocamento das máquinas. Em seguida, os dados de cada camada estudada foram submetidos à análise estatística, com estruturação de gráficos contemplando eixo X para dados de grade 4x4 e no eixo Y, ora dados da grade 4x8 ora dados da grade 4x40. Tal análise dos

dados, contou com construção de equação de regressão linear e respectivo coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

Os dados de resistência a penetração foram classificados em três classes: 0-1,0 Mpa (baixa), 1,0-1,5 Mpa (médio, tolerável para cultivo); 1,5-3,0 (alto, apresentando dificuldade para desenvolvimento das plantas). Esta classificação está baseado em resultados obtidos para o Latossolo Bruno em pesquisas recentes na UNICENTRO, devido às características específicas do solo que apresenta nível de matéria orgânica a outros solos, nos quais considera-se problemático quando está acima de 2 MPa (GREGO e VIEIRA, 2005).

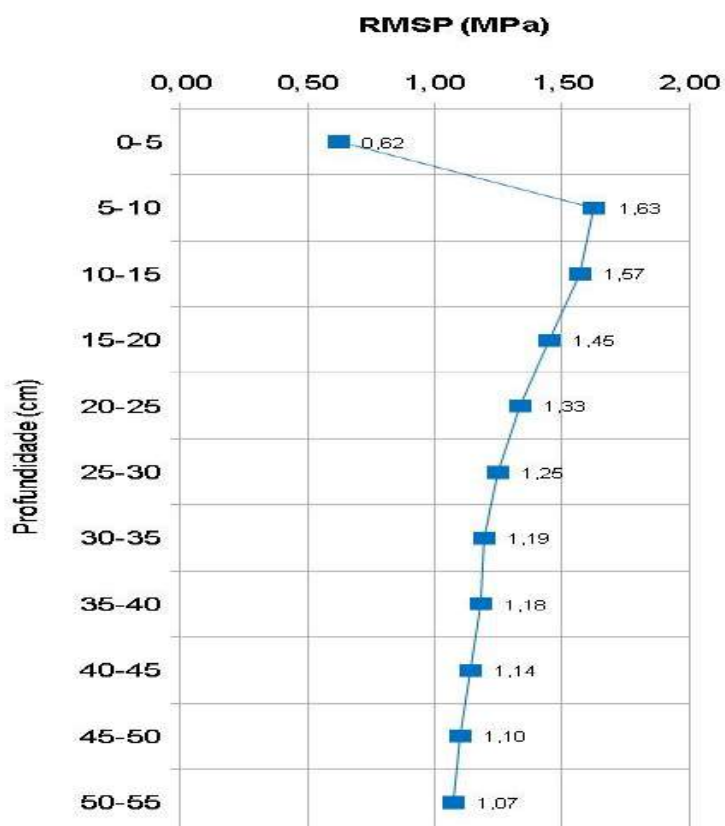
Para verificar o efeito do número de pontos amostrais na qualidade do mapeamento, os valores de resistência à penetração das diferentes intensidades de amostragem (grade retangular 4 x 8 m e 4 x 40 m) foram correlacionados pela correlação de Pearson e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da equação linear com os valores da malha retangular com maior densidade amostral, sendo os 120 pontos originalmente avaliados (grade de 4 x 4 m).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O conteúdo de água do solo no momento da avaliação da RP foi de 44,29 e 42,78 % nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, respectivamente, dentro da capacidade de campo para o solo estudado. De acordo com metodologia proposta por Ruiz et al (2003) para estimar adequadamente a RP de Latossolos, o solo deve estar na umidade de capacidade de campo.

Os valores médios de resistência à penetração (Figura 1) evidenciam que, a camada situada entre 0,05 e 0,20 m são as que apresentam os maiores valores de resistência. Franchini et al. (2009), relata que em sistema de plantio direto, a camada entre 0,10 e 0,20 m, apresentam as limitações mais acentuadas em termos de compactação do solo.

**Figura 1.** Valores médio de resistência à penetração do solo (Mpa) coletados em grade amostral de 4 x 4 m (120 pontos). Guarapuava/PR, 2017.





O maior adensamento do solo nas camadas superficiais é decorrente principalmente do tráfego de máquinas e implementos em condições de alto teor umidade no solo (ARAÚJO et al., 2004). De forma que na camada 0-0,5 m tem constante atuação de disco duplo para implantar as culturas de inverno e atuação de disco duplo para distribuir fertilizante nas culturas de verão, propiciando menor resistência a penetração. Por outro lado, nas camadas de 0,05 m em diante, a compactação do solo proporcionada pelo tráfego de máquinas não é interrompida, pois, o uso isolado de disco duplo não atinge tal profundidade, na operação de implantação das culturas. Consequentemente, promove camadas com maior nível de resistência a penetração.

Valores de RP de 0,64 MPa, associados a densidade do solo de  $1,32 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$  são consideradas limitantes ao desenvolvimento das raízes de milho (BERGAMIN et al. 2010), enquanto que para soja, são limitantes valores de RP de 1,84 MPa e densidade do solo de  $1,35 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$  (VALADAO et al. 2015).

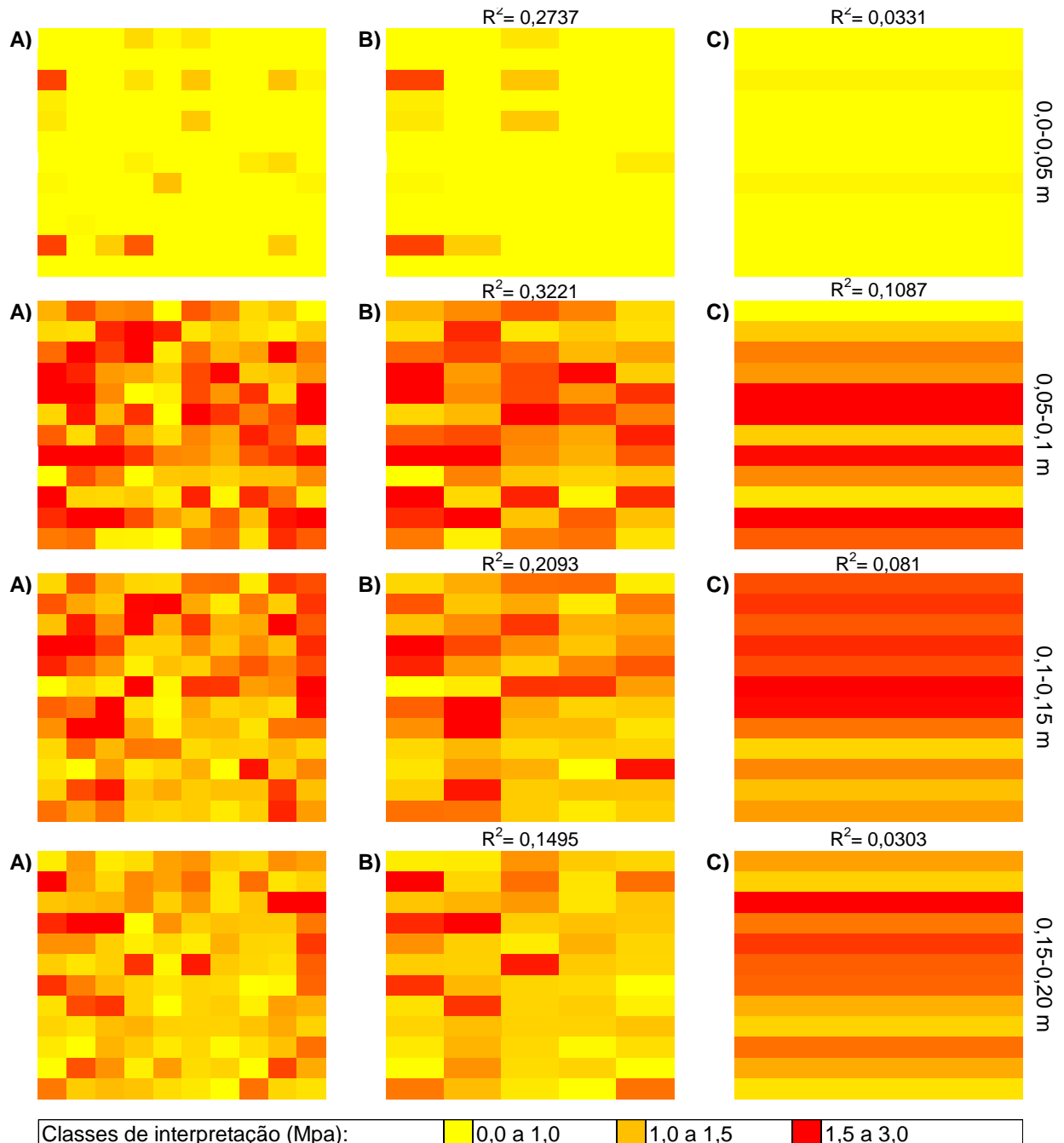
No mapa temático (Figura 2), também é possível verificar que a camada situada entre 0,05 e 0,20 m é a que apresenta os maiores valores de resistência à penetração. Além disso, quando realiza a comparação das diferentes malhas amostrais, onde 4 x 4 m seria a com maior densidade amostral, 4 x 8 m (intermediária) e 4 x 40 m com menor densidade amostral, foi verificado diminuição da coeficiente de determinação em todas as profundidades, fato este também relatado por Debiasi et al (2011), que encontrou redução da correlação estava relacionado à variabilidade dos atributos físicos do solo.

Na Figura 2, foi possível verificar que a redução do número de pontos de 120 para 60 ou 12, alterou o resultado visível do mapa temático de RP. Quando foi verificado o coeficiente de determinação dos dados, onde o padrão seria com 120 pontos, foi observado redução significativa do  $R^2$  em ambas as grades amostrais (Figura 2), sendo o  $R^2$  médio da grade 4 x 8 m de 0,26 e da grade 4 x 40 m o  $R^2$  médio foi de 0,07 em relação ao modelo padrão (4 x 4 m). As alterações, embora sejam visíveis no mapa temático, implicam em modificações importantes, podendo muitas vezes condicionar erros na interpretação dos mesmos e, conseqüentemente, no manejo proposto para o solo. Debiasi et al (2011) relata que, a variabilidade espacial da RP é influenciada tanto pela profundidade do perfil do solo como pela intensidade de amostragem.

A identificação da maior resistência a penetração nas camadas de 0,05 – 0,10 m, 0,10 – 0,15 m e 0,15 – 0,20 m, permite manejar a área de forma a eliminar compactação nestas camadas, as quais podem estar prejudicando o crescimento do sistema radicular das culturas, desenvolvimento das culturas e conseqüentemente minimização da produtividade das culturas anuais e redução da produção de matéria verde de aveia. Araújo et al. (2014) consideraram que, para exploração agrícola sustentável é fundamental conhecimento dos solos, pois, desta forma poderão ser adotados manejos adequados que proporcionem produtividades continuamente satisfatórias e evitem a degradação dos solos. A construção de mapas, é importante para a verificação e a interpretação da variabilidade espacial, pois as informações visuais fornecidas pelos mapas servem de auxílio na tomada de decisões, em função das propriedades analisadas (GREGO e VIEIRA, 2005).

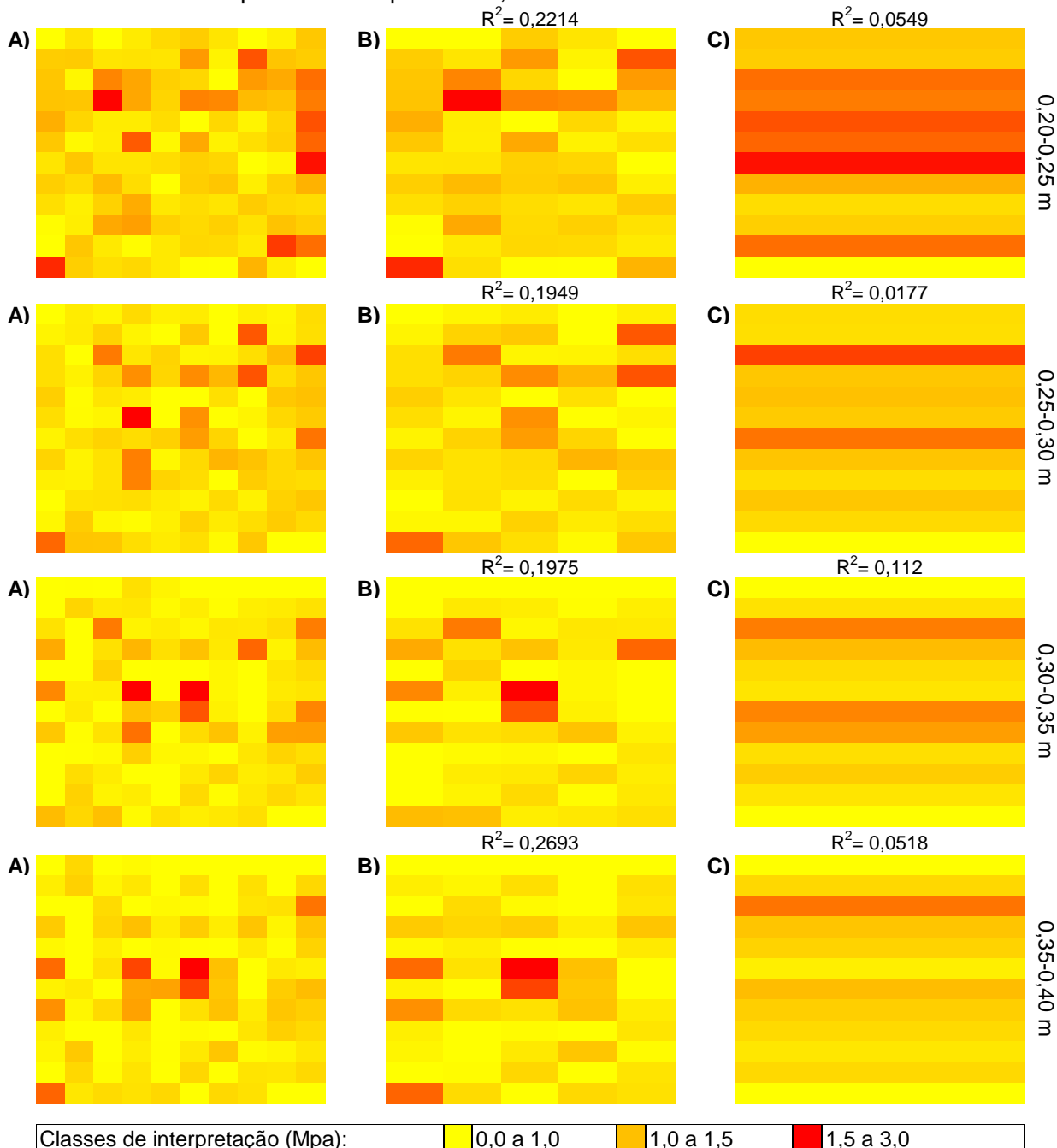
A interferência mecânica possível de ser realizada neste sistema, visto que já se realiza rotação de culturas, com uso de aveia e também uso de animais devido a ser sistema integrado de produção, pode ser necessário uso de hastes sulcadoras para implantação das culturas de soja e milho, possibilitando atuar nas camadas até 0,20 m, principalmente nas linhas de semeadura, proporcionando condição mais adequada para o desenvolvimento das culturas. Contudo, é pertinente ressaltar que a presença das camadas com maior resistência a penetração pode prejudicar o desenvolvimento de culturas implantadas apenas com disco duplo, principalmente as culturas de inverno, as quais podem ter maior dificuldade de aproveitar a umidade do perfil do solo. Fato que prejudica a produção de matéria verde para a alimentação animal e rápida recuperação de aveia após pastejo.

**Figura 2.** Mapa temático da resistência à penetração estratificada nas camadas de 0-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m pelas diferentes amostragens em grade retangular de 4 x 4 m (A), 4 x 8 m (B) e 4 x 40 m (C) seguindo o formato de implantação das culturas na área pelo deslocamento das máquinas. Guarapuava/PR, 2017.



Já nas camadas mais profundas, abaixo de 0,20 m, apresentaram valores menores de resistência a penetração, provavelmente por menor interferência do tráfego de máquinas nestas camadas, repercutindo características intrínsecas ao próprio solo. Caso identificar resistência à penetração que interfira no desenvolvimento nestas camadas pode ser necessária atuação de escarificação mecânica e até mesmo subsolagem em camadas mais profundas (Araújo et al., 2004).

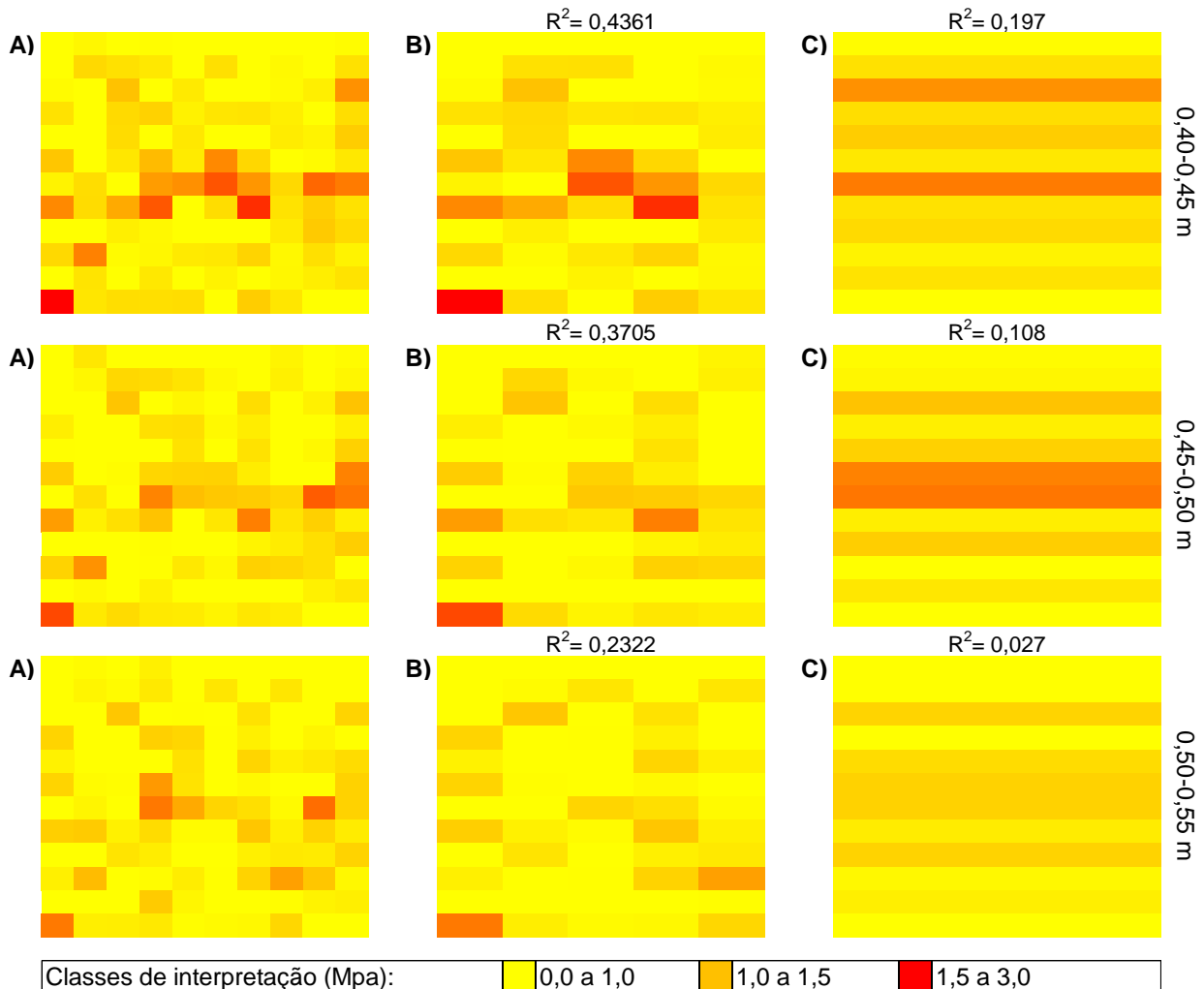
**Figura 3.** Mapa temático da resistência à penetração estratificada nas camadas de 0,20-0,25 m, 0,25-0,30 m, 0,30-0,35 m e 0,35-0,40 m pelas diferentes amostragens em grade retangular de 4 x 4 m (A), 4 x 8 m (B) e 4 x 40 m (C) seguindo o formato de implantação das culturas na área pelo deslocamento das máquinas. Guarapuava/PR, 2017.



Ao analisar as Figuras 2, 3 e 4 foi possível constatar alterações visuais, que pode aparentar não ser tão acentuada, ao comparar as diferentes malhas amostrais. Contudo, ao realizar a elaboração de relação linear entre os valores da menor grade amostral com 4 x 8 m e 4 x 40 m foi identificado diferenças, visto que a grade amostral retangular 4 x 8 m apresentou mais similaridade com a menor grade (4 x 4 m), tanto que mostrou maior valor de coeficiente de determinação para todas as camadas estudadas. Por outro lado, a grade retangular 4 x 40 m apresentou valores baixo de coeficiente de determinação ao testar equações lineares para todas as profundidades, evidenciando diferenças ao utilizar grade amostral menos intensa para estudar resistência a penetração. Tais resultados estão relacionados à elevada variabilidade dos atributos físicos do solo, que repercuti na necessidade de elevada quantidade de pontos amostrais para ter

conhecimento da variabilidade do solo (SOUZA et al., 2004; SOUZA et al., 2007).

**Figura 4.** Mapa temático da resistência à penetração estratificada nas camadas de 0,40-0,45 m, 0,45-0,50 m e 0,50-0,55 m pelas diferentes amostragens em grade retangular de 4 x 4 m (A), 4 x 8 m (B) e 4 x 40 m (C) seguindo o formato de implantação das culturas na área pelo deslocamento das máquinas. Guarapuava/PR, 2017.



O conhecimento da variabilidade facilita o manejo, contudo, a realização de alta intensidade de malha de amostragem torna inviável a aplicação nas propriedades rurais. Sobretudo, é possível indicar a realização de alta densidade amostral em algumas áreas de determinado produtor rural, permitindo conhecer a variabilidade intrínseca ao sistema de manejo em conjunto com o tipo de solo, fato que pode identificar grade amostral para ser realizada em toda a propriedade. Pois, ao conhecer o ambiente de variabilidade é notável a facilidade de indicar manejo adequado para as propriedades. Também permite verificar os limites de resistência ao qual está sendo acompanhado e que prejudica o desenvolvimento das culturas para determinada região/propriedade.

A redução da intensidade amostral causou alteração visual nos mapas, comprovado com os valores de coeficiente de determinação ao comparar as malhas 4x8 e 4x40 com a malha menor (4x4). O coeficiente de determinação mostrou que os resultados de resistência a penetração na malha 4x8 é mais semelhante ao 4x4, enquanto que a malha 4x40 apresenta baixo valor de coeficiente de determinação para algumas camadas estudadas. É evidente que a redução da precisão dos dados, pode prejudicar a interpretação dos dados e indicação do manejo, sendo

necessário ter conhecimentos destas diferenças para estruturar métodos adequados de interpretação e recomendação.

Assim, mesmo, utilizando intensidade amostral da RP menos intensa, os resultados obtidos permitem orientar adequadamente o manejo de solo, ao executar operação a taxa fixa. Neste contexto, grade amostral menos intensa pode ser suficiente para avaliar grandes extensões de área, ao estar respaldada por avaliações preliminares em áreas menores com maior intensidade amostral. Segundo Souza et al. (2007) é desnecessário conhecer minuciosamente a variabilidade do solo, como o caso da resistência à penetração, pois, já é sabido que o solo tem elevada variabilidade.

Conforme retro mencionado, em situações de avaliação que ao identificar problemas de camadas com maior resistência à penetração, irá proceder com interferência motomecanizada em toda a propriedade pode ser suficiente menor grade amostral. Mesmo assim, é recomendado realizar avaliação inicial em menor área, para conhecer os níveis específicos da variabilidade de RP, e, posteriormente aplicar grades de amostragem maiores, para obter maior rendimento amostral. Tal procedimento permitirá indicar manejo dentro do contexto da propriedade (avaliação preliminar mais aprofundada), mas, avaliar toda a área, com menor número de avaliações e proceder interferências de maneira uniforme em toda a área.

Por outro lado, ao analisar os resultados obtidos, verificou-se que malhas 4x8 alcançou coeficiente de determinação maior que a malha 4x40, ao comparar com a malha reduzida de 4x4. Fato, que caso tenha possibilidade de utilizar alto nível de avaliação da resistência à penetração do solo, constata-se que seria ideal a malha 4x4, e se aproxima a 4x8. Mas, não seria adequado o uso da malha 4x40. Assim, vale a pena ressaltar que a agricultura de precisão passa por constante evolução, tanto que atualmente já é possível realizar o manejo à taxa variável com equipamentos, cita-se escarificadores e subsoladores, os quais podem ser utilizados para romper camadas identificadas com maior resistência à penetração e que estejam em níveis danosos ao desenvolvimento das culturas. Neste novo contexto, a utilização de grade amostral reduzida é fundamental para ter informações específicas da variabilidade de todos os pontos da propriedade. Tal fato, proporciona atuação diretamente nos pontos da superfície do solo e das camadas do solo que apresentem problema. É oportuno salientar a importância de sistema de posicionamento geográfico com elevada eficiência e exatidão para conseguir realizar manejo extremamente específico. Também é necessário reduzir tempo de reação dos comandos hidráulicos para entrar em operação os equipamentos agrícolas, no ponto necessário.

## 4 CONCLUSÃO

O Latossolo Bruno Distrófico típico estudado apresentou maior resistência à penetração, na camada que compreende 0,05 e 0,2 m de profundidade do perfil do solo, sendo valores críticos ao desenvolvimento das culturas, repercutindo em redução da produtividade de grãos.

Para realizar manejo motomecanizado a taxa fixa em toda a área, a malha 4x40 pode ser utilizada, pois, permitiu identificar nível elevado de resistência à penetração, mesmo em área de 2 ha.

Ao executar manejo a taxa variada, a malha ideal é 4x4, sendo possível uso da malha 4x8, pois, permitiu identificar locais específicos de elevada resistência à penetração.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, D. R.; MION, R. L.; SOMBRA, W. A.; ANDRADE, R. R.; AMORIM, M. Q. Variabilidade espacial de atributos físicos em solo submetido à diferentes tipos de uso e manejo. **Revista Caatinga**, 27(2): 101-115, 2014.

ARAÚJO, D. R.; MION, R. L.; SOMBRA, W. A.; ANDRADE, R. R.; AMORIM, M. Q. Variabilidade espacial de atributos físicos em solo submetido à diferentes tipos de uso e manejo. **Revista**

Caatinga, 27 (2), 101-115, 2014.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; INOUE, T. T.; COSTA, A. C. S. Efeitos da escarificação na qualidade física de um Latossolo Vermelho Distroférico após treze anos de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 28 (2): 495-504, 2004.

BERGAMIN, A. C., VITORINO, A. C. T., FRANCHINI, J. C., SOUZA, C. M. A. E SOUZA, F. R. Compactação de um Latossolo Vermelho Distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34: 681-691, 2010.

CORTEZ, J. W.; MAUAD, M.; SOUZA, L. C. F.; RUFINO, M. V.; SOUZA, P. H. N. Agronomical attributes of soybeans and soil resistance to penetration in no-tillage and chiseled surfaces. **Engenharia Agrícola**, 37 (1), 98-105, 2017.

DEBIASI H, FRANCHINI J.C, OLIVEIRA F.A E MACHADO T.M. Ajuste de grades amostrais para o mapeamento da resistência à penetração de um Latossolo Bruno. **Agricultura de Precisão: um novo olhar**. 2: 138-142, 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; LANZANOVA, M. E.; TASCA, A. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento radicular da soja sob sistema plantio direto com tráfego controlado de máquinas agrícolas. **Revista Scientia Agraria**, 18 (2), 86-96, 2017.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29(2): 169-177, 2005.

IMHOFF, S.C. **Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de Latossolos e Argissolos Vermelhos**. Piracicaba: Escola Superior Luiz de Queiroz/USP, 2002. Tese Doutorado.

JOHANN, J. A.; OPAZO, M. A. U.; SOUZA, E. G.; ROCHA, J. V. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade em um Latossolo Bruno distrófico da região de Cascavel, PR. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 8 (2/3): 212- 219, 2004.

LIMA, J. A. G.; MENDES, M. A. S.; DUDA, G. P.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de características físico-hídricas de um Cambissolo cultivado com mamão no semi-árido do RN. **Revista Caatinga**, 19 (2): 192-199, 2006.

PEREIRA, J. O.; LAMB, J. R.; BRACARENSE, J. C.; DÉFOSSEZ, P.; RICHARD, G.; SILVA, S. L.; PORDEUS, R. V.; DINIZ, M. J. Determination of the soil compaction in real time on field with plate penetrometer and data filtering system. **African Journal of Agricultural Research**, 12(13), 1112-1120, 2017.

REYNOLDS, W.; DRURY, C. F.; YANG, X. M.; TAN, C. S. Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. **Geoderma**, 146: 466-474, 2008.

RUIZ H. A, FERREIRA, G. B e PEREIRA, J. B. M. Estimativa da capacidade de campo de LATOSSOLOS e neossolos Quartzarênicos pela determinação do equivalente de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27: 389-393, 2003.

SINGER, M.; EWING, S. Soil quality. In: SUMNER, M.E. (Ed.) **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 271-298, 2000.

SOUZA, E. R. **Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de um Neossolo Flúvico cultivado com cenoura irrigada com água moderadamente salina**. 2007. 84p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.

SOUZA, Z. M.; MARQUES, J. J.; PEREIRA G. T.; BENTO, M. J. C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 8 (1): 51-58, 2004.

VALADÃO, F. C. A., WEBER, O. L. S., VALADÃO JÚNIOR, D. D., SCAPINELLI, A., DEINA, F. R.  
E BIANCHINI, A. Adubação fosfatada e compactação do solo: sistema radicular da soja e do milho  
e atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39: 243-255, 2015.

## DESEMPENHO DA SOJA SOB DIFERENTES DOSES DE GESSO NA REGIÃO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL

*Performance of soybeans under different doses of plaster in the  
northwest region of Rio Grande do Sul*

Tassiana Dacás<sup>1</sup>, Antônio Luis Santi<sup>2</sup>, Fagner Augusto Rontani<sup>3</sup>, Isaura Luiza Donati Linck<sup>4</sup>, Cleonice Inês Jung<sup>5</sup>, Vinícius da Silva Miguel<sup>6</sup>  
<sup>1,2,3,4,5,6</sup> Universidade Federal de Santa Maria, RS, Linha 7 de Setembro, 98400-000, Frederico Westphalen – RS, Brasil, [tassianadacas@hotmail.com](mailto:tassianadacas@hotmail.com), [santi\\_pratica@yahoo.com.br](mailto:santi_pratica@yahoo.com.br), [fagner\\_rontani@outlook.com](mailto:fagner_rontani@outlook.com), [isauralinck@hotmail.com.br](mailto:isauralinck@hotmail.com.br), [cleonicejung@hotmail.com](mailto:cleonicejung@hotmail.com), [viniciusmiguel@hotmail.com](mailto:viniciusmiguel@hotmail.com)

### RESUMO

Objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de diferentes doses de gesso sobre determinadas características de interesse agrônomo bem como a produtividade de grãos da soja (*Glycine max*) cultivada na Região Noroeste do Rio Grande do Sul em Sistema Plantio Direto. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico de textura argilosa. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com 6 tratamentos de diferentes doses de gesso, sendo: 0; 1000; 2000; 3000; 4000 e 5000 kg ha<sup>-1</sup>, com quatro repetições. A área de cada parcela foi de 31,5 m<sup>2</sup>, e espaçamento entre linha de 0,45 m. Não houve diferença significativa entre os tratamentos para os parâmetros: número total de legumes, número total de grão, peso de mil sementes e produtividade. Novas avaliações deverão ser realizadas, para que se obtenha resultados mais consolidados quanto as doses e a viabilidade do uso de gesso agrícola para o cultivo de soja no noroeste do estado do Rio Grande do Sul.

**Palavras-chave:** *Glycine Max (L.) Merrill*. Produtividade. Solo

### ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of the application of different doses of gypsum on certain characteristics of agronomic interest as well as soybean (*Glycine max*) yield cultivated in the Northwest Region of Rio Grande do Sul under no-tillage system. The soil of the experimental area was classified as a Dystroferic Red Latosol with a clayey texture. The experimental design was randomized blocks, with 6 treatments of different doses of gypsum, being them: 0; 1,000; 2,000; 3,000; 4,000 and 5,000 kg ha<sup>-1</sup>, with four replications. The area of each plot was 31.5 m<sup>2</sup> and the spacing of the rows was 0.45 m. There was no significant difference between the treatments for the parameters: total number of pods, total number of grains, thousand kernel weight and yield. New evaluations should be carried out in order to obtain more consolidated results regarding the doses and viability of the use of agricultural gypsum for soybean cultivation in the northwest of the state of Rio Grande do Sul.

**Keywords:** *Glycine Max (L.) Merrill*. Yield. Soil.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo dados da CONAB (2017), no Brasil a soja é uma das culturas mais cultivadas, possuindo cerca de 33,890 milhões de hectares, com a produção estimada de 117,208 milhões de toneladas, correspondendo a produtividade média de 3.501 Kg ha<sup>-1</sup> na safra 2016/2017. O Rio Grande do Sul está como o terceiro produtor de soja no Brasil, apresentando uma produção de 18,714 milhões de toneladas, sendo 5,570 milhões de hectares de área plantada, tendo produtividade de 3.360 Kg há<sup>-1</sup>.

Atualmente, a soja vem em grande ascensão devido a possibilidade da produção de biodiesel através do óleo de seus grãos (MORAES et. al, 2009). Sendo, também muito utilizada pelas agroindústrias, através da produção de óleo vegetal e rações para alimentação animal, indústria química e alimentos. Entretanto, existem vários fatores que interferem na sua produção, dentre eles está o manejo adequado do solo, como adubação e correção da acidez, estando estes fatores diretamente ligados ao ganho em produção de grãos.

Os solos de regiões tropicais e subtropicais são normalmente ácidos e apresentam altos



teores de Al trocável. A calagem, portanto, tem sido intensivamente utilizada pelos produtores porque aumenta o rendimento da maioria das culturas (ERNANI et al., 1998). Esse aumento de produtividade ocorre devido a redução da acidez do solo, bem como o suprimento de cálcio e magnésio para as plantas.

Para Zapparoli et al. (2013), no Brasil, aumentos na produção de soja com a calagem têm sido demonstrados por seu efeito no aumento do pH (RAIJ et al., 1997), na redução de Al e Mn tóxicos (MASCARENHAS et al. 1982), no aumento da absorção de N, P, K e S (QUAGGIO et al., 1993) e no fornecimento de Ca e Mg (MASCARENHAS et al., 1976).

A reação do calcário, entretanto, é geralmente limitada ao local de sua aplicação no solo. A calagem não tem um efeito rápido na redução da acidez do subsolo, que depende da lixiviação de sais através do perfil do solo. Tanaka & Mascarenhas (2002), dissertam que a soja pode obter um ganho de rendimento de grãos de até 4% com a aplicação de gesso agrícola, devido a lixiviação desses nutrientes no perfil do solo.

Segundo Tanaka & Mascarenhas (2002), o gesso agrícola é um subproduto da indústria de fertilizantes fosfatados, de baixo custo para o agricultor se o transporte não encarecer demasiadamente, tendo em sua composição química sulfato de cálcio hidratado. É um sal de caráter praticamente neutro e, dessa maneira, não tem efeito prático na mudança da acidez do solo, apesar de ter sido recomendado e aplicado com tal finalidade ao final dos anos 70 e início dos 80.

A calagem aumenta rapidamente os valores de pH, Ca, Mg e CTC efetiva na camada na qual o calcário é incorporado (Amaral, 1998). Por sua vez, sua influência nos estoques de matéria orgânica do solo será dependente do balanço do seu efeito na oxidação microbiana do C orgânico do solo e na adição de resíduos vegetais pelas culturas (Bayer & Mielniczuk, 1999) (CIOTTA et al., 2004).

Ainda, conforme exposto por Neis et al. (2010), o íon sulfato do gesso promove o carregamento de outras bases, como Mg e K nas camadas superficiais do solo, para maiores profundidades (CAIRES et al., 2003), já que esse ânion desloca-se com facilidade para as camadas mais profundas do solo (DIAS et al., 1994), podendo expor as plantas a eventuais deficiências, caso não se utilize o gesso com base em critérios técnicos.

Conforme citado por Moda et al. (2013), na cultura da soja, existem autores indicando efeito benéfico do gesso no aumento dos teores foliares de enxofre (GELAIN et al., 2011) devido ao gesso ser excelente fonte de enxofre (S) (CRUSCIOL, 2006) e na produção de grãos (BROCH et al., 2011), principalmente por exercer funções importantes na nutrição da cultura, como constituinte de aminoácidos essenciais (cistina e metionina) e de várias coenzimas, sendo que sua deficiência interrompe a síntese de proteínas (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Segundo Zapparoli (2013), a aplicação do gesso agrícola como condicionador de solo, reduz a saturação de alumínio e aumenta a quantidade de cálcio e enxofre em subsuperfície, melhorando o ambiente do solo e propiciando o desenvolvimento das raízes em camadas mais profundas.

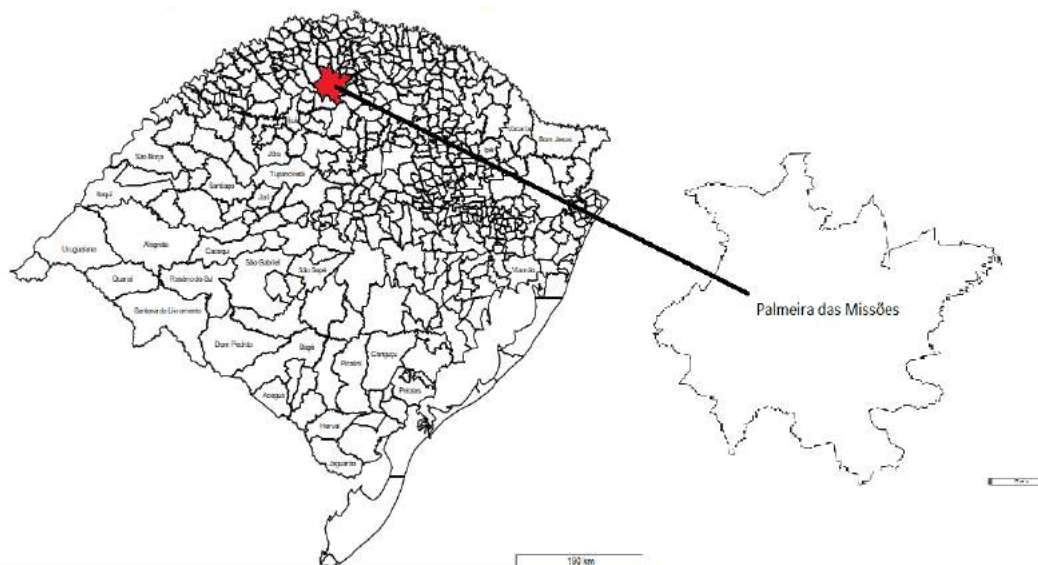
Ainda existe uma discussão entre os profissionais da área a respeito dos benefícios e prováveis prejuízos da aplicação de gesso na produtividade da soja, competindo à pesquisa o dever de esclarecer, para os diferentes tipos de solo, as doses indicadas deste produto para que se obtenham melhorias significativas na produção dessa cultura.

Sendo assim, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação de diferentes doses de gesso sob os componentes de rendimento, bem como a produtividade de grãos da soja (*Glycine max*) cultivada na Região Noroeste do Rio Grande do Sul em Sistema Plantio Direto.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Escola Estadual Técnica Celeste Gobbato, situada no município de Palmeira das Missões, RS, Brasil. Localizado nas coordenadas 27°56'55.96"S e 53°17'49.51"O e altitude de 565m. Conforme a classificação de Köppen, a região apresenta clima subtropical úmido, temperatura média anual de 18.7 °C e precipitação média anual de 1838 mm.

Figura 1 - Mapa de localização da área experimental situada no município de Palmeira das Missões, RS, Brasil.



Fonte: CR Campeiro 7

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférico de textura argilosa (EMBRAPA, 2013). Previamente a instalação do experimento foi coletada amostras de solo das camadas 0-10 e 10-20 cm para a obtenção dos atributos químicos, o qual apresentou as seguintes características conforme segue a Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química de um Latossolo Vermelho Distroférico de textura argilosa em duas diferentes camadas.

CAMADAS (cm)	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC efet.	Saturação (%)		Índice SMP
		cmol/dm <sup>3</sup>					Al	Bases	
0-10	5,7	7,3	2,7	0,0	3,9	10,3	0,0	72,3	6,1
10-20	5,2	5,0	1,9	0,2	3,9	7,3	2,7	64,4	6,1

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com 6 tratamentos com 4 repetições de diferentes doses de gesso, sendo: 0; 1000; 2000; 3000; 4000 e 5000 kg ha<sup>-1</sup>, com quatro repetições. A área de cada parcela foi de 31,5 m<sup>2</sup>, e espaçamento entre linha de 0,45 m, tendo como área total 756m<sup>2</sup>.

A aplicação de gesso foi feita a lanço sem incorporação, a qual foi realizada no dia 18 de outubro de 2017. A semeadura ocorreu no dia 10 de novembro, em sistema de plantio direto, tendo como cultivar utilizada a DM 5958 RSF IPRO.

Durante o ciclo da cultura, realizou-se o controle de forma preventiva de pragas e doenças, de tal forma que a cultura pudesse expressar o seu potencial produtivo.

Para a condução das avaliações de produtividade utilizou-se nove metros lineares de cada parcela. Para a avaliação dos componentes de rendimento utilizou-se dez plantas por parcela, compondo-se a média de cada variável. As características agrônomicas avaliadas foram:

Produtividade: Utilizou-se um batedor para separar os grãos das vagens, onde após esse processo colocou-se os grãos em sacos separados conforme cada parcela, e por último realizou-se a pesagem. Peso de mil sementes (PMS); realizado por meio de quatro repetições de cem sementes de cada tratamento.

Número de nós viáveis (NNV): Obtido através da contagem do número de nós viáveis na haste principal somando com a contagem de número de nós viáveis nas ramificações. Número de legumes (NL): Obtido através dos legumes da haste principal somando com número de

legumes presente nas ramificações. Número de grãos (NG): Contagem do número de grãos obtidos na haste principal somados com a contagem de grãos presentes nas ramificações.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância pelo pacote estatístico genes e posteriormente foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observando-se os resultados da análise da variância da cultura da soja, constata-se que no primeiro ano do presente trabalho, não houve resposta da cultura sob as diferentes doses de gesso para os parâmetros: número total de legumes, número total de grãos, peso de mil sementes e produtividade (Tabela 2). Resultado semelhante encontrado por CASTAÑON et. al (2011).

Tabela 2 – Resumo da análise de variância

VARIÁVEIS			
DOSES	NTNV	NTL	NTG
0	23,32 a	53,68 a	124,17 a
1000	26,95 ab	61,25 a	142,07 a
2000	24,02 ab	53,50 a	124,62 a
3000	22,12b	54,50 a	127,27 a
4000	21,5 b	50,45 a	117,55 a
5000	21,65 b	55,00 a	127,5 a
CV(%)	22,71	14,81	9,71

Legenda: número total de nós viáveis (NTNV); número total de legumes (NTL); Número total de grãos (NTG); peso de mil sementes (PMS) e (PROD); em função de diferentes doses de gesso.

Conforme mostra a tabela 2, a dose de 1000 kg ha<sup>-1</sup> apresentou maior número total de nós viáveis, porém não diferiu significativamente da testemunha. Essa falta de resposta da soja no seu primeiro ano pode estar relacionada ao pouco tempo de reação do gesso no solo.

Quanto à resposta da produtividade da soja e o peso de mil sementes (PMS), em diferentes doses de gesso, observa-se que, embora não tenha havido efeito significativo entre os tratamentos, todos apresentam alta produtividade e peso de mil sementes (Tabela 3).

Tabela 3 - Resumo da análise de variância para produtividade e peso de mil sementes

VARIÁVEIS		
DOSES	PMS	PROD
0	156,65 a	85,30 a
1000	153,62 a	84,89 a
2000	153,99 a	78,90 a
3000	146,72 a	76,39 a
4000	153,36 a	76,97 a
5000	154,27 a	78,67 a
CV(%)	8,85	12,23

Legenda: Peso de mil sementes (PMS); Produtividade (PROD).

Esse resultado pode-se justificar pelos atributos químicos do solo, o qual apresenta boa fertilidade em relação aos teores de cálcio e alumínio, proporcionando a cultura desenvolver-se sem a necessidade da aplicação desse insumo, o que pode-se comprovar com a alta produtividade da testemunha.

É apontado por Souza & Lobatto (2004), que doses de gesso acima do recomendado acarretam em redução de produtividade, o que podemos observar no presente trabalho, que apesar de não ter dado diferença significativa houve uma queda na produtividade conforme se aumenta as doses de gesso.

A dose de 1000 kg ha<sup>-1</sup>, foi a que apresentou maior número de nós viáveis (Tabela 3), porém não diferiu significativamente da testemunha, observa-se também, que conforme se aumenta as doses, reduz-se o número total de nós viáveis, o que está atrelado à redução de produtividade.

Embora não tenha ocorrido respostas de produtividade da cultura da soja em relação às doses de gesso, em estudos realizados por Moda (2013), encontrou-se incrementos significativos na produção de óleo desta cultura, tais parâmetros possam vir a ser avaliados nos próximos anos de execução deste trabalho.

## 4 CONCLUSÃO

Não houve respostas de produtividade da cultura da soja, bem como os demais componentes de rendimento em relação às diferentes doses de gesso. Portanto, novas avaliações deverão ser realizadas, para que se obtenham resultados mais consolidados quanto as doses e a viabilidade do uso de gesso agrícola para o cultivo de soja no noroeste do estado do Rio Grande do Sul.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, A.S. **Reaplicação do calcário em sistema plantio direto consolidado**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998. 102p. (Dissertação de Mestrado).

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. **Dinâmica e função da matéria orgânica**. In: CAMARGO, F.A.; SANTOS, F.A. (Ed) Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 1ed. Porto Alegre, Gênese, 1999. cap.2, p.0926.

BROCH, D. L. et al. Produtividade da soja no cerrado influenciada pelas fontes de enxofre. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 791-796, 2011.

CAIRES, E. F. et al. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 275-286, 2003.

CASTAÑON, T. H. F. M. et al. Uso do gesso agrícola na cultura da soja, na região sul do estado de mato grosso. **Ciência & Tecnologia: FATEC-JB, Jaboticabal**, v.3, 2011.

CIOTTA, M. N. et al. Manejo da calagem e os componentes da acidez de latossolo bruno em plantio direto. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, 2004.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2016/17 – **Décimo Primeiro Levantamento** – Agosto/2017. Brasília: Conab, 2017.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. **Aplicação de enxofre em cobertura no feijoeiro em sistema de plantio direto**. Bragantia, v. 65, n. 3, p. 459-465, 2006.

DIAS, L.E.; ALVAREZ V., V.H.; COSTA, L.M. & NOVAIS, R.F. Dinâmica de algumas formas de S em colunas de solos tratados com diferentes doses de fósforo e gesso. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 18:373-380, 1994.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Brasília, 2013. 353 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 401 p.

ERNANI, P.R.; NASCIMENTO, J.A.L. & OLIVEIRA, L.C. Increase of grain and green matter of corn by liming. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 22:275-280, 1998.

GELAIN, E. et al. Fixação biológica de nitrogênio e teores foliares de nutrientes na soja em

função de doses de molibdênio e gesso agrícola. **Ciências Agrotécnicas**, v. 35, n. 2, p. 259-269, 2011

MASCARENHAS, H. A. A. et al. Efeito do corretivo sobre soja cultivada em solo de cerrado contendo Al e Mn. In: **SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA**, 2., Brasília, 1981. Anais. Londrina, EMBRAPA-CNPSO, 1982. p.567-573.

MASCARENHAS, H. A. A.; GALLO, J.R.; RAIJ, B. van; IGUE, T. & BATAGLIA, O.C. **Efeitos da calagem nas características químicas do solo e na nutrição de soja em Latossolo Roxo distrófico**. Bragantia, v.35, p.273-278, 1976.

MODA, L. R. et al. Gessagem na cultura da soja no sistema de plantio direto com e sem adubação potássica. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 7, n. 2, p. 129-135, maio-agosto, 2013.

MORAES, C. J.; FERREIRA, S. R.; COSTA, R. R. Resistance inducers to the whitefly Bemisia tabaci Biotype B (GENN., 1889)(Hemiptera: Aleyrodidae) in soybeans. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 5, p. 1260-1264, 2009.

NEIS, Lucimeire, et al. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de ciência do Solo** 34.2 (2010).

QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van; GALLO, P.B. & MASCARENHAS, H.A.A. **Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.28, p.375-383, 1993.

RAIJ, B. van.; CANTARELL, H.; QUAGGIO, J. A. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Boletim 100. 2 ed., Rev. Atual. Campinas: Instituto Agrônomo/ Fundação IAC, 1997. 285 p.

RAIJ, B.V. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agrônomo/ Fundação IAC, 2008. p.233.

TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A. **Resposta da soja à aplicação de gesso agrícola**. O agrônomo – Informativo técnico – instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Campinas, v. 54, n. 2, p. 27-28, 2002.

ZAPPAROLI, A. R. et al. Associação calcário e gesso na cultura da soja e nas características químicas do solo com alta saturação em alumínio. **Cultivando o Saber**. Cascavel, v. 6, n. 4, p. 74- 84, 2013. Universidade Estadual do Norte do Paraná - UENP/Campus Luiz Meneghel. Bandeirantes ,PR

## INFLUÊNCIA DA ESCARIFICAÇÃO DO SOLO NA PRODUTIVIDADE DE SOJA (*Glycine max* (L.) Merr) E TRIGO (*Triticum aestivum* L.) NA REGIÃO DE CRUZÁLIA-SP, ESTUDO DE CASO

*Influence of soil scarification in soybean productivity (glycine max (l.) merr.) and wheat (triticum aestivum l.) in the Cruzália-SP region, case study*

Ingra Nantes Vasconcelos<sup>1</sup>, Lara Marie Guanais Santos<sup>1</sup>, Edson Massao Tanaka<sup>2</sup>, Douglas Baio Sanseverino<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Docente do curso de Mecanização em Agricultura de Precisão, FATEC Pompéia, Shunji Nishimura, Pompeia-SP, [ingranantes@gmail.com](mailto:ingranantes@gmail.com), [laramarie\\_guanais@hotmail.com](mailto:laramarie_guanais@hotmail.com)

<sup>2</sup> Me. Docente do curso de Mecanização em Agricultura de Precisão, FATEC Pompéia, Shunji Nishimura, Pompeia-SP, [tanaka@fatecpompeia.br](mailto:tanaka@fatecpompeia.br)

<sup>3</sup> Tecnólogo em Mecanização em Agricultura de Precisão, FATEC Pompéia, Shunji Nishimura, Pompeia-SP, [douglasbaio@gmail.com](mailto:douglasbaio@gmail.com)

### RESUMO

O sistema plantio direto (PD) é uma técnica de manejo do solo eficiente para minimizar a erosão, reduzindo as perdas de solo, no entanto o seu não-revolvimento, junto com o tráfego de máquinas, reduzem a porosidade do solo deixando o mais denso e mais resistente a penetração. O trabalho foi realizado na fazenda A'LIRI no município de Cruzália-SP e teve por objetivo avaliar a produtividade em uma área com sistema de plantio direto convencional (PD) e sistema de plantio direto escarificado (PDE), onde foi implantado com a cultivar soja 6410 *Monsoy* e a cultivar de trigo *TBIO toruk*. O índice de cobertura obteve um aumento após a escarificação. A resistência a penetração reduziu após o ensaio. A produtividade dos tratamentos escarificados teve uma diferença significativa a mais que a testemunha.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão. Plantio direto. Mecanização.

### ABSTRACT

The no-tillage system (PD) is an efficient soil management technique to minimize soil erosion, reducing soil loss, but its non-tillage system, together with machine traffic, reduces soil porosity, leaving the soil denser and more resistant to penetration. The work was carried out at the A'LIRI farm in the city of Cruzália, SP, Brazil. The objective was to evaluate the productivity in an area with conventional no-tillage system (PD) and scarified no-tillage system (PDE), where it was planted with the cultivar soybean 6410 *Monsoy* and the wheat cultivar *TBIO toruk*. The coverage index increased after scarification. The penetration resistance reduced after the test. The productivity of the scarification treatments had a significant difference more than the control.

**Keywords:** Precision agriculture, No-tillage, Mechanization.

## 1. INTRODUÇÃO

O sistema plantio direto é uma técnica que contribui para a sustentabilidade da agricultura, uma vez que consiste em evitar o revolvimento do solo, mantendo a matéria orgânica e os restos dos cultivos anteriores na superfície (Gamero, 2008). No entanto esse sistema precisa de alguns princípios básicos como a utilização de rotação de culturas (Embrapa Soja). O trigo sempre foi uma cultura importante para a sustentabilidade agrícola, por mais que ocorram frustrações de safra, os benefícios diretos e indiretos do cultivo, são maiores do que a manter a área em pousio, sendo cultivado principalmente em rotação com a soja. O Brasil, classifica-se como segundo maior produtor de soja no mundo, na safra 2015/2016 foram produzidos 95,63 milhões de toneladas, sendo o primeiro os Estados Unidos (Embrapa,2016).

No entanto o plantio direto apresenta na camada superficial, após três ou quatro anos consecutivos do sistema, números de densidade maiores, devido ao tráfego de máquinas e o não revolvimento do solo (Gamero, 2011).

Segundo Massad, (2003) a compactação consiste no fator de redução da porosidade e o

aumento da densidade do solo, muitas vezes gerado por equipamento mecânicos, em condições de umidade inadequada ou tráfego intenso sobre a área, fazendo com que haja um aumento da resistência do solo. O teor de umidade baixo em um solo compactado pode causar um atrito maior entre as partículas do solo, conseqüentemente, gerando uma compactação desuniforme. Caso a compactação ocorra com um teor de umidade a cima, a compactação se torna uniforme

Campeche, 2008, afirma que a relação solo e água reflete diretamente na resistência do solo à compactação, o solo encharcado diminui a porosidade deixando-o mais denso. A compactação dificulta a infiltração e o armazenamento de água, aumentando a resistência de erosão, interferindo na atividade biológica e na eficácia dos corretivos da fertilidade do solo fazendo com que as plantas tenham dificuldades de filtrá-los.

Existem vários métodos para a realização da avaliação da resistência a penetração, um deles é através da penetrometria, que mede o índice de cone sobre uma força/área exercida sobre a camada, gerando dados em KPa ou kgf/cm<sup>2</sup>. (Lanças, 2002).

Carvalho Filho et al. (2007) relatam que quando é observada a compactação, recomenda-se utilizar um sistema de manejo que desfaça a camada compactada mobilizando o mínimo possível da camada arável e mantendo o máximo de palha sobre o solo.

De acordo com Machado et al. (1996) o método de escarificação do solo é uma mobilização subsuperficial, com uma profundidade máxima de 30 cm e não provoca a mobilização lateral e inversão do terreno, assim resultando em uma menor desintegração e mantendo os resíduos vegetais na superfície do solo, com isso é reduzido o índice de erosão por proporcionar uma menor porosidade do solo em relação a outros métodos de manejo, reduzindo a infiltração mais profunda e mantendo a retenção de água na superfície. A vantagem de utilizar esse implemento é que ele não proporciona uma inversão de camadas, ou seja, faz uma menor alteração na estrutura do solo.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da escarificação na produtividade da cultura da soja e do trigo, no município de Cruzália-SP.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Descrição do experimento

O experimento foi instalado no ano de 2016, na fazenda A'LIRI, localizada na cidade de Cruzália, no estado de São Paulo. O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho, com textura argilosa de acordo com o sistema Brasileiro de Classificação do Solo (Embrapa, 2006). O ensaio foi instalado em uma área de 4.840m<sup>2</sup>, dividida em dois tratamentos em faixas (Testemunha - 1 e Escarificação - 2), contém 12,10m de largura por 200m de comprimento com 4 repetições.

Antes da instalação do ensaio avaliou-se a resistência a penetração do solo através do índice de cone utilizando-se de um equipamento de acionamento eletrônico (Penetrometro), junto com as amostras de umidade, para a coleta dos dados foi criada uma grade amostral, utilizando o software ArcGis. O primeiro tratamento consiste em duas passadas da semeadora com adubo na linha, uma ao lado da outra e realizando a semeadura da soja e uma da colhedora. O segundo tratamento consiste em 4 passadas do escarificador uma ao lado da outra, além das duas passadas da semeadora de soja, 50 dias após a atividade de escarificação e uma passada da colhedora.

Ao fim da instalação do ensaio, avaliou-se novamente a resistência a penetração do solo e a umidade, nos pontos centrais georeferenciados e suas repetições.

A semeadura da soja foi realizada com 250 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples junta a linha da semeadora e 13 sementes por metro linear da cultivar Monsoy 6410, ainda assim no plantio avaliou-se a distribuição de sementes longitudinal, analisando as linhas 4, 5, 7 e 8 da semeadora. Cada tratamento contém 2 repetições com 2 amostras de 2 linhas e cada linha com 5 metros lineares, totalizando então 8 linhas amostradas por tratamento.

Na colheita as parcelas foram colhidas utilizando uma colhedora automotriz. Para garantir o valor real do peso da soja foi utilizada uma balança, assim pesando a soja descarregada no

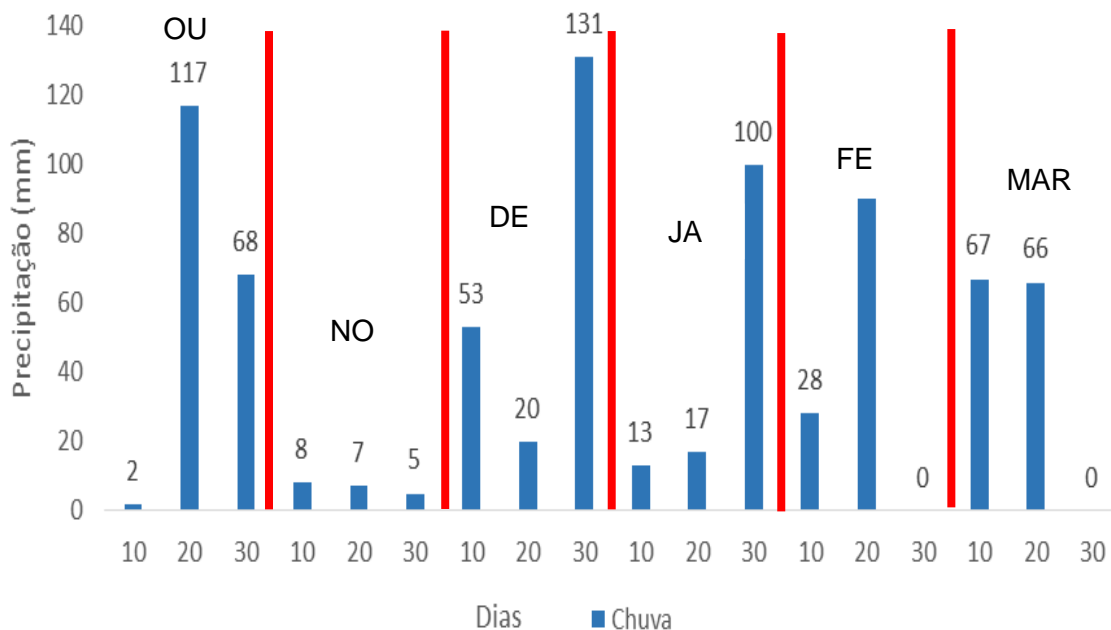
caminhão de cada tratamento.

Posteriormente a colheita da soja foi semeado na mesma área a cultivar de trigo TBIO toruk, e com isso foi realizado novamente as avaliações de resistência a penetração nos pontos amostrados utilizando ainda da escarificação passada antes do plantio da soja. A colheita do trigo seguiu as mesmas etapas da soja.

## 2.2 Caracterização da precipitação

O gráfico 1 mostra a distribuição da quantidade de chuva (mm) durante o período de ensaio que foi de outubro 2016 a março 2017.

Gráfico 1 - Dados pluviométricos referente ao período do ensaio (Outubro, 2016 á Março, 2017).



## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Compactação e umidade do solo (Soja)

O índice de cone na profundidade de 0-20 cm antes da escarificação estava entre 3 a 4 Mpa ilustrado pela figura 2, após a instalação do ensaio pode-se notar que houve uma redução no índice de cone no tratamento 2, mais ainda assim a maior parte da área permaneceu entre 3 a 4 Mpa, ilustrado pela figura 3. O teor de umidade em ambas amostragem não estavam acima do aceitável.



Figura 2 - Mapa temático da resistência a penetração do solo, representado através do índice de cone (MPa), na profundidade de 0-20, onde a faixa laranja identifica a testemunha e a vermelha a escarificação.

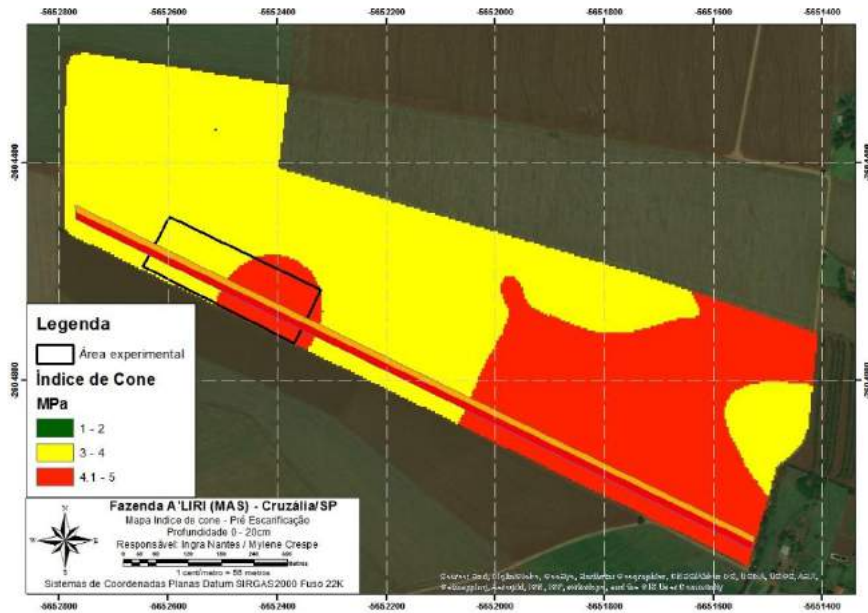
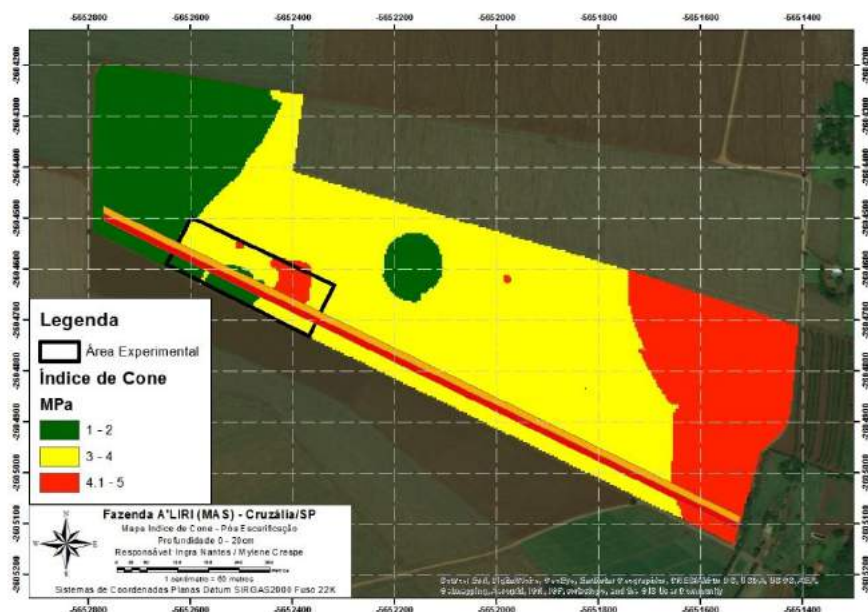


Figura 3 - Mapa temático da resistência a penetração do solo, representado através do índice de cone (MPa), na profundidade de 0-20, onde a faixa laranja identifica a testemunha e a vermelha a escarificação.



Já na profundidade de 20-40 cm, o índice de cone apresentou pouca variação entre o antes e depois do ensaio, ficando a maior parte da área entre 3 a 4 Mpa, mais é possível notar que na área experimental onde havia manchas de maior intensidade (>3MPa) foram alteradas de tamanho as figuras 4 e 5 ilustram esses valores.

Figura 4 - Mapa temático da resistência a penetração do solo, representado através do índice de cone (MPa), na profundidade de 20-40, onde a faixa laranja identifica a testemunha e a vermelha a escarificação.

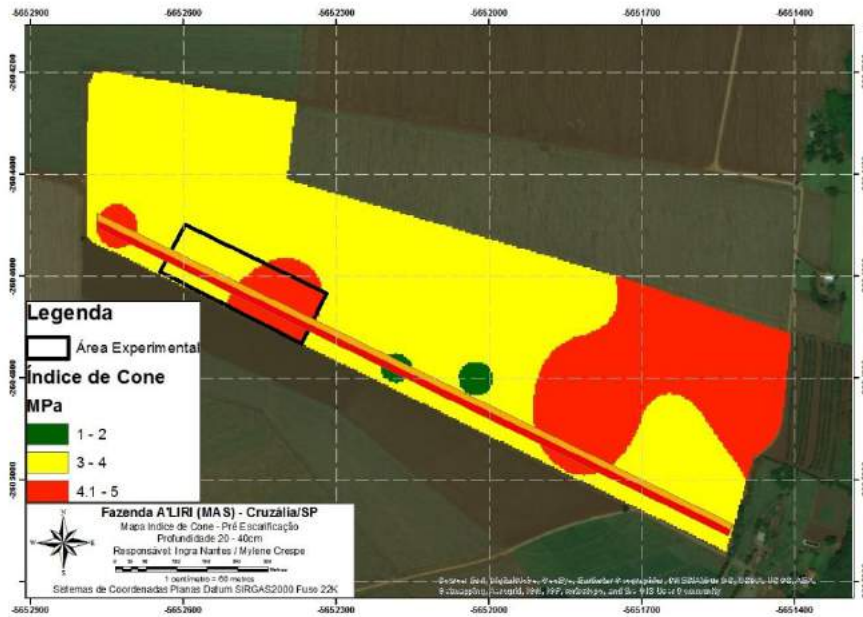
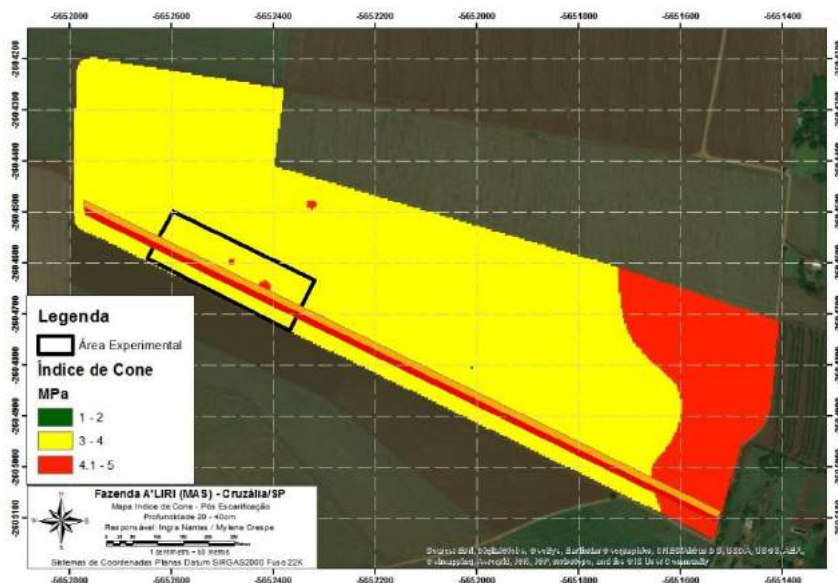


Figura 5 - Mapa temático da resistência a penetração do solo, representado através do índice de cone (MPa), na profundidade de 20-40, onde a faixa laranja identifica a testemunha e a vermelha a escarificação.



### 3.2 Compactação e umidade do solo (Trigo)

O índice de cone na profundidade de 0-20 cm apresentou valores considerados baixos, assim como na profundidade de 20-40 cm, mais é possível notar que na área da testemunha encontra-se os valores com os maiores índices, as figuras 6 e 7 ilustram esses valores.

Figura 6 - Mapa temático da resistência a penetração do solo, representado através do índice de cone (MPa), na profundidade de 0-20, onde a faixa laranja identifica a testemunha e a vermelha a escarificação.

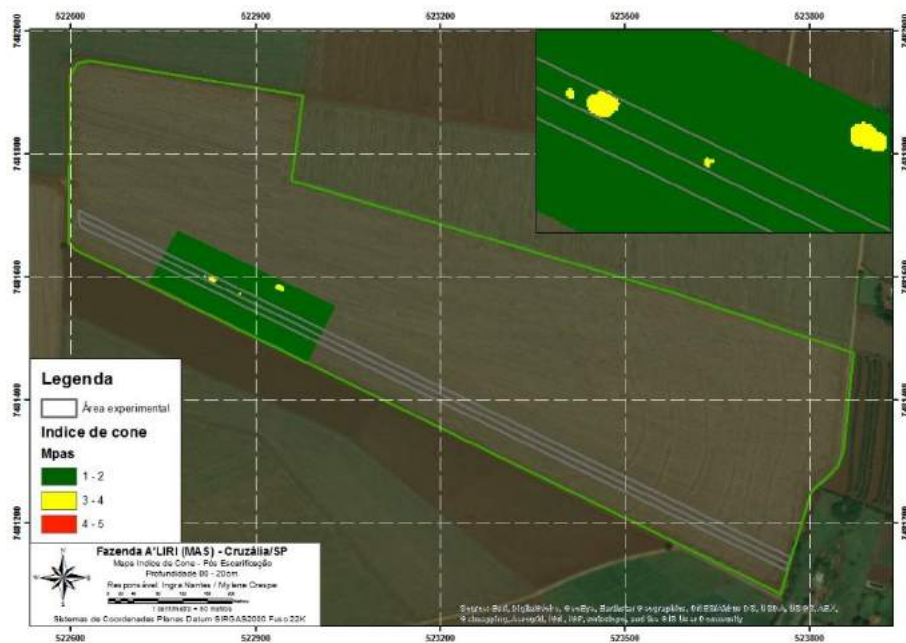
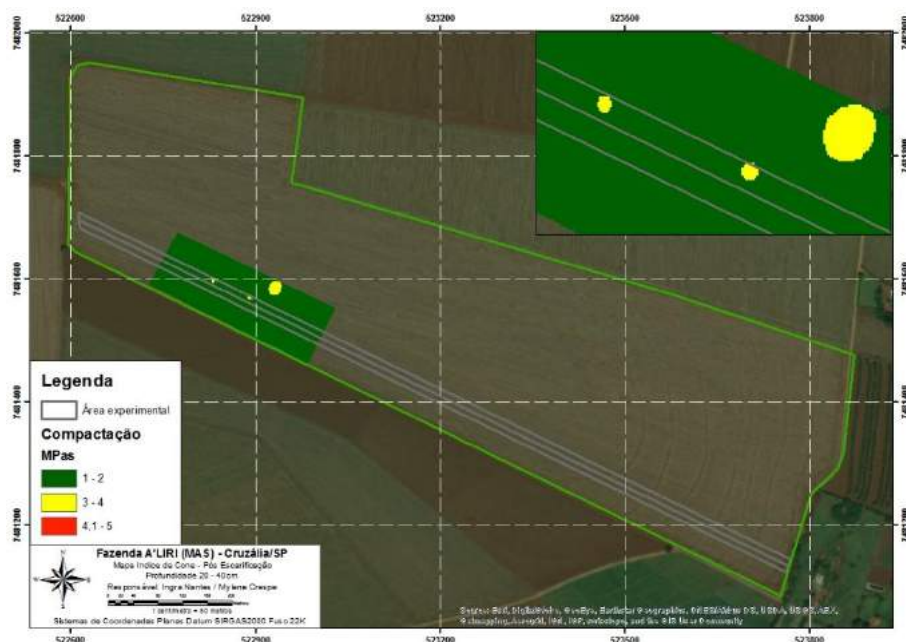


Figura 7 - Mapa temático da resistência a penetração do solo, representado através do índice de cone (MPa), na profundidade de 20-40, onde a faixa laranja identifica a testemunha e a vermelha a escarificação.



### 3.3 Produtividade Soja X Trigo

Na colheita a plataforma recolheu 19 linhas de cada tratamento, totalizando 1.770,8m<sup>2</sup>. A tabela 1 abaixo mostra os resultados obtidos na colheita da soja, já a tabela 2 mostras os dados obtidos na colheita do trigo.

Tabela 1 - Produtividade em Kg/ha Soja.

Tratamento	Kg/Ha	Umidade	Saca (ha)
1	3.720,00	14	62
2	3.960,00	14	66

Fonte: Autores

Tabela 2 - Produtividade em Kg/ha Trigo.

Tratamento	Kg/Ha	Umidade	Saca (ha)
1	3.281,55	14	55
2	3.398,06	14	57

Fonte: Autores

## 4.CONCLUSÃO

A compactação da área estava com valores considerados intermediários, podendo influenciar no desenvolvimento das raízes, após o processo de escarificação houve uma redução desses valores. Aumentando consideravelmente a produtividade de ambas as culturas estudadas.

## REFERÊNCIAS

AgroLink. Cotações. Disponível em <https://www.agrolink.com.br/cotacoes/graos/soja/soja-em-grao-sc-60kg>. Acessado 18 maio 2017.

CARVALHO FILHO, A. et al. Métodos de preparo do solo: alterações na rugosidade do solo. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.27, n.1, p. 229-237, 2007

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1>. Acessado em 18 de Abril de 2017.

GAMERO, C.A. Desempenho operacional de um subsolador de hastes com curvatura lateral

("PARAPLOW"), em função de diferentes velocidade de deslocamento e profundidade de trabalho. 2008. 72 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2008.

LANÇAS, K. P. Subsolagem ou escarificação. Cultivar Máquinas. Pelotas. v.1, n.14, p.34-37, 2002.

MACHADO, A. L. T.; REIS, A. V.; MORAES, M. L. B.; ALONÇO, A. S. Máquinas para Preparo do Solo, Semeadura, Adubação e Tratamentos Culturais. 1. ed. Pelotas: Universitária/ UFPel, 1996. 229p..

Massad, F. 2003. Obras de terra: Curso Básico de Geotecnia. São Paulo, Oficina de Textos. 170p.

V. C. Girardello, et. Al. Escarificação mecânica localizada em área sob plantio direto com equipamento georreferenciado e uniformidade de rendimento. Disponível [http://w3.ufsm.br/projetoaquarius/pdfs/resumos/\\_r\\_projeto\\_aquarius\\_2009\\_vitor.pdf](http://w3.ufsm.br/projetoaquarius/pdfs/resumos/_r_projeto_aquarius_2009_vitor.pdf). Acessado em 20 de Abril de 2017.

VIANA, J. H. M.; CRUZ, J. C.; ALVARENGA, R. C.; SANTANA, D. P. Manejo do solo para a cultura do milho. In: CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R.; MAGALHÃES, P. C. A cultura do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. p. 99-129.

## INFLUÊNCIA DE DIFERENTES PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO NA PRODUTIVIDADE DA SOJA (*Glycine max*) EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

*Influence of different winter cover crops on soybean yield (Glycine max)  
under no-tillage system*

Tairon Thiel <sup>1</sup>, Antônio Luis Santi <sup>2</sup>, Dejales Fioresi <sup>3</sup>, Fagner Augusto Rontani <sup>4</sup>, Felipe  
Arthur Baron <sup>5</sup>, Renan Tonin Martini <sup>6</sup>, Romano Augusto Martini Dal Bello <sup>7</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Rua Maurício Cardoso nº630 ap. 104, 98400-000, Frederico  
Westphalen – Rio Grande do Sul, Brasil, [taironthiel@hotmail.com](mailto:taironthiel@hotmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Linha 7 de Setembro, s/n, Frederico Westphalen - RS, 98400-000 –  
Rio Grande do Sul, Brasil, [santi\\_pratica@yahoo.com.br](mailto:santi_pratica@yahoo.com.br)

<sup>3</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Linha Pitol - Pinhal/RS, CEP 98345-000, – Rio Grande do Sul, Brasil,  
[dejalesfioresi@hotmail.com](mailto:dejalesfioresi@hotmail.com)

<sup>4</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Linha Faguense, CEP 98400-000, Frederico Westphalen – Rio  
Grande do Sul, Brasil, [fagner\\_rontani@outlook.com](mailto:fagner_rontani@outlook.com)

<sup>5</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Linha Raiz, Condor, CEP 98290-000 – Rio Grande do Sul, Brasil,  
[felipe.baron@hotmail.com](mailto:felipe.baron@hotmail.com)

<sup>6</sup> Linha Bressan, Constantina, CEP 99680-000, Frederico Westphalen – Rio Grande do Sul, Brasil,  
[renanmartini54@hotmail.com](mailto:renanmartini54@hotmail.com)

<sup>7</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Rua Maurício Cardoso nº616 ap. 104, 98400-000, Frederico  
Westphalen – Rio Grande do Sul, Brasil, [romanoaugusto1@hotmail.com](mailto:romanoaugusto1@hotmail.com)

### RESUMO

O sistema plantio direto é uma prática conservacionista que envolve várias técnicas para aumentar a produtividade e a conservação do solo. Uma destas técnicas é a utilização de plantas de cobertura do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de diferentes plantas de cobertura, cultivadas no período de inverno, em sistema solteiro e consorciado, na produtividade da cultura da soja (*Glycine max*) em condições de plantio direto. Os tratamentos utilizados em foram: aveia branca (*Avena sativa*), aveia preta (*Avena strigosa*), azevém (*Lolium multiflorum*), centeio (*Secale cereale*), nabo (*Raphanus raphanistrum*), ervilhaca (*Vicia sativa*), tremoço (*Lupinus albus*), aveia preta + nabo, aveia preta + ervilhaca e aveia preta + nabo + ervilhaca. Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições, implantado em um Latossolo Vermelho, na condição de uma zona de alta produtividade. Foi avaliada a produtividade da soja em função da planta de cobertura antecessora. Observou-se que não houve diferença significativa na produtividade da soja, pelo Teste de Tukey a 5%, em relação às plantas de cobertura avaliadas.

**Palavras-chave:** *Glycine max*. Plantas de cobertura. Plantio direto.

### ABSTRACT

The no-tillage system is a conservationist practice that involves several techniques to increase productivity and soil conservation. One of these techniques is the use of cover crops. The objective of this work was to evaluate the influence of different cover crops grown in the winter in a single and intercropped system on soybean yield (*Glycine max*) under no-tillage conditions. The treatments were common oat (*Avena sativa*), black oat (*Avena strigosa*), Italian rye-grass (*Lolium multiflorum*), rye (*Secale cereal*), wild radish (*Raphanus raphanistrum*), common vetch (*Vicia sativa*), white lupin (*Lipinus albus*), black oat + wild radish, black oat + common vetch, and black oat + wild radish + common vetch. The experimental was implanted in a Red Latosol under condition of a zone of high yield, using a randomized block design with four replications. The soybean yield was evaluated according to the preceding cover crop. No statistical difference by the 5% tukey test was observed on soybean yield under cover crops.

**Keywords:** *Glycine max*. cover crops. no-tillage.

## 1 INTRODUÇÃO

O sistema de plantio direto (SPD) é uma prática conservacionista que envolve várias técnicas para aumentar a produtividade e a conservação do solo (HECKLER; SALTON, 2002; CARDOSO, 2009; ZIECH, et al., 2015). Uma destas técnicas é a utilização de plantas de cobertura do solo, para incremento da quantidade palhada no sistema e para a proteção física do solo. Contudo, alguns autores têm observado que a sucessão com determinadas plantas de cobertura de inverno pode ou não influenciar na produtividade da cultura de interesse econômico (SILVA, 2016; OLIVEIRA, et al., 2013; PASSOS, et al., 2014).

A palhada é componente fundamental em um sistema de plantio direto para elevar a qualidade química, física e biológica do solo, proporcionando um ambiente favorável para o crescimento vegetal, além de ciclar nutrientes e influenciar na flora infestante dos cultivos comerciais posteriores (LIMA, 2014).

O manejo pode melhorar a qualidade do solo, podendo alcançar a excelência em questão de potencial de produtividade das lavouras. Neste sentido, o sistema de plantio direto vem contribuindo fortemente para aumentar a produtividade das culturas (AMADO, et al., 2007), porém sabe-se que essa melhoria não se apresenta homogeneamente na área. Santi, et al. (2014), demonstram que há variabilidade espacial e temporal dos atributos do solo e planta e que o estudo de sítio-específicos com o uso da agricultura de precisão (AP) tem demonstrado bons resultados para a manutenção dos sistemas de produção. Dentro deste contexto, diversos autores têm demonstrado que o manejo em sítio-específico traz bons resultados, e que a delimitação de zonas de manejo através de mapas de colheita obtido por colhedoras equipadas com sensores ligados a sistemas de GPS (Global Position System) são uma ótima ferramenta da agricultura de precisão para se trabalhar a variabilidade espacial das lavouras (SANTI, et al., 2013; EITELWEIN, 2013).

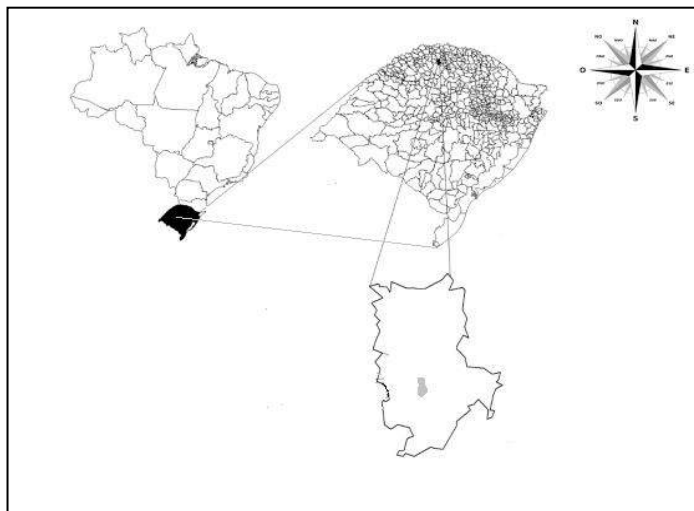
Levando em conta estas considerações esse trabalho teve o objetivo de avaliar a influência de dez diferentes plantas de cobertura de inverno na produtividade de grãos da soja (*Glycine max*) cultivada em sistema plantio direto, em uma zona de alta produtividade de grãos.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado na cidade de Boa Vista das Missões, localizada nas coordenadas 28°12'25.73" S, 53°34'23.37" O, com altitude média de 596 metros. O solo é caracterizado como Latossolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2006). O clima da região, segundo a classificação de Koeppen, é do tipo Cfa – temperado chuvoso, com precipitação média anual elevada, geralmente entre 1.800 e 2.100 mm. Com temperatura média anual aproximada de 18°C, as máximas podem atingir 41°C e as mínimas, valores inferiores a 0°C (MORENO, 1961).

Durante o período de inverno foram semeadas as plantas de cobertura em sistema de cultivo solteiro e consorciado. As plantas cultivadas em sistema solteiro foram: aveia branca (*Avena sativa*), aveia preta (*Avena strigosa*), azevém (*Lolium multiflorum*), centeio (*Secale cereale*), nabo (*Raphanus raphanistrum*), ervilhaca (*Vicia sativa*) e tremoço (*Lupinus albus*). Já em sistema de consórcio foram: aveia preta + nabo, aveia preta + ervilhaca e aveia preta + nabo + ervilhaca. Assim, foram estabelecidos 10 tratamentos com plantas de cobertura, mais um tratamento em pousio.

Figura 1: Localização da área.



Legenda: Localização da cidade de Boa vista das Missões, Rio Grande do Sul, Brasil.

A semeadura da soja foi realizada no dia 01 de novembro de 2016 sobre a palhada das plantas de cobertura de inverno. Foi utilizado o delineamento de blocos ao acaso (DBC), com quatro repetições. Para a avaliação dos resultados de produtividade da soja, foram colhidas quatro linhas de semeadura (total de 2 m de largura) por 3 m de comprimento, totalizando 6 m<sup>2</sup>, respeitando 0,5 m de bordadura por parcela. As amostras foram pesadas e sua umidade foi corrigida para 13%. Para determinação do PMG (peso de mil grãos) foram pesadas quatro repetições de 100 sementes e, após, o peso foi extrapolado para mil sementes, com sua umidade também corrigida para 13%.

Para a alocação do experimento na área foi delimitada uma área de alta produtividade através de uma série de três mapas de colheita. A colhedora utilizada para a geração dos mapas de produtividade foi uma CASE®, modelo *AxialFlow* 2399, contendo o sistema de agricultura de precisão AFS® (*Advanced Farming System*), responsável pelo monitoramento da colheita. O sistema de mapeamento da produtividade era composto por um sensor instantâneo de fluxo de grãos, do tipo placa de impacto, alocada ao final do elevador de grãos limpos da colhedora (EITELWEIN, 2013).

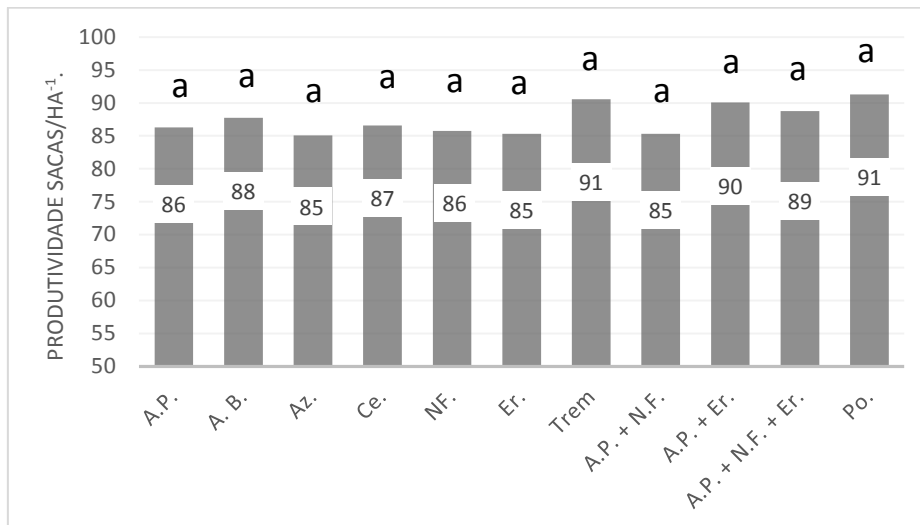
Para a avaliação estatística dos dados foi utilizado o programa estatístico GENES® (CRUZ, 2006), onde as médias foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A produtividade da soja não apresentou diferença significativa em relação a planta de cobertura (Figura 2). Além disso, pode-se observar que o pousio não diferiu estatisticamente dos outros tratamentos, apresentando inclusive bom desempenho na produção de grãos, que pode ser explicado pelo fato da área de estudo estar na zona de alta produtividade (Figura 3).

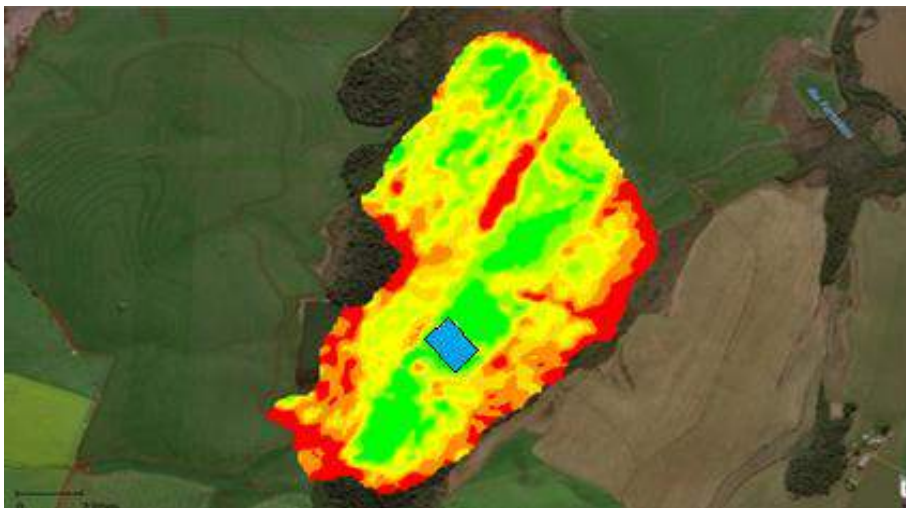


Figura 2: Produtividade da cultura da soja cultivada sobre palhada das plantas de cobertura.



Legenda: A.P.: aveia preta, A.B.: aveia branca, Az.: azevém, Ce.: centeio, N.F.: nabo forrageiro, Er.: ervilhaca, Trem.: tremoço, A.P.+N.F.: aveia preta + nabo forrageiro, A.P.+Er.: aveia preta+ervilhaca, A.P.+N.F.+Er.: aveia preta + nabo forrageiro + ervilhaca, Po.: pousio. Letras minúsculas iguais indicam que os tratamentos não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Figura 3: Mapa de produtividade da área.



Legenda: Mapa das zonas de produtividade. Áreas em vermelho, amarelo e verde, representam zonas de baixa, média e alta produtividade, respectivamente. Em azul está representada a área do experimento.

A não interferência das plantas de cobertura na produtividade da soja pode ter sido causada pela baixa produção de matéria seca das culturas, podendo ter sido influenciada pela baixa precipitação no início do desenvolvimento das plantas, resultado semelhante ao encontrado por Doneda et al. (2012). Outro fator que pode ter influenciado no desenvolvimento das plantas de cobertura foram as temperaturas elevadas durante o inverno, o que acarreta em uma aceleração do ciclo vegetativo e, por consequência, uma menor produtividade de matéria seca, resultados esses semelhantes ao encontrado por Torres et al. (2008).

Analisando a produtividade do consórcio entre aveia preta e ervilhaca, houve um aumento na produtividade da soja, comparando com as espécies semeadas em sistema solteiro, apesar da diferença não ter sido significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Foi

observado um aumento de 4 sacos de soja por hectare em relação ao cultivo solteiro da aveia preta, e de 5 sacos em relação ao cultivo solteiro de ervilhaca. Outro tratamento que demonstrou um aumento na produtividade foi quando as espécies aveia preta, nabo e ervilhaca foram cultivadas de forma consorciada. Esses resultados são semelhantes aos que foram encontrados por Doneda et al. (2012).

Schnitzler, (2017) Avaliando a produtividade da soja em função de plantas de cobertura antecessoras, também encontrou altas produtividades quando as plantas foram cultivadas em sistema de consórcio.

Outro ponto a ser considerado são os valores de precipitação ocorrida no verão do ano 2016/17, além do fato do experimento ter sido instalado em uma área com irrigação e de alta produtividade, o que acabou favorecendo a cultura da soja, mesmo nas parcelas de pousio.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produtividade de grãos de soja não apresentou diferença estatística significativa em relação a planta de cobertura antecessora.

Os sistemas consorciados, com a presença de espécies leguminosas e gramíneas, apresentaram bons resultados na produtividade, comparando com as mesmas culturas semeadas em sistemas de cultivo solteiro.

## REFERÊNCIAS:

CARDOSO, D. P. Desempenho de plantas de cobertura no controle de erosão Hídrica no sul de Minas Gerais. Universidade Federal de Lavras, Programa de Pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia, Lavras-MG, 2009.

CRUZ, C. D. **Programa Genes**: Biometria. Editora UFV. Viçosa (MG). 382p. 2006.

DONEDA, A. et al. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, vol.36, n.6, pp.1714-1723, 2012.

EITELWEIN, M. T. **Definição de estabilidade produtiva e relação com atributos de solo em áreas manejadas com agricultura de precisão**. Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Agricultura e Ambiente, Frederico Westphalen, RS 2013.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 306p, 2006.

HECKLER, J. C. & SALTON, J.C. **Palha: fundamento do Sistema Plantio Direto**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste. ISBN 1679-0448 Novembro, 2002.

LIMA, L. B. Efeito das Plantas de Cobertura em Sistema de Plantio Direto. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.10, n.18; p. 2014.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Seção de Geografia, 46 p.,1961.

OLIVEIRA, P.; NASCENTE, A. S.; KLUTHCOUSKI, J. Análise de crescimento e produção de grãos de soja sobre plantas de cobertura, **Revista Ceres** vol.60 nº.2, Viçosa Março-Abril. 2013.

PASSOS, A. M A., et al. Cultivares de soja em sucessão ao trigo nos sistemas convencional e plantio direto. **Revista Agraria** v.8, n.27, p.30-38, Dourados, 2015.

SANTI, A. L. et al. **Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos.** Pesquisa agropecuária brasileira., Brasília, v.47, n.9, p.1346-1357, setembro de 2012.

SANTI, A. L. et al. Definição de zonas de produtividade em áreas manejadas com agricultura de precisão. **Revista Brasileira Ciências Agrárias**, Recife, v.8, n.3, p.510-515, 2013.

SCHNITZLER, F. **Desempenho da cultura da soja sob diferentes plantas de coberturas do solo.** Departamento de Estudos Agrários da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, RS 2017.

SILVA, D. A. A. **Estratégias de Agricultura de Precisão para Definição de Planos de Manejo Inteligentes.** Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Agricultura e Ambiente, Frederico Westphalen, RS 2016.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. **Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto.** Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v.43, n.3, p.421-428, mar. 2008.

ZIECH, A. R. D. et al., Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hibernar na região Sul do Brasil, **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.50, n.5, p.374-382, maio 2015.

# INFLUÊNCIA NA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO NO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO (*ZEA MAYS* L.) EM RELAÇÃO A VARIABILIDADE ESPACIAL DA ATIVIDADE MICORRÍZICA

*Influence on soil phosphorus availability and maize crop yield in  
relation to spatial variability of mycorrhizal activity*

Fernanda Marcolan de Souza<sup>1</sup>, Elias Abel Barboza<sup>2</sup>, Antônio Luis Santi<sup>3</sup>, Pedro Felipe  
Brum de Bastos<sup>4</sup>, Renata Candaten<sup>5</sup>, Isaura Luiza Donati Linck<sup>6</sup>, Fagner Augusto Rontani<sup>7</sup>  
<sup>1,2,3,4,5,6,7</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Linha 7 de Setembro - BR 386 Km 40, 98400-000,  
Frederico Westphalen – RS, Brasil, [fernanda22ms@gmail.com](mailto:fernanda22ms@gmail.com), [elias.inovar@hotmail.com](mailto:elias.inovar@hotmail.com),  
[santi\\_pratica@yahoo.com.br](mailto:santi_pratica@yahoo.com.br), [pedroffb@hotmail.com](mailto:pedroffb@hotmail.com), [renatacandatten@outlook.com](mailto:renatacandatten@outlook.com),  
[isauralinck@hotmail.com](mailto:isauralinck@hotmail.com), [fagner\\_rontani@outlook.com](mailto:fagner_rontani@outlook.com)

## RESUMO

A exigência nutricional da cultura do milho aliada a variabilidade de fósforo (P) no solo, é um entrave encontrado na maioria das áreas cultivadas da região sul do Brasil. A fim de se verificar meios de aproveitar a absorção deste nutriente pela planta, faz-se necessário o estudo de formas que demonstram a relação do P com associações do solo, como é o caso dos fungos micorrízicos. O objetivo deste trabalho foi diagnosticar a variabilidade dos teores de fósforo no solo e as suas relações com a porcentagem de infecção micorrízica na cultura do milho (*Zea mays*), verificando o impacto desta associação com a produtividade. O tamanho da grade amostral foi de 0,33 hectare com 24 pontos amostrais. Após a aquisição dos dados utilizou-se a estatística descritiva para analisá-los, sendo utilizada a correlação de Pearson para diagnosticar as relações entre as variáveis e a geração de mapas temáticos para correlacioná-los. Foi verificada grande similaridade entre a variabilidade de fósforo no solo e a variabilidade de infecção micorrízica, conseqüentemente, na produtividade da cultura do milho.

**Palavras-chave:** Colonização. Fungos. *Zea mays*.

## ABSTRACT

The nutritional requirement of maize crop combined with phosphorus (P) variability in soil is an obstacle present in most cultivated areas of southern Brazil. In order to verify the means to take advantage of the absorption of this nutrient by the plant, it is necessary to study forms that demonstrate the relation of P with soil associations, as is the case of mycorrhizal fungi. The objective of this work was to diagnose the variability of phosphorus levels in the soil and its relation with the percentage of Mycorrhizal infection in the maize crop (*Zea mays*), verifying the impact of this association with yield. The grid sampling size was 0.33 hectares with 24 sampling points. After the data acquisition, descriptive statistics were used to analyze them, using Pearson's correlation to diagnose the relation between the variables and the generation of thematic maps to correlate them. It was verified a great similarity between the soil phosphorus variability and the variability of mycorrhizal infection and consequently, in the maize crop yield.

**Keywords:** Colonization. Fungi. *Zea mays*.

## 1 INTRODUÇÃO

O setor agrícola encontra-se em constante ascensão, o que vem demandando cada vez mais a atenção do setor de pesquisa e tecnologia, pois este representa uma peça chave para o desenvolvimento de toda a economia do país. Atualmente este aumento de produtividade também representa maior economia e lucratividade para o empreendimento agrícola, ou seja, maior eficiência, cenário este que leva o produtor em busca de novas ferramentas. E é neste momento que entra em cena a agricultura de precisão (AP).

Através da AP o produtor trabalha buscando uniformizar os componentes químicos e físicos do solo, homogeneizando a fertilidade das áreas e conseguindo administrar a propriedade de forma mais eficiente. Desta forma, a AP permite ao produtor explorar a

variabilidade dos nutrientes em áreas cultivadas, gerando condições favoráveis para que a cultura consiga expressar seu real potencial.

Principalmente pelo fato da maioria dos solos do Brasil apresentarem características de baixa fertilidade, verifica-se que um dos principais problemas nutricionais em áreas de uso agrícola é o fósforo (P) pois, normalmente este é um nutriente que se apresenta em baixa concentração natural no solo e quando presente, sua disponibilidade para as plantas depende das interações que ocorrem no solo, entre as quais destaca-se a forte interação com as argilas. O fósforo é de extrema importância para o desenvolvimento das plantas, é componente estrutural das células, e também é responsável por ser parte de compostos que fornecem energia como o ATP (GATIBONI, 2003).

A cultura do milho é uma das espécies mais cultivadas no mundo, sendo seu consumo elevado devido ser uma excelente fonte de energia. Para esta cultura, o P exerce papel importante na formação da espiga, e sua deficiência pode causar redução na emissão e no crescimento das folhas exercendo interferindo diretamente a emergência das raízes nodais, fazendo com que ocorra redução da capacidade da planta de absorver este elemento do solo (GRANT et al., 2001).

A atividade biológica do solo é uma das maiores responsáveis por realizar a reciclagem do fósforo, possibilitando uma maior disponibilidade deste nutriente para a planta. Fungos micorrízicos incrementam a absorção de nutrientes, em especial de fósforo, também aumentam a tolerância das plantas a diversos tipos de estresses, proporcionando condições mais eficientes de crescimento e reprodução (ARAUJO & HUNGRIA, 1994). Ferreira e Bemficasteffen (2015) acrescentam ainda, que pelo fato das hifas dos fungos possuírem maior afinidade pelo P do que as raízes das plantas, em solos pobres nesse elemento, como é o caso da maioria dos solos tropicais, essa associação se torna vantajosa para os vegetais, pois além do efeito a nutrição, estes fungos conferem a planta maior resistência a doenças, pragas e ao déficit hídrico.

As micorrizas são fungos que se caracterizam por estabelecer relações simbióticas com as raízes das plantas, aumentando a área de exploração nutricional das mesmas, conseqüentemente promovendo um possível aumento na produção (ANTONIOLLI & KAMINSKI, 1991). Assim, este trabalho objetivou diagnosticar a variabilidade dos teores de fósforo no solo e as suas relações com a porcentagem de infecção micorrízica em raízes de milho (*Zea mays*), e contabilizar se estas relações impactam no potencial produtivo da cultura.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Irmãos Barboza, município de Não Me Toque, Rio Grande do Sul, localizada entre as coordenadas -28°28'15" e -28°28'00" S e 52°52'45" e 52°52'15" W. O trabalho foi realizado no ano de 2015, em solo classificado como Latossolo Vermelho típico (EMBRAPA, 2013), possuindo relevo com poucas ondulações. O clima é Cfa (Köppen-Geiger) com precipitações anuais em torno de 1800mm. As precipitações e suas distribuições durante a condução do experimento estão representadas na Figura 1.

A implantação do experimento foi realizada em uma área de oito hectares (Figura 2), sendo esta dividida em uma grade amostral composta por 24 pontos de 0,33 hectares cada (Figura 3). Utilizou-se software Campeiro 7, para formação dos grades amostrais e posterior transferência dos dados para o GPS Garmin GPS 72H.

A semeadura do milho ocorreu no dia 12/08/2015, com uma semeadora da marca Sfil 11.000, com espaçamento entre linhas de 0,48m, adotando o sistema de semeadura direta sob palhada de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), dessecada 50 dias antes da mesma. A densidade de semeadura foi de aproximadamente 4 sementes por metro, em uma profundidade de 0,05m.

Figura 1. Índices pluviométricos ao longo da condução do experimento.

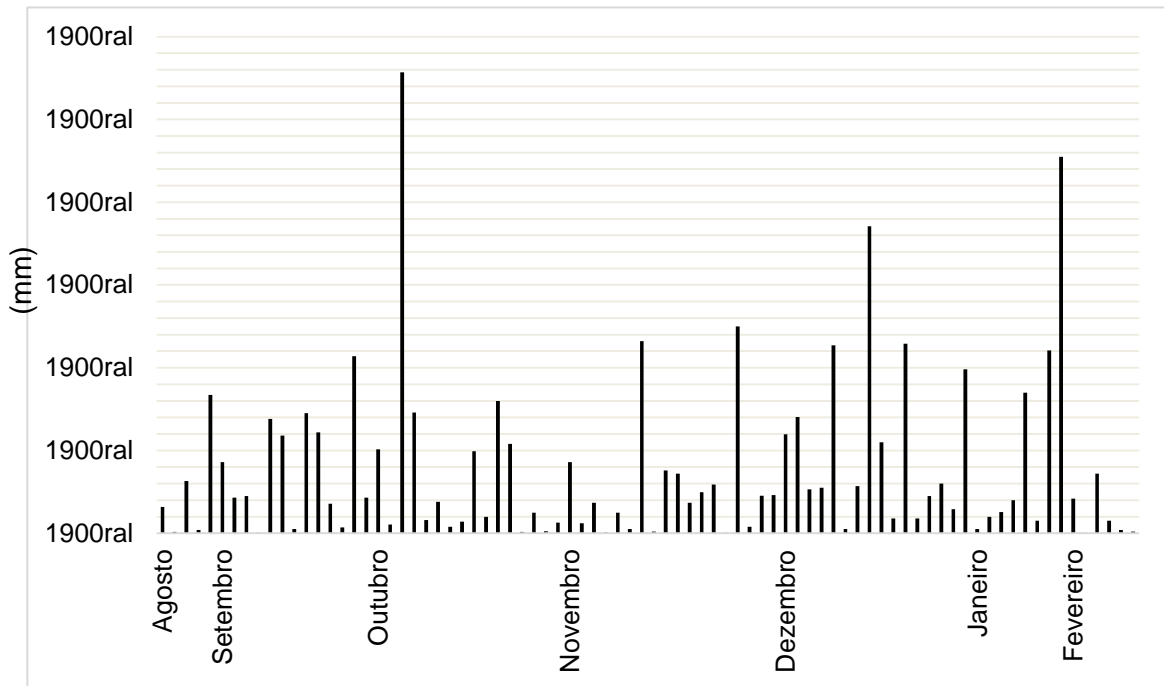


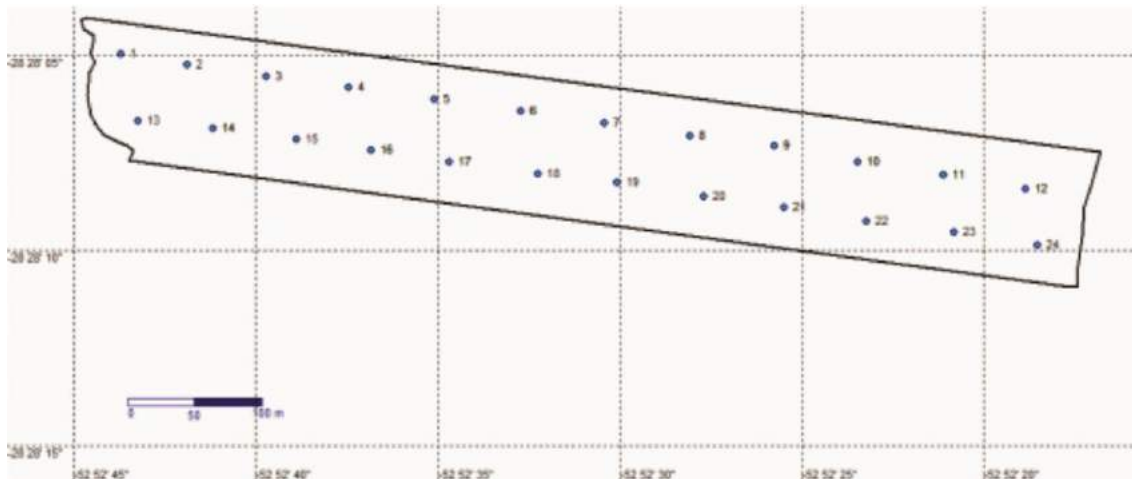
Figura 2. Local do experimento e pontos de coleta.



A adubação baseou-se nas interpretações da análise de solo conforme recomendações para a cultura. No sulco de semeadura, a adubação utilizada foi de  $395\text{Kg ha}^{-1}$  da formulação 9-25-20, sendo que em cobertura foram aplicados  $300\text{Kg ha}^{-1}$  de ureia divididos em duas aplicações, a primeira no estágio fenológico de V4 e a segunda em V8. O controle de pragas e de plantas daninhas foi realizado de mesmo modo para toda a área em estudo.

As coletas de solo para análise dos teores de fósforo foram realizadas no dia 17/11/2015 com pá de corte, entre as linhas de semeadura, coletando-se somente uma porção de 5cm de largura a 20cm de profundidade. As amostras de solo foram identificadas e encaminhadas para análise no laboratório de análise de solos da CCGL (Cooperativa Central Gaúcha Ltda), para análise do pH e conteúdo de fósforo disponível.

Figura 3. Pontos de coleta e detalhe da grade amostral utilizada.



No dia 18/11/2016 foram realizadas as coletas de raízes para análise de cobertura micorrízica. As amostras foram coletadas com o auxílio de uma pá de corte para que a mesma auxiliasse no arranquio das plantas, evitando assim danos no sistema radicular. Foi coletada uma planta por ponto amostral, na profundidade de 30 cm. Em seguida, realizou-se a lavagem do sistema radicular das plantas coletadas, até as ramificações ficarem na coloração branca. A fim de se evitar o contato das mãos com as raízes, utilizou-se uma pinça para coletar 10 gramas de pelos radiculares das plantas, sendo estes armazenados em frascos de plástico contendo álcool 40%, onde este garante a integridade e viabilidade das raízes até serem avaliadas em laboratório. As análises de percentual de cobertura micorrízica foram realizadas pelo Laboratório de Análise Microbiológica da Universidade de Santa Maria.

Tanto a coleta de solo quando a de raízes foram realizadas no momento de plena antese da cultura em estudo, devido a simbiose entre fungo e planta ser maior neste período (ANTONIELLI, 2014).

A colheita foi realizada de forma manual, quando as plantas estavam em plena maturação fisiológica do grão, o que acontece no momento em que 50% das sementes na espiga apresentam uma pequena mancha preta no ponto de inserção das mesmas com o sabugo.

Foram colhidas as espigas de duas fileiras de 2,5m de comprimento as quais se localizavam próximas do ponto amostral, a partir da planta coletada para análise de micorrizas. Após a debulha dos grãos, procedeu-se a avaliação do rendimento de grãos de cada ponto amostral, em seguida determinou-se a umidade destes grãos e por fim, corrigiu-se a umidade para 13% e o peso foi extrapolado para  $\text{kg ha}^{-1}$ .

O tratamento dos dados obtidos a campo foi realizado pela estatística descritiva, calculando-se as medidas de posição (mínima, média e máxima) e de dispersão (coeficiente de variação, assimetria e curtose). Conforme descrito por Gomes e Garcia (2002), os valores de coeficiente de variação (CV) foram classificados como baixo ( $\text{CV} \leq 10\%$ ), médio ( $10 \leq \text{CV} \leq 20\%$ ), alto ( $20 \leq \text{CV} \leq 30\%$ ) e muito alto ( $\text{CV} \geq 30\%$ ). A hipótese de normalidade foi avaliada pelo teste W ( $p \leq 0,05$ ). O teste de correlação linear de Pearson ( $p > 0,05$ ) foi realizado utilizando o software Statistical Analysis System – SAS 8.0 (SAS Inc, Cary, USA). Foram gerados mapas temáticos com auxílio do software CR-Campeiro 7 (Departamento de Geomática, Universidade Federal de Santa Maria, RS), para um melhor entendimento dos resultados. Devido ao reduzido número de pontos avaliados, não foi possível realizar o uso de análises geoestatísticas, procedendo-se portanto, a interpolação dos dados pelo inverso do quadrado da distância, conforme recomendado por COELHO et al. (2009).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As precipitações durante a realização do experimento foram adequada para o cultivo do milho, sendo que durante as maiores exigências da cultura, que ocorre na fase de emergência, florescimento e enchimento de grãos, havia água disponível no solo para suprir tal necessidade, pois ocorreram chuvas frequentes durante este período (Figura 1).

As análises de percentual de cobertura micorrízica realizadas pelo Laboratório de Análise Microbiológica da Universidade de Santa Maria apresentam somente a quantidade de fungos micorrízicos presente no tecido, não identificando qual o gênero de fungo (Figuras 4 e 5). Benedeti (2005, p. 45) ressalta que muitos fungos não podem ser identificados com precisão a partir do esporo coletado no campo, mas fornecem um indicativo da população presente no solo em um dado momento ou ciclo de cultivo.

Para a variável micorriza, os resultados demonstram que a porcentagem de micorrizas analisadas nas raízes das plantas avaliadas, apresentaram amplitudes de 20 a 100%, sendo que a média foi de 69,16 % apresentando um CV de 45,10%, o que demonstra uma grande heterogeneidade na quantidade de micorrizas nas plantas avaliadas, sendo o que também pode ser comprovado pela distribuição anormal das mesmas na área, confirmando-se pelos valores de assimetria e curtose distantes de zero, -0,47 e -1,37, respectivamente (Tabela 1).

Figura 4: Imagem do fungo micorrízico na superfície da raiz do milho.

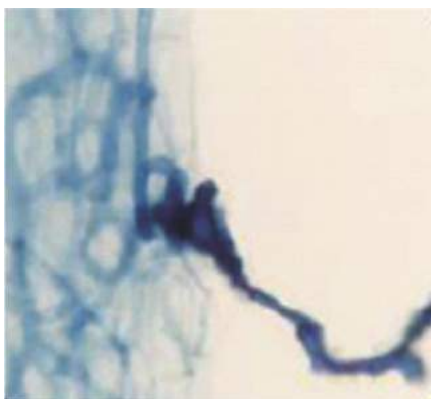
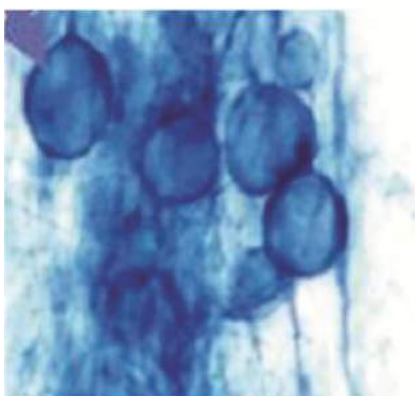


Figura 5: Imagem de vesículas formadas pelo fungo micorrízico no tecido radical da planta de milho.



Assim, como as micorrizas, o elemento fósforo apresentou alta variabilidade espacial horizontal, com CV de 42,22%, corroborando com Santi (2012). A disponibilidade de fósforo apresentou uma disponibilidade média de 10,37mg/dm<sup>3</sup>, valor considerado alto segundo a SBCS (2016).

A produtividade variou de 162 a 201,59 sc ha<sup>-1</sup> com uma produtividade média de



184,97sc ha<sup>-1</sup> e com CV baixo (5,01%). Os dados de fósforo e a produtividade de grãos seguiram uma distribuição normal, segundo os valores de assimetria 0,29 e -0,41, e curtose -1,16 e 0,50, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1. - Resultados da estatística descritiva para porcentagem de infecção micorrízica, fósforo, produtividade e pH.

Parâmetros estatísticos	Micorrizas (%)	Fósforo (mg dm <sup>-1</sup> )	Produtividade (sc ha <sup>-1</sup> )	pH
Mínimo	20,00	4,40	162,00	5,20
Media	69,16	10,37	184,97	5,53
Máximo	100,00	18,10	201,59	6,00
Mediana	80,00	10,85	184,78	5,55
Moda	100,00	6,20	162,00	5,30
DP <sup>1</sup>	31,19	4,37	9,26	0,23
Variância	973,18	19,17	85,88	0,06
CV (%) <sup>2</sup>	45,10	42,22	5,01	4,25
Cs <sup>3</sup>	-0,47	0,29	-0,41	0,29
Ck <sup>4</sup>	-1,37	-1,16	0,50	-1,01
W <sup>5</sup>	0,82*	0,92 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	0,93 <sup>ns</sup>

<sup>1</sup> Desvio Padrão; <sup>2</sup> Coeficiente de variação; <sup>3</sup> Coeficiente de assimetria; <sup>4</sup> Coeficiente de curtose;

<sup>5</sup> Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, onde: \* significativo em níveis de p < 0,05 e ns não significativo. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada.

Quanto a produtividade, se observou também, uma baixa variabilidade pois a área em estudo apresenta relevo uniforme isso colabora para uma menor variação produtiva mesmo quando atributos químicos e biológicos não apresentem baixa variabilidade (Tabela 2), porém observa-se variações negativas em pontos que há menor disponibilidade de fósforo e menor colonização micorrízica, resultado que também pode ser evidenciado pelos mapas temáticos da área.

Os valores de pH foram compreendidos entre 5,2 a 6,0, com valor médio de 5,53. Segundo orientações da SBCS (2016), o pH 6,0 é o ideal para o cultivo do milho e para que o mesmo consiga aproveitar eficientemente os nutrientes disponíveis no solo, sendo que quando o mesmo baixar para 5,5 a produtividade não vai ser interferida. Tanto os dados de argila quanto de pH, foram considerados de distribuição normal, tendo valores de assimetria e curtose próximos de zero.

Tabela 2. - Correlação Linear de Pearson entre os atributos químicos do solo, infecção micorrízica e a produtividade.

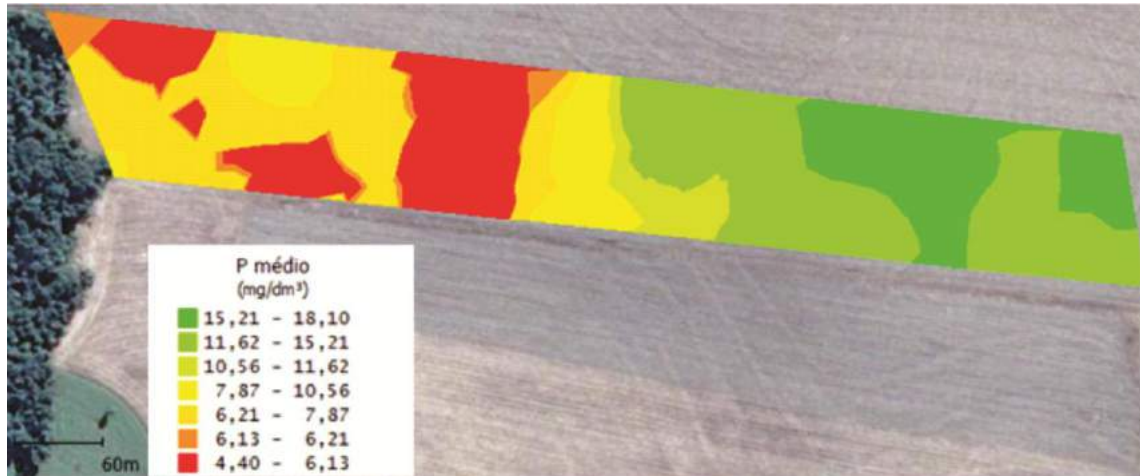
	Mico	Prod	K	Ca	Mg	S	Argila	M.O.
<b>P</b>	0,62**	0,31	-0,48*	-0,12	-0,29	-0,01	-0,12	-0,23
<b>Mico</b>		0,32	-0,33	0,00	0,02	0,36	-0,24	0,12
<b>Prod</b>			-0,39*	-0,13	-0,26	0,16	-0,24	0,23
<b>K</b>				0,49*	0,52**	-0,13	-0,13	0,31
<b>Ca</b>					0,83**	-0,03	-0,10	0,41*
<b>Mg</b>						-0,02	-0,25	0,54**
<b>S</b>							-0,18	0,17
<b>Argila</b>								-0,49**

\*\* significativo a  $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$  respectivamente.

No mapa espacial de fósforo (Figura 6), é possível verificar a alta variação, 4,40 a 18,10

$\text{mg dm}^{-3}$ , o que concorda com os resultados encontrados por Santi et al. (2012), em áreas de lavoura anteriormente ao manejo com as técnicas da AP.

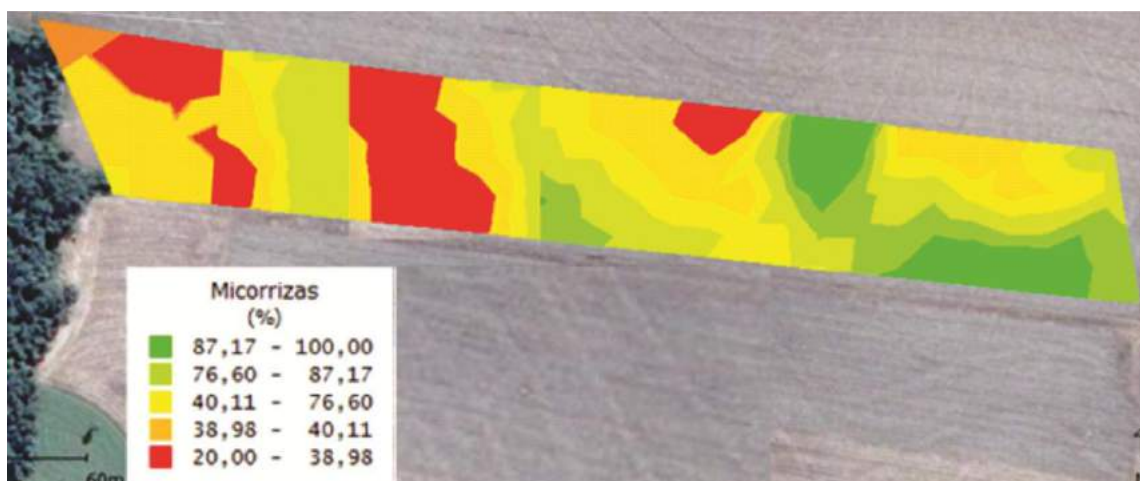
Figura 6: Mapa espacial de fósforo no solo.



Através da análise do mapa de colonização micorrízica (Figura 7), verifica-se que assim como o mapa de fósforo, apresenta grande variabilidade, sendo que estes dois mapas demonstram grande similaridade visual confirmando a dependência dos dois elementos em estudo. A associação simbiótica mutualista das micorrizas com as raízes da planta, proporciona um aumento da capacidade de absorção de água e nutrientes, com destaque para o fósforo, promovendo incremento na eficiência da adubação fosfatada (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002).

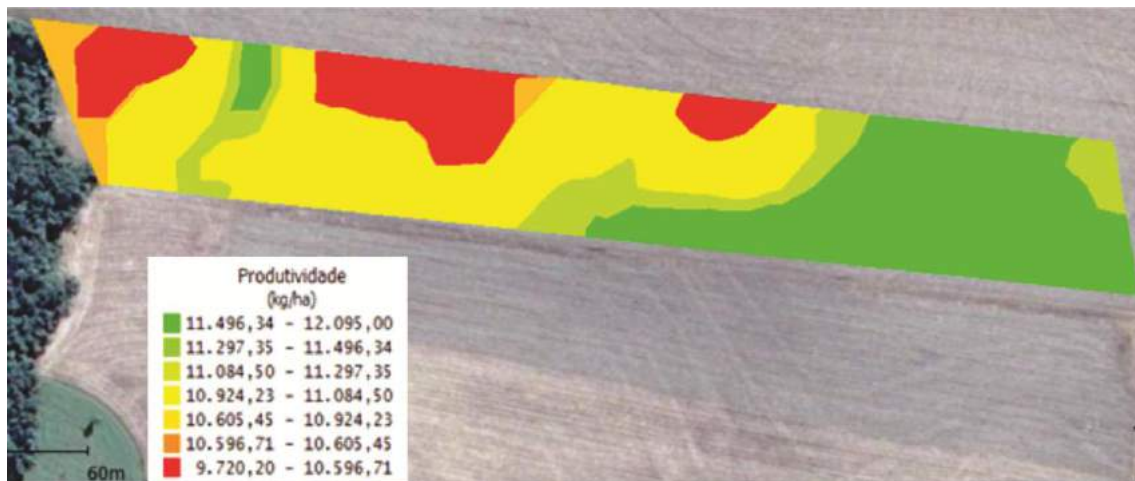
Analisando a Tabela 2, verificou-se que uma das correlação de maior significância foi a correlação entre a infecção micorrízica e a disponibilidade de fósforo no solo (0.62), resultado que também evidencia e possibilita uma estimativa de níveis de fósforo no solo relacionando com a atividade micorrízica, desta maneira verifica-se a atividade destes fungos como um fator importante para o equilíbrio nutricional deste elemento.

Figura 7: Mapa de porcentagem de infecção micorrízica nas raízes das plantas de milho.



Neste contexto, Borém, Galvão e Pimentel (2015) complementa afirmando que devido a alta exigência da cultura do milho a adubação fosfatada, a produtividade é limitada quando os teores de P no solo são baixos. Fator este que contribui para explicar o mapa de produtividade (Figura 8) da área analisada, sendo que neste, as menores produtividades são oriundas de locais de menores concentrações de fósforo e micorrizas.

Figura 8: Variabilidade espacial da produtividade da cultura do milho na área experimental.



## 4 CONCLUSÃO

Verificou-se grande similaridade entre a variabilidade de fósforo no solo e a variabilidade de infecção micorrízica e, conseqüentemente, na produtividade da cultura do milho.

Através da variabilidade da presença de fungos micorrízicos no sistema radicular de plantas de milho, de forma indireta, há possibilidade de que se possa estimar a variação de mapas de fósforo, embora esta hipótese mereça mais estudos.

## REFERÊNCIAS

ANTONIOLLI, Z. I. **Orientações para melhor representação de análises micorrizicas.** Orientação Laboratório de Microbiologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria RS, 2014.

ANTONIOLLI, Z. I.; KAMINSKI, J. **Micorrizas** .Cienc. Rural vol.21 no.3 Santa Maria Sept./Dec. 1991. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84781991000300013](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84781991000300013)>. Acesso em: 31 ago. 2017.

ARAUJO, R. S; HUNGRIA, M. **Microrganismos de importância agrícola.** Brasília: EMBRAPA-SPL, 1994. 236p.

BENEDETTI, T. et al. Diversidade de fungos arbusculares na cultura do milho após uso de espécies de plantas de cobertura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 4, n.1, p. 44-51, 2005.

BORÉM, A.; GALVÃO, J. C. C.; PIMENTEL, M. A. **Milho: do plantio à colheita.** Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015.

COELHO E. C. et al. Influência da densidade amostral e do tipo de interpolador na elaboração de mapas temáticos. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 31, n. 1, p. 165-174, 2009.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 3 ed. Brasília, 2013. 353 p.

FERREIRA, P. A. A.; BEMFICASTEFFEN, R. Micorrizas aumentam o aproveitamento do fósforo. **Revista Campo & Negócio**. N°. 165. Disponível em: <<http://www.revistacampoenegocios.com.br/micorrizas-aumentam-o-aproveitamento-do-fosforo/>>. Acesso em: 31 ago. 2017.

GATIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. 2003. F. Tese (Doutorado em Concentração de Biodinâmicas do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ. 309p. 2002.

GRANT, C.A. et al. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agrônômicas**. N° 25, set., 2001. Disponível em: < [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/43C5E32F5587415C83257AA30063E620/\\$FILE/Page1-5-95.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/43C5E32F5587415C83257AA30063E620/$FILE/Page1-5-95.pdf)>. Acesso em: 31 ago. 2017.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 626p.

SANTI, A. L. et al. **Distribuição horizontal e vertical de fósforo e potássio em área manejada com ferramentas de Agricultura de Precisão**. Revista Plantio Direto - maio/junho de 2012.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (SBCS). **Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. SBCS – Núcleo Regional Sul – Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2016.

# MAPEAMENTO DA PRODUTIVIDADE DO MILHO (*ZEА MAYS L.*) E NÍVEIS DE CLOROFILA EM DIFERENTES DOSAGENS DE FERTILIZANTE EM NITOSSOLO VERMELHO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO

*Corn (Zea mays L.) yield mapping and chlorophyll levels in different fertilizer dosages in Nitossolo Vermelho under no-tillage system*

Eduarda Piroli<sup>1</sup>, Alisson Alves<sup>2</sup>, Ana Paula Scarparo<sup>3</sup>, Daniele Samara Post<sup>4</sup>, Dionis Guidini<sup>5</sup>, Douglas Dal Moro<sup>6</sup>, David Peres da Rosa<sup>7</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6,7</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Sertão  
Rodovia RS 135, Km 25, Distrito Eng. Luiz Englert, CEP: 99170-000, Sertão/RS, Brasil,  
[pirolieduarda@gmail.com](mailto:pirolieduarda@gmail.com), [alisson.alvesagro@gmail.com](mailto:alisson.alvesagro@gmail.com), [anap.scarparo@gmail.com](mailto:anap.scarparo@gmail.com), [dani-post@hotmail.com](mailto:dani-post@hotmail.com), [dionis.guidini@hotmail.com](mailto:dionis.guidini@hotmail.com), [doug.daro@hotmail.com](mailto:doug.daro@hotmail.com),  
<sup>3</sup>[david.darosa@sertao.ifrs.edu.br](mailto:david.darosa@sertao.ifrs.edu.br)

## RESUMO

Com o crescente incremento global de demanda por alimentos, se faz necessário tecnologias que busquem aprimorar técnicas de ganho de produtividade. A agricultura de precisão é um importante aliado neste contexto. O teor de clorofila pode representar um indicativo de nutrição das plantas, e a aplicação de fertilizantes tem influência sobre este. Neste sentido o objetivo deste trabalho foi avaliar os teores de clorofila e produtividade sob diferentes doses de fertilizante mineral em Nitossolo Vermelho na cultura do milho. Foram coletados os teores de clorofila total no estágio de R4-R5, mensuradas as produtividades no final do ciclo e gerado mapas destes parâmetros. Os parâmetros avaliadores não apresentaram diferença estatística quando comparados com as diferentes dosagens de fertilizante mineral.

**Palavras-chave:** Adubação. Clorofilômetro. Produção.

## ABSTRACT

With the growing global increase in demand for food, it is necessary to seek technologies that improve productivity gain techniques. Precision agriculture is an important ally in this context. The chlorophyll content may represent an indicator of plant nutrition and fertilizer application influences this. In this sense the objective of this study was to assess the chlorophyll content and productivity under different doses of mineral fertilizer in Red Nitosol in maize. The total chlorophyll contents were collected in the R4-R5 stage, the measured yields at the end of the cycle and generated maps of these parameters. Evaluators parameters showed no statistical difference when compared with the different doses of mineral fertilizer.

**Keywords:** Fertilization. Chlorophyll meter. Yield.

## 1 INTRODUÇÃO

A demanda mundial de alimentos, cresce a cada ano fazendo com que a produção acompanhe concomitantemente, compondo um sistema em que busca otimização da produção, aliado a eficiência e uso de tecnologias, entre elas a agricultura de precisão, a qual busca um gerenciamento preciso e localizado do sistema agrícola.

Coletas de dados e levantamento de características fazem parte do processo de agricultura de precisão, propriedades, características, produção, entre outros parâmetros de solo ou planta, pode ser fonte de informação para diagnóstico e interpolação com outras variáveis dentro do contexto. O teor de clorofila presente nas folhas da cultura pode ser um indicativo de nível de nutrição da planta, Durães et. al (2005) constataram que o conteúdo de clorofila compõe um indicador significativo para quantificar o estado nutricional do milho.

A aplicação de fertilizantes na cultura tem influência direta sobre os teores de clorofila na folha da cultura do milho, mais especificadamente fertilizantes nitrogenados (Falker, 2008). Este parâmetro pode ser útil na indicação e avaliação nutricional das culturas, contudo constitui-se um

método indireto, porém eficaz, pois não necessita envio de amostras ao laboratório, não ocasiona destruição ou lesão na plantas (Malavolta et al., 1997).

O conteúdo de clorofila na folha tem correlação positiva com a taxa de nutrição de nitrogênio da planta e produção, pois o mesmo é constituinte de aminoácidos e enzimas que estão associados aos cloroplastos (Taiz & Zeiguer, 2009), estes responsáveis pela fotossíntese e consequentemente produção de energia para manutenção, crescimento e produção dos vegetais, observando a importância de se conhecer o estado nutricional deste nutriente.

A mensuração dos níveis de clorofila total pelo uso de clorofilômetro vem sendo utilizado para prognosticar a necessidade de adubação nitrogenada em muitas culturas, dentre elas o milho, e para que seja considerada uma ferramenta útil, deve-se relacionar as leituras com outros indicadores, como produtividade e massa seca (Argenta et al., 2001).

A aplicação de fertilizantes no solo, não garante que o mesmo será utilizado pela cultura, fatores intrínsecos do solo como acidez, fixação, podem interferir na disponibilidade do mesmo, estudos de Godoy et al., (2003), apontaram variação no índice de clorofila nas folhas do milho obtidos pelo clorofilômetro, em diferentes manejos de adubação, implicando que o equipamento pode fornecer um dado de nutrição, bem como se o nutriente aplicado está presente na planta, ou seja, assimilado, principalmente nitrogênio.

Trabalhos comparando híbridos de milho, níveis de clorofila, e rendimento de grãos foram realizados por Rocha et al., (2005), os quais encontraram correlação significativa entre os fatores, contudo propuseram que a indicação de adubação nitrogenada no milho a partir deste índice deve ser estudada para cada híbrido.

A sensibilidade, no que tange precisão dos índices do clorofilômetro, foi estudada por Hurtado, et al., (2010), os quais constataram que o equipamento foi sensível em detectar o estado nutricional do milho, referindo-se ao nitrogênio, e apresentou altas correlações com produtividade e matéria seca, enfatizando que a utilização do mesmo pode ser empregada na diagnose do estado nutricional e necessidade de adubação em cobertura de nitrogênio.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os teores de clorofila em milho e produtividade, a partir de diferentes dosagens de fertilizante.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no ano agrícola 2014/2015 na área agrícola do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Câmpus Sertão, sob um solo classificado como Nitossolo Vermelho (Embrapa, 2006) em sistema plantio direto, sob uma área de pesquisa implantada, a qual comparava diferentes dosagens de fertilizante químico.

O experimento de Agricultura da precisão consistiu em mensurar os teores de clorofila na folha de milho, nas diferentes dosagens de adubo da pesquisa, bem como sua produção, georreferenciamento e geração de mapas.

As dosagens de fertilizantes implantadas foram: 290 kg há<sup>-1</sup> 330 kg há<sup>-1</sup> e 490 kg há<sup>-1</sup>. A formulação comercial de fertilizante químico utilizada no experimento foi 05-30-15 (N-P-K), o híbrido de milho cultivado foi o Pioneer® 30F53 Herculex. Para semeadura utilizou-se uma semeadora/adubadora Semeato® SHM 15/17 dotada de dosadores de fertilizante por transbordo.

A coleta de dados do teor de clorofila foi realizada através do Clorofilog, clorofilometro digital com armazenamento automático marca Falker®, o qual mensurou o teor de clorofila total da planta. As medições foram feitas no estádio R4 - R5 da cultura, nos terços médios das plantas e das folhas, sendo coletados dados de 5 plantas por repetição.

Foram coletadas 15 plantas por ponto amostral e debulhados os grãos, sendo pesados e corrigidos a 13% de umidade.

A geração de mapas de produção e teor de clorofila foi realizada pelo software Campeiro 7.20 (Giotto, 2012), o qual utilizou-se dos pontos amostrais identificados na coleta do teor de clorofila; para marcação dos pontos foi utilizado um GPS Etrex Vista.

A avaliação estatística da produção e do teor de clorofila, constou de uma análise estatística descritiva, análise de variância, na forma de teste de comparação entre médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, todas realizadas pelo Assistat 7.6 beta (Silva &

Azevedo, 2009).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 1 estão expressos os valores de teor de clorofila e produtividade comparando-se com as diferentes doses de fertilizante mineral. Observa-se que não teve diferença significativa entre os tratamentos estudados. Os dados diferiram dos obtidos por Lucena et al., (2000) os quais observaram que aumentando-se a dose de fertilizante mineral, a produção apresentou efeito quadrático altamente significativo.

O teor de clorofila total assim como a produtividade não apresentou diferença significativa, concordando com trabalhos de Hurtado et al., (2010) que concluíram em estudos que os maiores teores de clorofila estejam presentes nas folhas em estágios até R2, neste estágio e após as reservas deslocaram-se para a produção. No presente trabalho as leituras ocorreram em estágio posterior a este, por tal motivo, deve-se ao fato de não apresentar significância e nem correlacionar com a produtividade.

Tabela 1 – Dosagens, teores de clorofila total e produtividade na cultura do milho

Dosagem Kg.ha <sup>-1</sup>	Clorofila µg.cm <sup>-2</sup>	Produção Sc.ha <sup>-1</sup>
290	38,80 *ns	141,03 *ns
330	40,43	139,30
490	41,15	170,43
CV (%)	11,35	12,93

\* ns - Não significativo pelo teste Tukey (p < 0,05).

A Figura 1 está demonstrando o mapa dos teores de clorofila total da cultura em 4 classes, não sendo condizentes com os pontos de maior dosagem de fertilizante mineral.

Na Figura 2 está demonstrando o mapa de produtividade, que quando comparado com o mapa de clorofila, não apresenta zonas condizentes, exceto em uma das bordas, onde observa-se o menor teor de clorofila e a maior produção, demonstrando o que foi mencionado anteriormente, que as reservas são deslocadas para produção.

Figura 1 – Mapa dos teores de clorofila total na cultura do milho

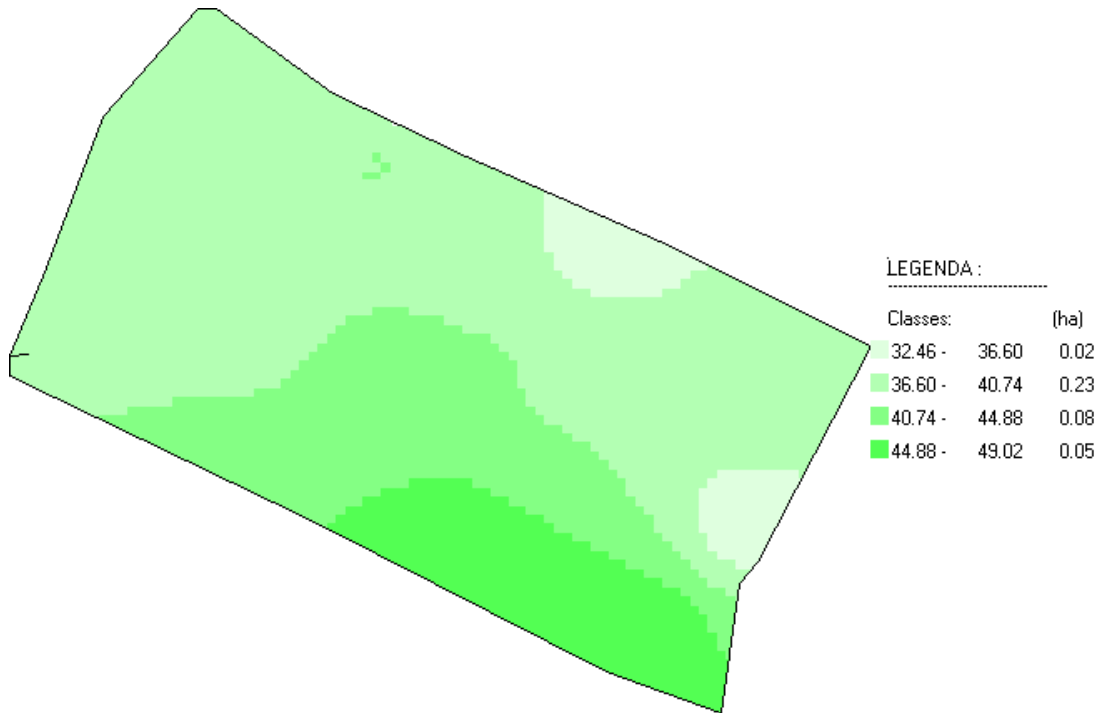
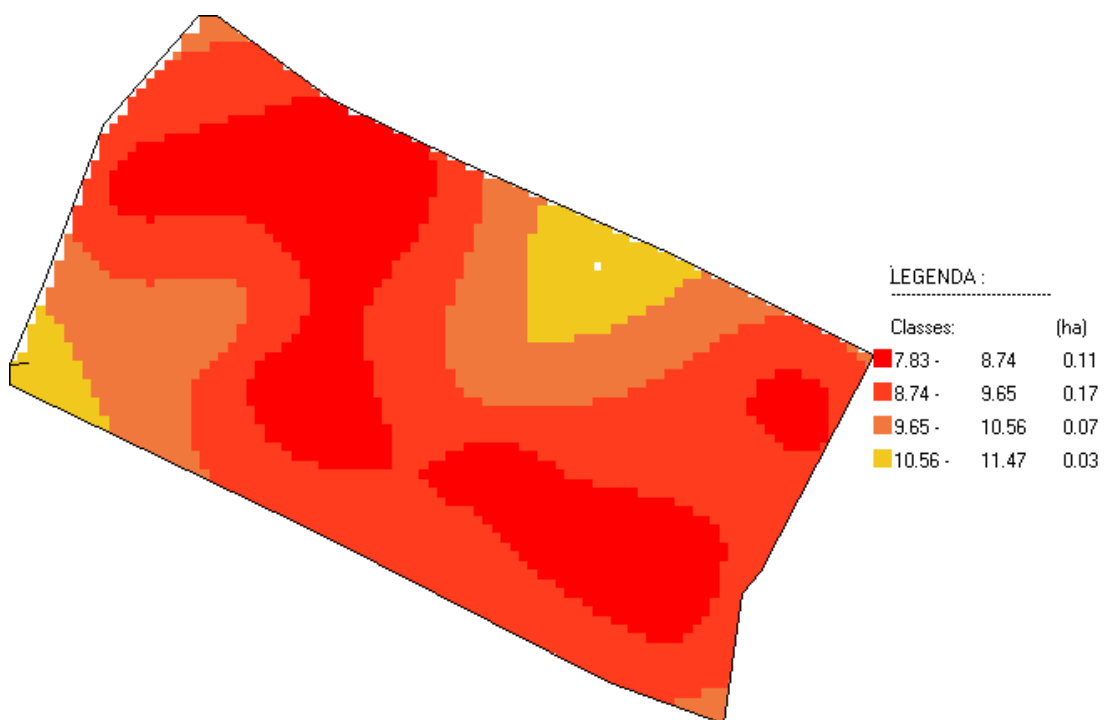


Figura 2 – Mapa de produtividade da cultura do milho





## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os teores de clorofila total analisados nos estágios de R4 – R5 não relação com a produtividade do milho. As diferentes dosagens de fertilizantes aplicadas não apresentaram diferença significativa para o teor de clorofila total e produtividade de grãos de milho.

## REFERÊNCIAS

ARGENTA, G. Monitoramento do nível de nitrogênio na planta como indicador da adubação nitrogenada em milho. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 112p. Tese de Doutorado.

DURÃES, F. O. M.; MAGALHÃES, P. C.; GAMA, E. E. G.; OLIVEIRA, A. C. Caracterização fenotípica de linhagens de milho quanto ao rendimento e à eficiência fotossintética. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 3, p. 355-361, 2005.

GODOY, L.J.G., VILLAS BOAS, R.L., GRASSI FILHO, H. Adubação nitrogenada na cultura do milho baseada na medida do clorofilômetro e no índice de suficiência em nitrogênio (ISN). **Acta Scientiarum**, 2003, vol.25,no.2,p.373-380.

HURTADO, S. M. C.; SILVA, C. A.; RESENDE, A. V.; CORAZZA, E. J.; SHIRATSUCHI, L. S.; HIGASHIKAWA, F. S. Sensibilidade do clorofilômetro para diagnóstico nutricional de nitrogênio no milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 688-697, 2010.

LUCENA, L.F.C. Resposta do milho a diferentes dosagens de nitrogênio e fósforo aplicados ao solo. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.334-337, 2000  
.MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. **Piracicaba: POTAFÓS**, 1997. 319p.

ROCHA, R. N. C. et al. Relação do índice SPAD, determinado pelo clorofilômetro, com teor de nitrogênio na folha e rendimento de grãos em três genótipos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, p. 161-171, 2005.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

## PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE FEIJÃO SAFRINHA SOB PALHADA DE MILHO COM INFLUÊNCIA DE PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO

*Production Of Grains beans under wheat of corn with influence of winter coverage plants*

Romano Augusto Martini Dal Bello<sup>1</sup>, Antônio Luis Santi<sup>2</sup>, Isaura Luiza Donati Linck<sup>3</sup>, Tassiana Dacás<sup>4</sup>, Dejalés Fioresi<sup>5</sup>, Felipe Arthur Baron<sup>6</sup>, Renan Tonin Martini<sup>7</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Linha 7 de setembro s/n, 98400-000, Frederico Westphalen – RS, Brasil, [romanoaugusto1@hotmail.com](mailto:romanoaugusto1@hotmail.com); [santi\\_pratica@yahoo.com.br](mailto:santi_pratica@yahoo.com.br); [isauralinck@hotmail.com](mailto:isauralinck@hotmail.com); [tassianadacas@hotmail.com](mailto:tassianadacas@hotmail.com)

<sup>5</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Linha Pitol s/n, 98345-000, Pinhal – RS, Brasil, [dejalésfioresi@hotmail.com](mailto:dejalésfioresi@hotmail.com)

<sup>6</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Linha Raiz s/n, 98290-000, Condor – RS, Brasil, [felipe.baron@hotmail.com](mailto:felipe.baron@hotmail.com)

<sup>7</sup> Engenheiro Agrônomo, Linha Bressan s/n, 99680-000, Constantina – RS, Brasil, [renanmartini54@hotmail.com](mailto:renanmartini54@hotmail.com)

### RESUMO

O sistema de plantio direto apresenta reflexos positivos na produtividade das culturas por melhorar a qualidade do solo sendo considerado um sistema de produção sustentável. O cultivo de plantas forrageiras na entressafra tem acarretado em melhorias do SPD. A cultura do feijoeiro é de ciclo curto, sistema radicular superficial, exigente em nutrientes, que produz pouca palha e de fácil decomposição. Para tanto, objetivou-se avaliar a influência de diferentes plantas de cobertura de inverno na produtividade do feijão safrinha em sucessão ao cultivo do milho. O experimento foi realizado em uma área comercial irrigada no município de Boa Vista das Missões, RS, onde se avaliou 11 diferentes sistemas de cobertura na entressafra. A semeadura da cultura foi sob resteva de milho safra em duas áreas em um mesmo talhão na zona de baixa produtividade. Nas duas áreas não houve diferença estatística para a produtividade nem para o PMS. Pode-se destacar os tratamentos com ervilhaca e tremoço branco (área 1 e 2 consecutivamente), que obtiveram os maiores valores de produtividade. As plantas de cobertura de inverno não influenciaram estatisticamente na produtividade e PMS de feijão safrinha cultivado sobre resteva de milho safra no Rio Grande do Sul.

**Palavras-chave:** Feijão. Plantas de cobertura. Sistema de plantio direto.

### ABSTRACT

The no-tillage system has positive effects on crop productivity by improving soil quality and is considered a sustainable production system. The cultivation of forage plants in the off season has led to SPD improvements. The bean crop is a short cycle, a superficial, nutrient-demanding root system that produces little straw and easy decomposition. The objective of this study was to evaluate the influence of different winter cover crops on yield of the bean crop in succession to maize cultivation. The experiment was conducted in an irrigated commercial area in the city of Boa Vista Mission, RS, which evaluated 11 different roofing systems in the off season. The sowing of the crop was under resteva of maize crop in two areas in a same field in the zone of low productivity. In both areas there was no statistical difference for productivity or for SMP. we can highlight the treatments with vetch and white lupine (area 1 and 2 consecutively), which obtained the highest values of productivity. The winter cover plants did not influence statistically the productivity and PMS of safrinha bean cultivated on leaves of maize crop in Rio Grande do Sul.

**Keywords:** Bean. Coverage plants. No-tillage system.

## 1 INTRODUÇÃO

O feijão é um dos alimentos mais consumidos e produzidos no Brasil, se destaca pelo seu valor nutricional e pela sua versatilidade culinária, estando presente em vários pratos da mesa dos brasileiros. A cultura do feijoeiro no Brasil é explorada principalmente pela agricultura familiar, onde que no seu cultivo são observados baixos níveis de utilização de tecnologia, dado

ao seu caráter de subsistência (EMBRAPA, 1994). Os grandes produtores optam por produzir a leguminosa como uma aposta de curto prazo em meio a suas atividades principais (EPAGRI, 2012), para gerar renda na entressafra quando o preço pago pela saca é atrativo.

Na safra 2015/2016 foram semeados 2,84 milhões de hectares da cultura no Brasil, com uma produtividade média de 886 kg ha<sup>-1</sup>. No Rio Grande do Sul, nesta mesma safra, a leguminosa ocupou quase 68 mil ha<sup>-1</sup>, com a produtividade de 1797 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2017). As baixas produtividades da cultura estão normalmente associadas ao uso de sementes salvas e pelo manejo inadequado da cultura (CABRAL et al., 2011).

O sistema plantio direto (SPD), apresenta reflexos positivos na produtividade das culturas, onde faz-se o mínimo revolvimento, reduzindo o tempo em operações agrícolas, aumentando os teores de matéria orgânica e atividade biológica do solo, ou seja, acarreta em melhoria da qualidade do solo, sendo considerado um sistema de produção sustentável (Nascente et al. 2011; Crusciol et al. 2012).

O cultivo de plantas forrageiras para a produção de palhada na entressafra, quando não existe nenhuma cultura de interesse econômico implantada na área, tem acarretado em melhorias para o SPD, melhorando a produtividade das culturas de verão, como o milho e a soja, por deixarem resíduos que contribuem na nutrição das plantas e por criarem um microclima favorável para o desenvolvimento radicular. Dentre as espécies utilizadas para a produção de palhada, vem-se utilizando plantas de cobertura de espécie forrageira, as quais apresentam alta produção de biomassa e sistema radicular profundo (KLUTHCOUSKI et al., 2000). A qualidade da palhada também é de grande importância, principalmente visando as culturas sucessoras, considerando que as plantas leguminosas são capazes de fixar nitrogênio através da atividade simbiótica com bactérias, outras espécies, como o nabo forrageiro, cicla grande quantidade deste nutriente, e outras como as gramíneas permanecem por mais tempo sob a superfície do solo, por apresentarem decomposição mais lenta, estas demoram mais para disponibilizar os nutrientes para a cultura.

O feijão é uma cultura de ciclo curto, sistema radicular superficial, exigente em nutrientes, que produz pouca palha e de fácil decomposição. Assim, é fundamental adotar medidas para conservar e melhorar o solo para evitar a sua degradação, para permitir boa produção de feijão, bem como reduzir o uso de insumos (EPAGRI, 2012).

Considerando os estudos em acerca de plantas de cobertura para melhorar a produtividade das culturas comerciais. Além disso, pelo feijoeiro apresentar características, de que se exige muito do solo para boas produtividades, como a interação das plantas de cobertura nas culturas de interesse do verão, vale a intenção de investir em pesquisas como a aqui apresentada. Para tanto, objetivou-se avaliar a influência de diferentes plantas de cobertura de inverno na produtividade do feijão safrinha em sucessão ao cultivo do milho.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no município de Boa Vista das Missões, RS, em uma área de produção de grãos comercial com latitude 27°43'22.24"S e longitude 53°20'18.23"O. O clima da região, segundo a classificação de KÖEPPEN é do tipo Cfa, ou subtropical úmido com verão quente.

O solo do local é um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (EMBRAPA, 2013). O experimento foi conduzido em uma área irrigada por pivô central. A semeadura foi realizada mecanicamente no dia 11/01/2016, no sistema de plantio direto sobre a resteva de milho safra. A cultivar utilizada foi a Tuiuiú. A adubação de base utilizada foi de 200 kg/ha<sup>-1</sup> de fertilizante comercial NPK 9-33-12, e a de cobertura foi de 130 kg/ha<sup>-1</sup> de uréia.

O experimento consistiu em duas áreas em um mesmo talhão (área 1 e área 2), na zona de baixa produtividade definida a partir de mapas de colheita. O delineamento experimental utilizado foi de Blocos ao acaso, com onze tratamentos e quatro repetições cada tratamento. Os tratamentos utilizados foram aveia preta (AP), aveia branca (AB), azevém (AZ), centeio (CE), Nabo forrageiro (NF), ervilhaca (ER), tremoço branco (TB), aveia preta + nabo forrageiro (AP+NF), aveia preta + ervilhaca (AP+E), aveia preta+ nabo forrageiro + ervilhaca (AP+NF+E) e pousio (PO).

A colheita foi realizada quando a cultura apresentou grau de maturação plena, a trilha foi realizada mecanicamente. As parcelas tiveram um tamanho de 5x5, totalizando 25 m<sup>2</sup>, o espaçamento entre linhas foi de 0,5 metros, totalizando 10 linhas de semeadura em cada parcela. Para o rendimento de grãos foram colhidas 3 linhas centrais desconsiderando um metro de bordadura cada lado da linha, totalizando 4,5 m<sup>2</sup> de área útil. As variáveis analisadas foram

produtividade de grãos e peso de mil sementes.

Os dados foram analisados por meio de análise de variância (teste F) e as medias submetidas ao teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), por meio do software GENES.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O rendimento de grãos para as duas áreas do mesmo talhão estudadas não apresentaram diferença estatística. No entanto, vale ressaltar que na área 1 a maior produtividade foi de  $2760,1 \text{ kg/ha}^{-1}$  no tratamento composto pela planta cobertura ervilhaca, e o menor foi no tratamento onde a planta de cobertura utilizada foi a Aveia Preta, com uma produtividade média de  $2160,6 \text{ kg/ha}^{-1}$ , como demonstrado na tabela 1.

Tabela 1-Médias dos tratamentos das variáveis de produtividade e peso de mil sementes do local 1.

Tratamento	Produtividade ( $\text{kg/ha}^{-1}$ )	Peso de Mil Sementes
AP	2160,6 a	161,6 a
B	2251,0 a	164,2 a
AZ	2339,1 a	164,1 a
CE	2671,9 a	165,4 a
NF	2664,0 a	172,9 a
E	2760,3 a	170,8 a
TB	2554,8 a	168,9 a
AP+NF	2453,1 a	172,9 a
AP+E	2612,0 a	168,8 a
AP+NF+E	2550,6 a	167,1 a
PO	2389,6 a	166,2 a

Já na área 2, a maior produtividade encontrada foi de  $2346,2 \text{ kg/ha}^{-1}$ , no tratamento com a planta de cobertura tremoço branco, e a menor,  $1886,7 \text{ kg/ha}^{-1}$ , constatada no tratamento de aveia preta + ervilhaca. como consta na tabela 2.

Tabela 2- Médias dos tratamentos das variáveis de produtividade e peso de mil sementes do local 2.

Tratamento	Produtividade ( $\text{kg/ha}^{-1}$ )	Peso de Mil Sementes
AP	2089,7 a	149,93 a
AB	2180,0 a	153,50 a
AZ	2254,0 a	152,72 a
CE	2264,0 a	146,21 a
NF	2058,1 a	149,81 a
E	2196,2 a	146,61 a
TB	2346,2 a	149,81 a
AP+NF	2148,1 a	151,92 a
AP+E	1886,7 a	150,33 a
AP+NF+E	2300,8 a	146,76 a
PO	2288,3 a	142,90 a

O peso de mil sementes também não obteve diferença estatística nas duas áreas, variando de 172,9 a 161,6 g na área 1, e 153,5 a 142,9 g.

Apesar das duas áreas terem apresentado boa diferença nas produtividades, estatisticamente não apresentaram diferença. Vale considerar o alto valor de DMS (diferença mínima significativa).

As produtividades em geral dos tratamentos foram altas, ficando acima da média de produtividade da cultura para o estado do RS. Pode-se dar destaque as forrageiras ervilhaca e tremoço branco que foram os tratamentos que mais produziram nas áreas 1 e 2 respectivamente, isso pode estar relacionado com a relação C/N das plantas de cobertura que ainda interfere após um cultivo com milho. Os consórcios também apresentaram boas produtividades nos dois locais.

## 4 CONCLUSÃO

As plantas de cobertura no inverno não influenciaram estaticamente na produtividade de grãos e no peso de mil sementes de feijão safrinha cultivado sobre resteva do milho safra no Rio Grande do Sul.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CABRAL, P. D. S.; SOARES, T. C. B.; LIMA, A. B. P.; SOARES, B. Y. J.; SILVA, J. A. Análise de trilha do rendimento de grãos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e seus componentes. **Revista Ciência Agrônoma**, v. 42, n. 1, p. 132-138, 2011.

COMISSÃO TÉCNICA SUL-BRASILEIRA DE FEIJÃO. **Informações técnicas para o cultivo de feijão na Região Sul brasileira**. 2.ed. Florianópolis: Epagri, 2012. 157p. Feijão; Prática cultural; Região Sul; Brasil.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. An innovative crop-forage intercrop system: early cycle soybean cultivars and palisadegrass. **Agronomy Journal**, Madison, v. 104, n. 4, p. 1085-1095, 2012. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. – Rio de Janeiro : **EMBRAPA-SPI**, 2006. 306 p.

KLUTHCOUSKI, J. et al. (Eds.). Integração lavoura pecuária. Santo Antônio de Goiás: **Embrapa Arroz e Feijão**, 2003.

NASCENTE, A. S. et al. Desenvolvimento e produtividade de cultivares de arroz de terras altas em função do manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 186-192, 2011.

**EMBRAPA**, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3 ed. Brasília, 2013. 353 p.

**CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de grãos 2016/17 – Décimo Primeiro Levantamento – Agosto/2017**. Brasília: Conab, 2017.

O cultivo de feijão: recomendações técnicas / organizadores Luis Fernando Stone, Aloisio Sartorato; Empresa Brasileira de Pesquisa agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. – Brasília: **EMBRAPA-SPI**, 1994.84p.- (EMBRAPA-CNPAF. Documentos,48).

# QUALIDADE DE FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA PARA A PREDIÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO

## *Quality of pedotransfer functions in the prediction of mechanical resistance of soil to penetration*

Nádia Mariane Mucha<sup>1</sup>, Júlio Cesar Wincher Soares<sup>2</sup>, Claiton Ruviaro<sup>2</sup>, Thiago Floriano Cardoso<sup>1</sup>, Gustavo Lamana<sup>1</sup>, Lenon Vaz<sup>1</sup>, Daniel Nunes Krum<sup>1</sup>, Guilherme Fávero Rosado<sup>1</sup>, Jéssica Santi Boff<sup>1</sup>, Thaylana da Rosa de Souza<sup>1</sup>, Pedro Maurício Santos dos Santos<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Graduanda (o) em Agronomia, Laboratório de Solos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI - Campus Santiago, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, 97700-000, Santiago – RS, Brasil, [muchamariane@gmail.com](mailto:muchamariane@gmail.com)

<sup>2</sup> Professor Dr. do Curso de Agronomia. Laboratório de Solos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI - Campus Santiago, Avenida Batista Bonoto Sobrinho, 97700-000, Santiago – RS, Brasil, [juliowincher@gmail.com](mailto:juliowincher@gmail.com)

### RESUMO

Como indicador da qualidade física do solo a resistência mecânica à penetração (RP) é uma propriedade que permite identificar a compactação ou adensamento do solo, fatores que podem comprometer o aprofundamento das raízes. Embora a RP possa ser mensurada através da penetrometria, o método é limitado pelo conteúdo de água no solo o que pode alterar a interpretação da RP. Para a predição da RP podem ser testadas Funções de Pedotransferência (FPT's) que possibilitam a predição de tal propriedade, a partir de outras propriedades mensuradas. O trabalho teve por objetivo mensurar a acurácia de diferentes FPT's para a predição da RP, comparando com os valores da resistência à penetração real (RP<sub>r</sub>). A descrição pedométrica contou com 96 pontos de prospecções, de uma grade com intervalos regulares de 15 m, na camada 0-0,2 m. Na análise geoestatística os valores de RP<sub>r</sub> e preditos pelas FPT's, obtiveram um ajuste semivariográfico ao modelo teórico *stable*. A RP não foi predita satisfatoriamente pelas FPT's analisadas para os solos estudados.

**Palavras-chave:** Penetrometria. Estrutura do solo. Mapeamento Digital de Solos.

### ABSTRACT

As an indicator of the soil physical quality and a mechanical resistance to penetration (RP) is a property that allows the identification of soil compaction or soil densification, factors that are limiting the deepening of the roots. Although it is a problem, you can change an interpretation of RP. To estimate the RP Pedotransfer functions (PTF's) that allow a prediction of property, from other properties measured. The objective of this work was to measure the accuracy of different PTF's for the prediction of RP, comparing with the values of the resistance to real penetration (RP<sub>r</sub>). A pedometer description had 96 prospecting points, of a series with regular intervals of 15 m, in the layer 0-0,2 m. In the geostationary analysis of RP<sub>r</sub> values and predicted by PTF, they obtained a semivariographic adjustment to the stable theoretical model. RP was not predicted satisfactorily by the PTF analyzes for the sampled soil.

**Keywords:** Penetrometer. Soil structure. Digital Soil Mapping.

## 1 INTRODUÇÃO

Como uma propriedade diretamente relacionada ao crescimento das plantas, a resistência mecânica à penetração (RP) é um indicador da qualidade estrutural do solo. Desta maneira, a RP pode identificar processos de compactação ou adensamento do solo, que são restritivos ao aprofundamento das raízes. Segundo Imhoff et al. (2000), os solos devem possuir um suficiente espaço poroso para o movimento de água e gases, e uma resistência favorável à penetração das raízes.

Solos que apresentam a estrutura física degradada, pela compactação, indicam regiões restritivas que impedem à penetração do sistema radicular das plantas, que assim irá concentrar-se nas camadas superficiais do solo (COLLARES et al., 2006.; REICHERT et al., 2009).

Para Kaiser (2010), é importante propiciar o crescimento radicular em camadas mais profundas para que ocorra o enriquecimento dessas camadas em matéria orgânica, reduzindo os

riscos de emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

Há diversos estudos que relacionam a RP com a densidade do solo (DS), visto que valores elevados de DS reduzem o volume de macroporos, aumentando a força motora produzida pelas raízes. Além disso, em condições de baixa umidade ocorre um incremento da RP, pois o teor de umidade modifica a coesão entre as partículas do solo (KAISER, 2010; BELTRAME et al., 1981).

Quanto à determinação da RP com o uso dos penetrômetros, os valores da RP podem variar diretamente com a DS (BUSSCHER et al., 1997), dificultando sua adequada interpretação quando não considera-se a DS. O método da penetrometria pode ainda, ser limitado pela textura, mineralogia e conteúdo de água no solo, o que provoca alterações nas leituras da RP.

Mediante a isso, para estimar a RP podem ser testadas Funções de Pedotransferência (FPT's) que possibilitam a predição a partir de outras propriedades mensuradas. As FPT's são funções preditivas de determinadas propriedades do solo, a partir de outras de fácil mensuração.

Logo, as FPT's se propõem a atender a necessidade por dados frequentemente requeridos, a partir de dados normalmente disponíveis em levantamentos de solos e bases de dados (BUDIMAN et al., 2003). Bouma (1989) estabeleceu o conceito de FPT como sendo, "transformando dados que possuímos em dados que necessitamos".

Assim, as FPT's que utilizam como covariáveis predictoras o teor de argila, a umidade e a DS, demonstram potencial para mensurar a RP, quando sua medida direta não é viável.

Entretanto, as FPT's são propostas para dados pontuais, o que requer a necessidade de estabelecer uma continuidade espacial para predizer os valores de RP, e para isso utiliza-se métodos de interpolação. Nesse entendimento, a teoria das variáveis regionalizadas de Matheron (1963) possibilita determinar uma relação entre variáveis com condicionamento espacial e variáveis aleatórias, constituindo processos aleatórios, que serão ajustados por algoritmos nos sistemas de informações geográficas (SIG's).

A aplicação de procedimentos geoestatísticos possibilita a avaliação da estrutura de dependência espacial a partir de semivariogramas teóricos. Para Journel e Huijbregts (1978) o semivariograma permite a escolha do modelo mais ajustado ao comportamento dos dados no espaço.

Deste modo, a análise geoestatística mediante o ajuste de semivariograma é fundamental para a aplicação de um interpolador geoestatístico. Conforme McBratney e Webster (1986), a escolha do melhor modelo de semivariograma ajustado se dá por técnicas quantitativas, como a validação cruzada, que avalia a qualidade das estimativas do algoritmo de krigagem (MELLO et al., 2005).

O estimador de krigagem ordinária é considerado do tipo BLUE (*Best Linear Unbiased Estimator*), que significa "melhor estimador linear sem viés". Esse interpolador é linear porque suas estimativas são combinações lineares, não é viesado porque busca um erro de estimativa ou resíduo médio nulo, e é melhor porque minimiza a variância dos erros de estimativa.

Com referência a problemática supramencionada, o objetivo deste trabalho foi avaliar a acurácia de diferentes FPT's para a predição da RP comparando-as com os valores reais de resistência à penetração (RP<sub>r</sub>), aliando a procedimentos geoestatísticos para a predição da RP.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados do presente estudo foram coletados numa área experimental de 2,10 ha da Fazenda Escola da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus Santiago, com coordenadas centrais UTM 705.589 (m) E e 6.769.112 (m) S (SIRGAS 2000, zona 21 S).

De acordo com a classificação climática do estado do Rio Grande do Sul descrita por Maluf (2000), a área de estudo encontra-se sob a influência do tipo climático temperado úmido, com uma pluviosidade média anual de 1.534 mm, e temperatura média de 17,9°C.

O componente geológico é composto principalmente por rochas sedimentares (arenitos e lutitos) e vulcânicas (basalto e riólito) distribuídas nos compartimentos geomorfológicos do Planalto da Campanha, Planalto das Missões, Planalto das Araucárias e a Depressão Central

(IBGE, 2004).

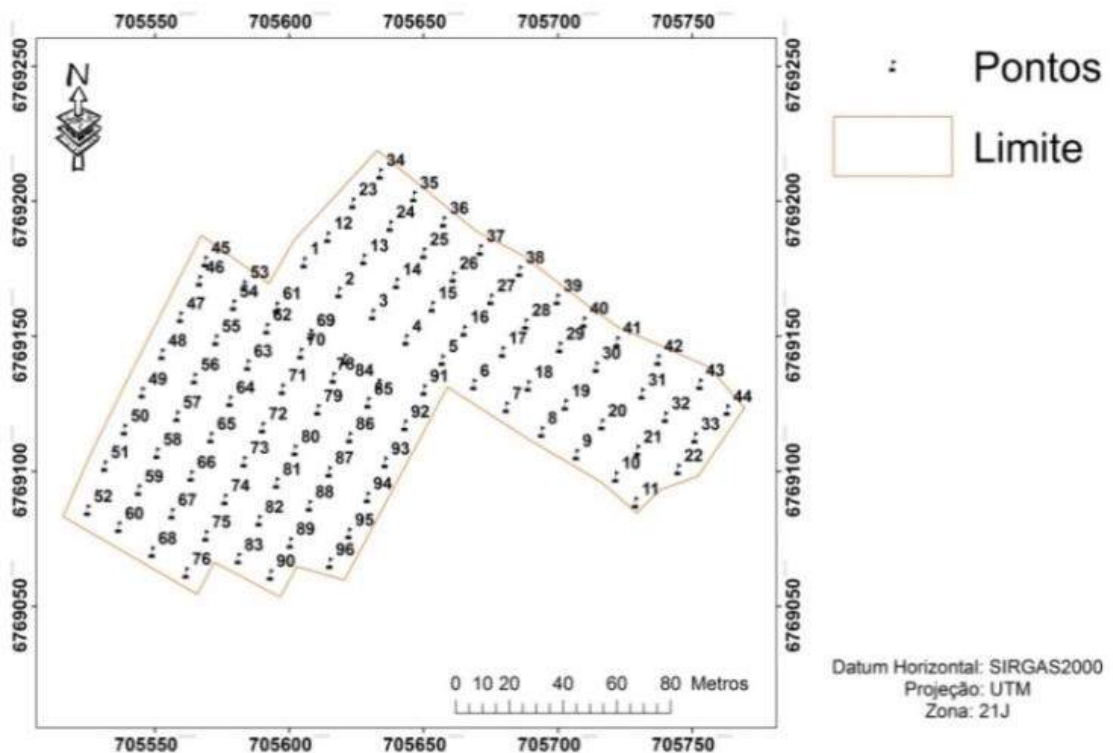
A vegetação encontra-se sob o domínio da estepe gramíneo-lenhosa, correspondente aos campos da região do planalto. Ocorrem também, formações florestais constituídas por Florestas Ombrófilas, e Estacionais Decíduas (IBGE, 2004). Na composição do uso do solo e cobertura vegetal, predominam cultivos agrícolas, formações campestres e florestas nativas em diferentes estágios de regeneração.

Assim, esses componentes da paisagem contribuem para a formação de diferentes classes de solos, que numa escala de desenvolvimento vão de NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos até LATOSSOLOS VERMELHOS Distróficos (STRECK et al., 2008).

Foi analisado um polipédon de NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico e outro de NEOSSOLO REGOLÍTICO Distrófico, estes solos encontram-se sob campo nativo, com mais de três décadas (1,10 ha), um povoamento de Eucalipto (0,55 ha) e um povoamento de Pinus (0,45 ha), ambos com 12 anos de implantação.

Para a descrição pedométrica foram utilizados 96 pontos de prospecção de uma malha, com intervalos regulares de 15 m, com profundidade de 0-0,2 m (Figura 1). Em diversas condições de manejo, percebe-se que a maior resistência do solo a penetração ocorre até os 0,15 m de profundidade, visto que a camada mais compactada concentra-se dentro deste limite, e as maiores variações de umidade do solo também (STRECK et al., 2004, SILVA, 2003; COLLARES et al., 2006; KAISER, 2010).

Figura 1 - Distribuição espacial dos pontos de prospecção em polipédons de NEOSSOLOS, sob diferentes fitofisionomias.



Nos pontos de prospecções foram coletadas amostras deformadas para a determinação das propriedades físicas do solo, tais como: densidade do solo, umidade gravimétrica e análise granulométrica. O ensaio de resistência mecânica do solo à penetração foi realizado com o penetrômetro digital modelo Falker PLG 1020.

A determinação da umidade gravimétrica (Ug) e da textura do solo se deu em conformidade com Donagema (2011). O teor de carbono orgânico (CO) foi determinado pelo método colorimétrico, descrito por Raij et al (2001).

Previamente, a variabilidade das propriedades do solo foi avaliada pela análise estatística descritiva. Para aferir a normalidade das covariáveis e dos resultados das FPT's, foi testada a



distribuição normal, por apresentar 96 amostras dos dados, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de significância.

Foram utilizados os limites de coeficiente de variação (CV) estabelecidos por Warrick e Nielsen (1980), para a classificação da variabilidade das propriedades analisadas, sendo:  $CV < 12\%$ ,  $12\% < CV < 60\%$  e  $CV > 60\%$ , considerados de baixa, média e alta variabilidade, respectivamente.

Foram comparadas duas FPT desenvolvidas para solos brasileiros, para a predição da RP. Silva et al. (2008), ajustaram regressões múltiplas lineares a partir do conteúdo de argila (Arg), DS e o teor de umidade do solo ( $\theta$ ), que explicam 91% ( $R^2 = 0,91$ ) das variações da RP. Ribon e Tavares Filho (2008) utilizaram o procedimento de regressão múltipla com inclusão progressiva de variáveis (*forward stepwise*), considerando que a umidade gravimétrica (Ug) e a DS descrevem 95% ( $R^2 = 0,95$ ) da variação da RP (Tabela 1).

Tabela 1 - Funções de Pedotransferência (FPT's) utilizadas para a predição da resistência à penetração (RP).

Referência	Função	R <sup>2</sup>
1	$RP = [0,0121 - (0,0001 \cdot Arg)] \theta^{(-0,8546 - 0,0412 \cdot Arg)} DS^{(2,9110 + 0,0482 \cdot Arg)}$	0,91
2	$RP = 2,93 - 17,85 \cdot Ug + 2,98 \cdot DS$	0,95

1: Silva et al. (2008), 2: Ribon e Tavares Filho (2008). Abreviaturas: Arg = argila (%);  $\theta$  = umidade ( $cm^3 \cdot cm^{-3}$ ); RP = resistência à penetração (MPa); DS = densidade do solo ( $g \cdot cm^{-3}$ ); Ug = umidade gravimétrica  $\geq 0,20 < 0,30$  ( $g \cdot g^{-1}$ ); R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação do modelo de ajuste.

As análises geoestatísticas foram realizadas no software do Sistema de Informações Geográficas ArcGIS® 10.4.1 (ArcToolbox → Geostatistical Analyst → Assistente de geoestatística → Geoestatistical Methods → Kriging → Kriging type → Ordinary). O estimador de krigagem ordinária é descrito por Trangmar et al. (1985), com a seguinte equação:  $\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$ , em que:  $\hat{Z}(x_0)$  é a estimativa de krigagem para o local  $x_0$  não amostrado;  $Z(x_i)$  valor obtido por amostra coletada a campo; n corresponde ao número de amostras vizinhas; e  $\lambda_i$  são os pesos da krigagem atribuídos aos valores vizinhos  $Z(x_i)$  para estimar  $\hat{Z}(x_0)$  (CARAM, 2007; SILVA JÚNIOR, 2014).

Assim, as estimativas lineares e não enviesadas preditas pelo interpolador de krigagem ordinária, o qual utiliza a informação estrutural obtida pelo variograma e também, que considera a incerteza associada às estimativas da variância da krigagem, confere continuidade aos dados pontuais de uma amostra. Desta maneira, supera-se um dos gargalos das simulações espaciais, que é dar continuidade espacial acurada aos dados ou as informações de uma pesquisa.

Para identificar a estrutura de dependência espacial das variáveis, estabeleceram-se semivariogramas. Assim a hipótese intrínseca admite a estacionaridade do semivariograma, visto que os valores das variáveis ao longo da paisagem são condicionados por diferentes fatores, perdendo a sua natureza intrínseca. Verifica-se, então, a existência de variância finita dos dados, o que permite o ajuste semivariográfico, onde esse será o mesmo em qualquer local que se amostra. Com a utilização do interpolador de krigagem ordinária, foram testados os seguintes modelos teóricos de semivariogramas: circular, esférico, exponencial, gaussiano, e *stable*.

No ajuste do melhor modelo teórico ao semivariograma experimental é relevante avaliar a qualidade do ajuste sobre os resultados da interpolação, utilizando o critério de validação cruzada (*cross-validation*). Essa técnica para Isaaks e Srivastava (1989), permite comparar os valores estimados com os amostrados, mediante a avaliação dos erros de estimativa. Por conseguinte, os erros de predição testados, também chamados de resíduos, são: Média dos Erros Preditos (M), Média dos Erros Padronizada (MS), Raiz Quadrada da Média do Erro ao Quadrado (RMS), Média da Variância dos Erros Padronizados (ASE) e Raiz Quadrada da Média dos Erros Padronizados ao Quadrado (RMSS). Os modelos que oferecem predições acuradas precisam obedecer a premissa de que as estatísticas M e MS devem estar próximas de 0, e os valores em RMS, ASE e RMSS sejam próximos de 1 (ESRI, 2016).

O ajuste do modelo semivariográfico aos dados definiu os parâmetros: efeito pepita, patamar e alcance. Para a análise do grau de dependência espacial (GDE) utilizou-se a

classificação de Cambardella et al. (1994), onde a dependência espacial é fraca, quando a razão do efeito pepita for superior a 75 % do patamar, a dependência espacial moderada, quando a razão do efeito pepita for superior a 25% e inferior ou igual a 75% do patamar e a dependência espacial forte, quando a razão do efeito pepita for inferior ou igual a 25% do patamar.

Para gerar os mapas que delimitam regiões dentro de um mesmo intervalo, aplicou-se o algoritmo preditor de krigagem ordinária, que permitiu uma melhor visualização da distribuição espacial, utilizando o software de Sistema de Informações Geográficas ArcGIS® 10.4.1, seguindo a rotina: ArcToolbox → Spatial Analyst → Interpolação → Krigagem → Ordinária.

O desempenho dos modelos de regressão (FPT's) depende do tipo de critérios estatísticos adotados (MOREELS et al., 2003), assim a avaliação das FPT's deve ser baseada em um conjunto de índices de validação (DE VOS et al., 2005). Na comparação dos ajustes obtidos utilizando os diferentes critérios, valores menores normalmente indicam um modelo de ajuste melhor.

Com essa finalidade, foram aplicados indicadores estatísticos para avaliar a acurácia dos valores de  $RP$  preditos pelas FPT's ao valor de  $RP_r$ , sendo eles: a Média dos Desvios Absolutos (MAD), que consiste na média da diferença entre os valores reais e preditos, sendo muito acurada para dados distribuídos normalmente; a Média Aritmética dos Quadrados dos Desvios (MSE), que realça os grandes erros, comparados aos erros de menor magnitude; a Raiz Quadrada da Média Aritmética dos Quadrados dos Desvios (RMSE), que também tende a exagerar erros grandes, e pode ajudar a eliminar valores com grandes erros; e a Média Absoluta Percentual dos Erros (MAPE), essa representa a acurácia dos erros em porcentagem, visto que dentre os critérios para avaliar a acurácia da previsão é o mais popular (KAHN, 1998).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estatísticas descritivas dos dados utilizados para proceder as FPT's foram apresentadas na tabela 2. As covariáveis argila (0,06), densidade do solo (DS) (0,94), e umidade (Ug e  $\theta$ ) (0,51), apresentaram dados com distribuição normal, conforme o teste de Kolmogorov-Smirnov, com grau de confiança de 95% (nível de significância de 5%).

De acordo com os valores do coeficiente de variação (CV), a variabilidade da argila (21,43%) e da umidade (17,41%) foi classificada como média. A DS apresentou variabilidade classificada como baixa (9,47%), conforme Warrick e Nielsen (1980) (Tabela 2).

Os teores de argila variaram entre 10 e 50,12%, com média de 33,85%; os de umidade entre 0,14 e 0,28  $g.g^{-1}$ , com valor médio de 0,22  $g.g^{-1}$ . Os valores da DS ficaram entre 0,98 e 1,55  $g cm^{-3}$ , perfazendo uma média de 1,29  $cm^{-3}$  (Tabela 2), a qual se encontra dentro da faixa de 0,9 a 1,8  $g cm^{-3}$ , apresentando condições adequadas ao desenvolvimento e à exploração das raízes (RAMIREZ-LOPEZ et al., 2008; CARVALHO et al., 2011; CARDOSO et al., 2016).

Tabela 2 - Análise estatística descritiva das propriedades do solo/covariáveis ambientais utilizadas para a predição da resistência à penetração.

Propriedade	Casos	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV (%)	K-S	SIG
Arg (%)	96	10	50,12	33,85	7,25	21,43	1,34	0,06
DS ( $g cm^{-3}$ )	96	0,98	1,55	1,29	0,12	9,47	0,53	0,94
Ug ( $g.g^{-1}$ )	96	0,14	0,28	0,22	0,04	17,41	0,82	0,51

Arg = argila (%). DS = densidade do solo ( $g cm^{-3}$ ). Ug = umidade gravimétrica  $\geq 0,20 < 0,30 = \theta$  = umidade ( $cm^3.cm^{-3}$ ). CV: Coeficiente de variação. K-S: Teste de Kolmogorov-Smirnov. Sig: Significância ( $p < 0,05$ ).

Com base na classificação da dispersão do coeficiente de variação (CV), a  $RP_r$  e da  $RP$  predita pela FPT de Ribon e Tavares Filho (2008) apresentaram variação média de 28,97 % e 22,34 %, respectivamente (Tabela 3). A FPT de Silva et al. (2008) obteve um CV de 68,21 %, considerado por Warrick e Nielsen (1980) como de alta dispersão.

O valor médio para a  $RP_r$  observado foi de 1,83 MPa, onde variou de 1,00 a 3,49 MPa.

Para a FPT de Silva et al. (2008) encontrou-se um valor médio para a RP de 1,07 MPa, variando entre 0,14 e 3,82 MPa. Já a FPT de Ribon e Tavares Filho (2008) a RP média foi de 2,85 MPa, com valores entre 1,34 e 4,25 MPa (Tabela 3). Taylor e Gardner (1963), Taylor et al. (1966) e Nesmith (1987) adotaram o valor de 2 MPa como o limite crítico de RP para as raízes. Entretanto, os níveis limitantes de RP para o crescimento das plantas variam com o tipo de solo e com a espécie cultivada (TAYLOR et al., 1966; MATERECHERA et al., 1991).

O teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov indicou que a distribuição dos dados da RP<sub>r</sub> e dos valores de RP preditos pelas FPT's, apresentaram distribuição normal (Tabela 3).

Tabela 3 - Análise estatística descritiva da resistência à penetração do solo real e predita por diferentes funções de pedotransferência.

Propriedade	Casos	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV (%)	K-S	SIG
RP <sub>r</sub> (MPa)	96	1,00	3,49	1,83	0,53	28,97	0,73	0,67
RP <sub>1</sub> (MPa)	96	0,14	3,82	1,07	0,73	68,21	1,30	0,07
RP <sub>2</sub> (MPa)	96	1,34	4,25	2,85	0,64	22,34	0,57	0,89

RP<sub>r</sub>: Resistência à penetração real. RP<sub>1</sub>: Resistência à penetração predita pela função de Silva et al. (2008). RP<sub>2</sub>: Resistência à penetração predita pela função de Ribon e Tavares Filho (2008). CV: Coeficiente de variação. K-S: Teste de Kolmogorov-Smirnov. Sig: Significância (p<0,05).

Para mensurar o quanto é agrupada a distribuição espacial de uma variável calcula-se o grau de dependência espacial (GDE) (MOLIN et al., 2015). Na classificação de Cambardella et al. (1994), os valores da RP<sub>r</sub> e a RP predita pela FPT de Silva et al. (2008) apresentaram forte grau de dependência espacial (GDE ≤ 25%). Na FPT de Ribon e Tavares Filho (2008) o semivariograma apresentou dependência espacial moderada (25% ≤ GDE < 75%) (Tabela 4).

Os componentes responsáveis pelo ajuste da dependência espacial, descreveram para a RP<sub>r</sub> e para a FPT de Silva et al. (2008) o valor do efeito pepita igual a 0, e valores do patamar de 0,3646 e 0,6267, respectivamente. Para a RP predita pela FPT de Ribon e Tavares Filho (2008), obteve-se um efeito pepita de 0,2129, e do patamar de 0,4083 (Tabela 4). Para os valores de RP<sub>r</sub>, e RP preditos por Silva et al. (2008), e Ribon e Tavares Filho (2008) o semivariograma atinge o patamar com alcance de, respectivamente: 278,01; 101,26; e 187,07 m (Tabela 4). Assim, pode-se afirmar que a equidistância amostral da grade foi satisfatória. Corá e Beraldo (2006) afirmam que altos valores de alcance promovem maior qualidade nas estimativas realizadas.

Tabela 4 - Parâmetros dos modelos de semivariogramas ajustados para a resistência à penetração real (RP<sub>r</sub>) e para os valores preditos de resistência à penetração por diferentes FPT's.

RP	Modelo	Alcance	Patamar	Pepita	Dependência	GDE (%)
RP <sub>r</sub>	<i>Stable</i>	278,01	0,3646	0,0000	Forte	0,00
RP <sub>1</sub>	<i>Stable</i>	101,26	0,6267	0,0000	Forte	0,00
RP <sub>2</sub>	<i>Stable</i>	187,07	0,4083	0,2129	Moderado	52,15

RP<sub>r</sub>: Resistência à penetração real. RP<sub>1</sub>: Resistência à penetração predita pela função de Silva et al. (2008). RP<sub>2</sub>: Resistência à penetração predita pela função de Ribon e Tavares Filho (2008).

Quanto menor a proporção do efeito pepita em relação ao patamar do semivariograma, maior será a dependência espacial apresentada pela propriedade. Por conseguinte, maior será a continuidade espacial do fenômeno, menor a variância da estimativa e maior a confiança nas estimativas (VIEIRA, 1997; LIMA, 2010). Se o valor do efeito pepita é 0, quer dizer que o erro experimental é praticamente nulo, e que não existe uma variação significativa para distâncias menores que a amostrada (TRANGMAR et al., 1985).

A estrutura de dependência espacial da RP<sub>r</sub> e dos valores de RP preditos pelas FPT's, para ambos ajustou-se conforme o modelo teórico *stable* (Tabela 4). Ao tratar-se de um modelo relativamente novo, compreende-se que os valores não ajustaram-se aos demais modelos comumente utilizados, obtendo assim um melhor ajuste a função do modelo *stable*, visto que é

uma combinação dos modelos exponencial e gaussiano. Na escolha da melhor modelagem do semivariograma para a  $RP_r$  e para os valores de  $RP$  preditos, a validação cruzada foi executada afim de selecionar os menores erros para efetivar a krigagem.

Sendo assim no teste de validação cruzada a  $RP_r$  apresentou a Média dos Erros Preditos (M) de 0,0144, a Raiz Quadrada da Média do Erro ao Quadrado (RMS) de 0,4635, a Média dos Erros Padronizada (MS) de 0,0298, a Raiz Quadrada da Média dos Erros Padronizados ao Quadrado (RMSS) de 1,0524 e a Média da Variância dos Erros Padronizados (ASE) de 1,0524 (Tabela 5). A  $RP$  predita pela FPT de Silva et al. (2008), demonstrou a M de 0,0011, RMS de 0,6249, MS de 0,0044, RMSS de 1,0459 e ASE de 0,6029. Já a  $RP$  predita pela FPT de Ribon e Tavares Filho (2008), estabeleceu a M de 0,0036, RMS de 0,4796, MS de 0,0100, RMSS de 0,9915 e ASE de 0,4850 (Tabela 5).

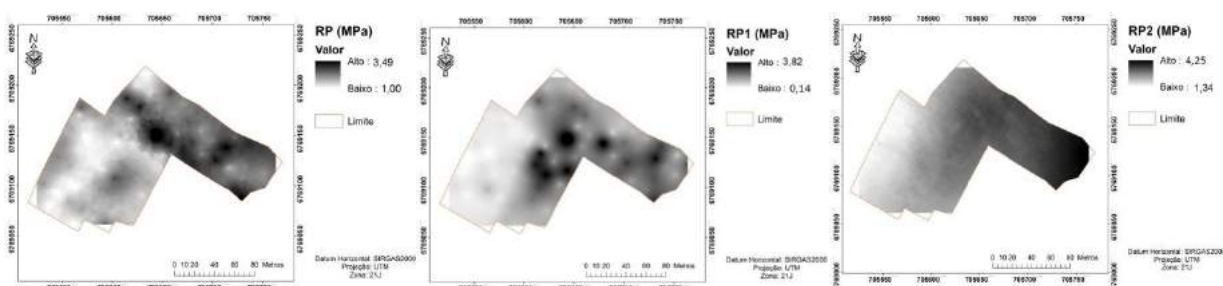
Tabela 5 - Parâmetros da validação cruzada dos semivariogramas ajustados para a resistência à penetração do solo real ( $RP_r$ ) e para os valores preditos de resistência à penetração por diferentes FPT's.

RP	M	RMS	MS	RMSS	ASE
$RP_r$	0,0144	0,4635	0,0298	1,0524	0,4397
$RP_1$	0,0011	0,6249	0,0044	1,0459	0,6029
$RP_2$	0,0036	0,4796	0,0100	0,9915	0,4850

$RP_r$ : Resistência à penetração real.  $RP_1$ : Resistência à penetração predita pela função de Silva et al. (2008).  $RP_2$ : Resistência à penetração predita pela função de Ribon e Tavares Filho (2008). M: Média. RMS: Raiz Quadrada Média. MS: Média Padronizada. RMSS: Raiz Quadrada Média Padronizada. ASE: Erro Médio Padrão.

A distribuição espacial da  $RP_r$  e das  $RP$ 's preditas pelas diferentes FPT's, está representada na figura 2. Assim, observando os valores de  $RP$  preditos é possível inferir que nenhuma das FPT efetuou predições confiáveis comparadas aos valores da  $RP_r$ . Desse modo, ao analisar que ambas as FPT's foram desenvolvidas para solos classificados como LATOSSOLOS VERMELHOS, e que o solos amostrados para a  $RP_r$  classificam-se como NEOSSOLOS, compreende-se que há distinções entre suas propriedades químicas, físicas, morfológicas e características mineralógicas, o que propiciou que os valores preditos de  $RP$  pelas FPT's não mensuraram satisfatoriamente a  $RP$ .

Figura 2 - Mapas da distribuição espacial da resistência à penetração do solo real e dos valores preditos da resistência à penetração do solo por diferentes FPT's.



Para a decisão da FPT de melhor ajuste aos valores de  $RP_r$ , o MAD, MSE, RMSE e o MAPE foram calculados para ambas as funções. O desempenho das FPT's esta descrito na tabela 6. Os critérios de acurácia propõem que valores menores, representam um desempenho melhor da FPT para predição da  $RP$ .

A FPT de Silva et al. (2008) apresentou valores mais próximos da  $RP_r$ , utilizando como variáveis predictoras o teor de argila, a densidade do solo (DS) e a umidade gravimétrica ( $U_g$ ). A função conferiu um MAD como sendo a diferença média entre os valores reais e preditos de 0,871, MAPE que avalia a relevância do erro em 48,40% dos valores, MSE destacando os erros maiores em relação aos de menor relevância de 1,004, e RMSE como a raiz quadrada do MSE de 48,405 (Tabela 6).

Para os estudos de Marcolin (2009), a FPT que possui como variáveis preditoras a DS, a Ug e o teor de argila, é adequada para representar valores de RP menores de 3 MPa.

Na FPT Ribon e Tavares Filho (2008), que utilizou como variáveis preditoras a DS e a umidade gravimétrica ( $\theta$ ), os valores de RP foram superestimados, apresentando o MAD de 1,041, o MAPE de 65,37%, o MSE de 1,408, e o RMSE de 1,186 (Tabela 6).

Tabela 6 - Acurácia da resistência à penetração do solo predita por diferentes funções de pedotransferência, submetidas a critérios de ajuste.

Resistência à Penetração	MAD	MSE	RMSE	MAPE
RP <sub>1</sub> (MPa)	0,87178	1,00473	1,00236	48,40535
RP <sub>2</sub> (MPa)	1,04148	1,40816	1,18666	65,37089

RP<sub>1</sub>: Resistência à penetração predita pela função de Silva et al. (2008). RP<sub>2</sub>: Resistência à penetração predita pela função de Ribon e Tavares Filho (2008). MAD: Média dos Desvios Absolutos. MSE: Média Aritmética dos Quadrados dos Desvios. RMSE: Raiz Quadrada da Média Aritmética dos Quadrados dos Desvios. MAPE: Média Absoluta Percentual dos Erros.

Conforme Kaiser (2010), medições pontuais da RP no campo demonstram apenas a condição do mesmo naquele momento, e podem não indicar problemas de compactação, e, sim, uma elevada RP por efeito da baixa umidade deste. Desta maneira, há um efeito direto na predição da RP do solo, pelos fatores controladores desta, a DS e a Ug do solo. Marcolin (2009), afirma que para uma mesma DS e teor de Ug, a RP é influenciada de forma exponencial pelo teor de argila.

Para tanto propomos que pesquisas futuras sejam realizadas a fim de avaliar a eficiência das FPT's em outras classes de solos, contribuindo com bases mais exatas para a estimativa da RP dos solos do estado do Rio Grande do Sul e do restante do país.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As funções de pedotransferência avaliadas não mensuraram satisfatoriamente os valores da resistência à penetração para os NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Distróficos e NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos estudados, comparados aos valores reais da resistência à penetração.

A função de pedotransferência de Silva et al. (2008) que utilizou a densidade do solo, a umidade gravimétrica, e os teores de argila como preditores, propôs os valores da resistência à penetração preditos com melhor acurácia.

## REFERÊNCIAS

- BELTRAME, L. F. S.; GONDIM, L. A. P.; TAYLOR, J. C. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.5, p.145-149, 1981.
- BOUMA, J. Using soil survey data for quantitative land evaluation. **Advances in Soil Science**, New York, v. 9, p. 177-213, 1989.
- BUDIMAN, M.; McBRATNEY A. B.; MENDONÇA-SANTOS, M. de L.; SANTOS H. G. dos. Revisão sobre funções de pedotransferência (PTFs) e novos métodos de predição de classes e atributos do solo. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2003. 50 p. (Embrapa Solos. Documentos; n. 45).
- BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; CAMP, C. R.; SOJKA, R. E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.43, n.2, p.205-217, 1997.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society America Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994.

- CARDOSO, T. F.; SOARES, J. C. W.; RUVIARO, C.; RAUBER, J. 2016. **Variabilidade espacial da estrutura de um Neossolo Regolítico eutrófico, sob campo nativo**. In: XI Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo: Qualidade do Solo & Ambiente de Produção. Frederico Westphalen, RS. 3p. <http://www.sbcs-nrs.org.br/rsbcs/docs/trab-1-7306-327.pdf>
- CARVALHO, L. C.; MEURER, I.; SILVA JUNIOR, C. A.; CAVALIERI, K. M. V.; SANTOS, C. F. B. Dependência espacial dos atributos físicos de três classes de solos cultivados com cana-de-açúcar sob colheita mecanizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.9, p.940–949, 2011.
- COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Qualidade física do solo na produtividade do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.41, p.1663-1674, 2006.
- CORÁ, J. E.; BERVALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v.26, n.2, p.374-387. 2006.
- DE VOS, B.; VAN MEIRVENNE, M.; QUATAERT, P.; DECKERS, J.; MUYS, B. Predictive quality of pedotransfer functions for estimating bulk density of forest soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 69, n.2, p. 500-510, Mar. 2005.
- DONAGEMA, G. K. et al. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).
- ENVIROMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Using ArcGIS geoestatistical analyst**. Redlands, 2016. Disponível em <http://www.esri.com>
- IMHOFF, S.; SILVA, A. P. da; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, jul. 2000.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapa de biomas do Brasil: primeira aproximação. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro: **IBGE**, 2004.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. An introduction to applied geoestatistics. **Oxford University Press**, New York, p.278,1989.
- JOURNAL, A. G.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics**. London: Academic Press, 1978. 600p.
- KAHN, K. B. Benchmarking Sales Forecasting Performance Measures. **The journal of Business Forecasting Methods & Systems**, v.17, n.4, p.19-23, winter 1998/1999.
- KAISER, D. R. **Estrutura e água em argissolo sob distintos preparos na cultura do milho**. 2010. 150 f. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; SILVA, S. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos químicos do solo em área de vegetação natural em regeneração. **Revista Árvore**, Viçosa, v.34, n.1, p.127-136, 2010.
- MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.8, n.1, p.141-150, 2000. ISBN 0104-1347.
- MARCOLIN, C. D. **Uso de funções de pedotransferência entre atributos físicos de solos sob plantio direto**. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2009. 187p. Tese Doutorado.
- MATERECHERA, S. A.; DEXTER, A. R. & ALSTON, A. M. Penetration of very strong soils by seedling of different plant species. **Plant and Soil**, v.135, p.31-41, 1991.

- MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, v.58, p.1246- 1266, 1963.
- McBRATNEY, A. G.; WEBSTER, A. G. Choosing functions for semi-variograms and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, v.37, p.617- 639, 1986.
- MELLO, J. M.; BATISTA, J. L. F.; RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; OLIVEIRA, M. S. Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n. 69, p. 25-37, 2005.
- MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLACO, A. F. Agricultura de precisão. São Paulo: **Oficina de Textos**, p. 111, 2015.
- MOREELS, E.; DE NEVE, S.; HOFMAN, G.; VAN MEIRVENNE, M. Simulating nitrate leaching in bare fallow soils: a model comparison. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 67, n. 2, p. 137-144, Feb. 2003.
- NESMITH, D. S. Soil compaction in double cropped wheat and soybean on Ultissol. **Soil Science Society o. American Journal**, Madison, v.51, p.183-186, 1987.
- RAIJ, B. V. et al. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. São Paulo: **Instituto Agrônomo de Campinas**, 2001. 285p.
- RAMIREZ-LOPEZ, L.; REINA-SANCHEZ, A.; CAMACHO-TAMAYO, J. H. Variabilidad espacial de atributos físicos de un Typic Haplustox de los Llanos Orientales de Colômbia. **Engenharia Agrícola**, v.28, p.55-63, 2008.
- REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HÅKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v.102, p.242–254, 2009.
- RIBON, A. A.; TAVARES FILHO, J. Estimativa da resistência mecânica à penetração de um Latossolo Vermelho sob cultura perene no norte do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32 n.5 Viçosa set./out. 2008.
- SILVA, A. P. da; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 1 – 10, 2008.
- SILVA JÚNIOR, J. F. da. **Simulação geoestatística e classificação numérica para o delineamento de unidade de mapeamento de atributos e erosão do solo**. 2014. 111p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2014.
- SILVA, V. R. da. **Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação**. 2003. 171 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Biodinâmica do solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, v.34, p.755-760, 2004.
- STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. do; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. Solos do Rio Grande do Sul. 2 ed. Porto Alegre: **EMATER/RS - ASCAR**, 2008. 222 p.
- TAYLOR, H. M. & GARDNER, H. R. Penetration of cotton seedlings taproots as influenced by bulk density, moisture content and strength soil. **Soil Science**. Baltimore, v.96, p.153-156, 1963.
- TAYLOR, H. M.; ROBERTSON, G. M. & PARKER, J. J. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v.102, p.18-22, 1966.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; WADE, M. K.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.38, n.1, p.45-94, 1985.

VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um latossolo roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v.56, n.1, p.181-190, 1997.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (ed.) Applications of soil physics. **Academic Press**, New York, 1980.



## RELAÇÃO DA INCIDÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS COM A RESISTÊNCIA DE UM NITOSSOLO VERMELHO

### *Relationship between weed plant incidence with resistance of Oxisol red*

Bianca Oliveira Machado<sup>1</sup>, Carlos Ribeiro dos Santos<sup>2</sup>, David Peres da Rosa<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Rodovia RS 135 Km 25  
Distrito Eng. Luiz Englert, 99170-000, Sertão – RS, Brasil, [bioliveiramachado@hotmail.com](mailto:bioliveiramachado@hotmail.com),  
[carlosdiegoribeirodosantos@hotmail.com](mailto:carlosdiegoribeirodosantos@hotmail.com)

<sup>3</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Rodovia RS 135 Km 25  
Distrito Eng. Luiz Englert, 99170-000, Sertão – RS, Brasil, [david.darosa@sertao.ifrs.edu.br](mailto:david.darosa@sertao.ifrs.edu.br)

### RESUMO

O experimento teve como objetivo relacionar a incidência de plantas daninhas em seus diferentes grupos de plantas, com a resistência mecânica do solo à penetração. O experimento foi realizado em uma área de 3,45ha, foi realizada a coleta das informações em uma grade amostral de 34 pontos, amostrado em um Nitossolo Vermelho sob sistema plantio direto. Foi mensurado a resistência mecânica do solo à penetração (RP) e incidência de plantas daninhas monocotiledôneas e dicotiledôneas. A RP variou ao longo do perfil, no entanto, não foi encontrado valor restritivo (< 2000 kPa) até os 20cm profundidade. A umidade variou na área, sendo que onde teve menor RP teve maior umidade, e, por sua vez, nas áreas com menor RP teve maior fluxo de plantas daninhas mono e dicotiledôneas, demonstrando desta forma uma relação entre esta propriedade física com a incidência de plantas daninhas.

**Palavras-chave:** Atributos do solo. Dinâmica populacional. Variabilidade espacial.

### ABSTRACT

The aim of this experiment it was relate the incidence of monocotyledonous and dicotyledonous weeds, with mechanical resistance penetration of the soil. The experiment it was conducted in an area of 3.45 ha, and it was sampled in a grid of 34 points, in a Red Nitosol under no - tillage system. The mechanical resistance of the soil the penetration (RP) and the incidence of monocotyledonous and dicotyledonous weeds were measured. The RP varied throughout the profile, however, no restrictive value (<2000kPa) it was found in the area up to 20cm depth. Humidity varied in the area, where in the lower RP it had higher humidity, and, in turn, in the areas with lower RP had a higher flow of mono and dicotyledonous weeds, thus demonstrating a relation between this physical property and the incidence of weeds.

**Keywords:** Soil attributes. Population dynamics. Spatial variability.

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão utiliza de práticas que podem ser desenvolvidas em diferentes níveis de complexidade e com diferentes objetivos. Essas ferramentas ajudam tornar as práticas agropecuárias cada vez mais precisas e com decisões acertadas para o melhor gerenciamento da unidade produtiva (MAPA, 2013). No Brasil, há um enfoque no uso dessa tecnologia para a aplicação de fertilizantes e corretivos em taxa variável, entretanto pode ser considerada a variabilidade espacial das lavouras em todos os seus aspectos. Neste ponto, o estudo da dinâmica populacional das plantas daninhas é uma ferramenta importante para os sistemas produtivos, uma vez que, não controladas, podem causar grandes prejuízos ao sistema (NAGAHAMA et al., 2014). Cruz et al. (2010) destacam que a identificação de plantas daninhas possibilita realizar o manejo de forma correta, sendo que cada espécie apresenta diferentes potenciais de estabelecimento na área e sua competitividade pode interferir diferentemente entre as diferentes culturas. Braga et al. (2012) acrescenta que o conhecimento das espécies vegetais em determinado local pode indicar a condição desse ambiente.

O preparo do solo, além de propiciar melhores condições de semeadura visa controlar plantas daninhas, pragas e doenças e, bem como, melhorar as condições físicas do solo

(PEDROTTI et al., 2001), buscando principalmente maior infiltração da água e aeração e redução da resistência mecânica do solo à penetração (RP). A RP é uma das propriedades físicas mais adotadas como indicativo da compactação do solo, tendo relação direta com o crescimento das plantas. O processo de compactação de solos agrícolas é resultado das interações máquina-solo que influenciam as propriedades físicas e biológicas do solo, afetam o crescimento, refletindo na redução da produtividade das plantas (SILVA et al., 2000). Indiretamente, este processo afeta a infiltração e a condutividade de água, a temperatura e aeração do solo, propriedades que são relacionadas com o estabelecimento do banco de sementes de plantas daninhas do solo, assim, a emergência das espécies terá maior intensidade de acordo com as características específicas de cada solo.

Os estudos das interações entre plantas daninhas e as propriedades físicas do solo, podem proporcionar o entendimento da identificação e do impacto que os sistemas de manejo agrícola causam sobre o crescimento e ocupação das plantas cultivadas e as disputas com as comunidades nativas de plantas daninhas. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a interação das plantas daninhas emergentes em resteva de milho, com a resistência a penetração do solo.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo se localiza na área de produção do Instituto Federal de Educação, Ciência, e Tecnologia do Rio Grande do Sul - *Campus Sertão*, em um Nitossolo Vermelho Distroférrico (STRECK et al., 2008). A região segundo a classificação de Köppen é caracterizada pelo clima subtropical úmido (Cfa). A área experimental de 3,45 ha, manejada sob sistema de plantio direto com cultivo de milho na última safra, sendo cultivado após com um consórcio de aveia e centeio destinado para pastejo.

Para qualificação do experimento foi mensurado a incidência de plantas daninhas e resistência mecânica do solo à penetração (RP), ambas pelo método de amostragem em grade ("grid") de 34 pontos amostrais, os quais foram gerados através do software CR Campeiro 7, versão 2016 e marcados à campo com um equipamento de GNSS Garmin® modelo Etrex®.

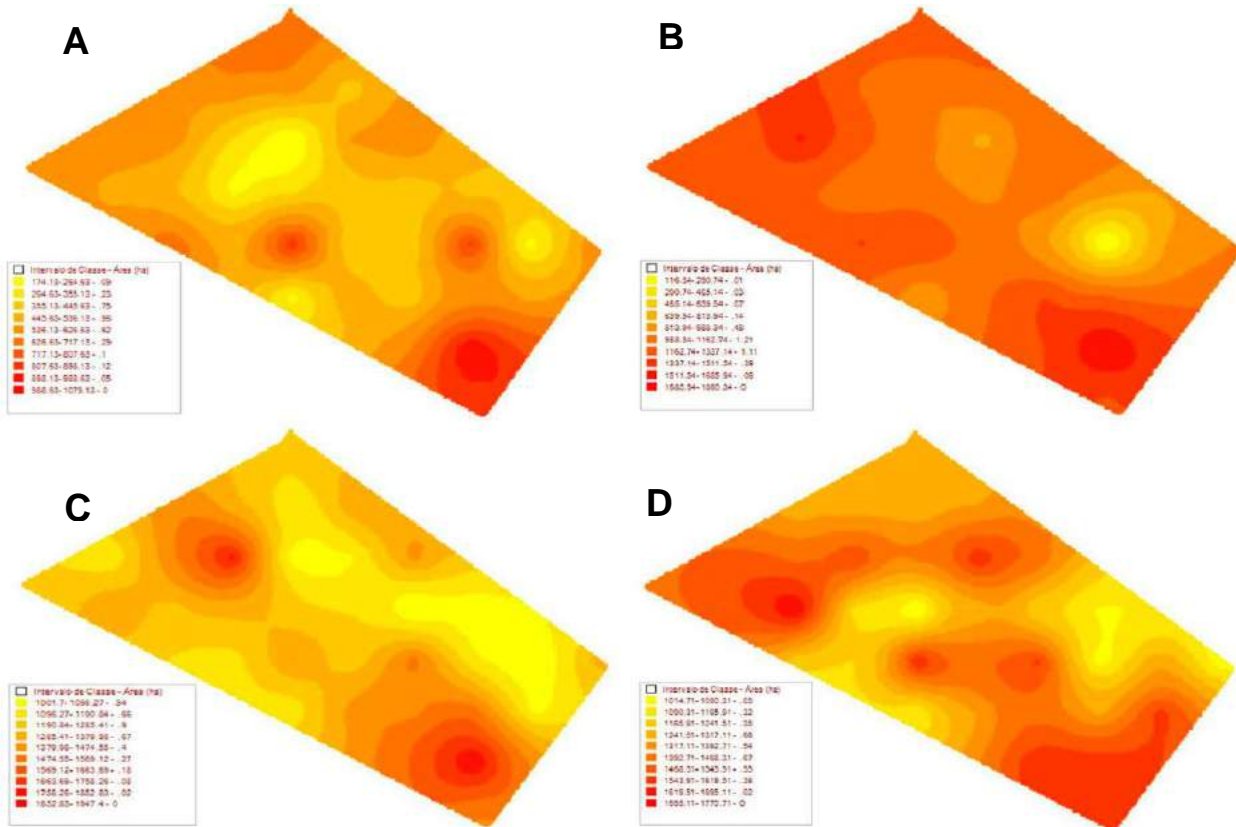
O mapeamento das plantas daninhas, também denominado de flora emergente foi realizado nos pontos de amostragem sendo contadas as plantas daninhas emergidas e quantificadas por espécie em uma área amostral de 1m<sup>2</sup>. Já para RP, foi utilizado um penetrômetro digital Falker® com armazenamento digital de dados a cada 1 cm de camada, sendo que após a coleta de campo, os dados foram separados em camadas de 0-5cm, 5-10 cm, 10-15 cm e 15-20 cm, estas em função da variação existente deste dado ao longo do perfil. Em relação a umidade, o método usado para análise das amostras foi o convencional (gravimétrico), o qual exige coletas mecânicas até 20 cm de profundidade, fazendo-se uso de trado de rosca e células de acondicionamento do material, pesagem e secagem em estufa a 105 ± 3 °C por 24 h, conforme EMBRAPA (1997).

A confecção dos mapas foi realizada pelo software CR Campeiro 7® – versão 2016 com interpolação pelo método de "krigagem" e anexação dos dados para construção dos mapas, para correlação posterior da variável resistência à penetração do solo.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

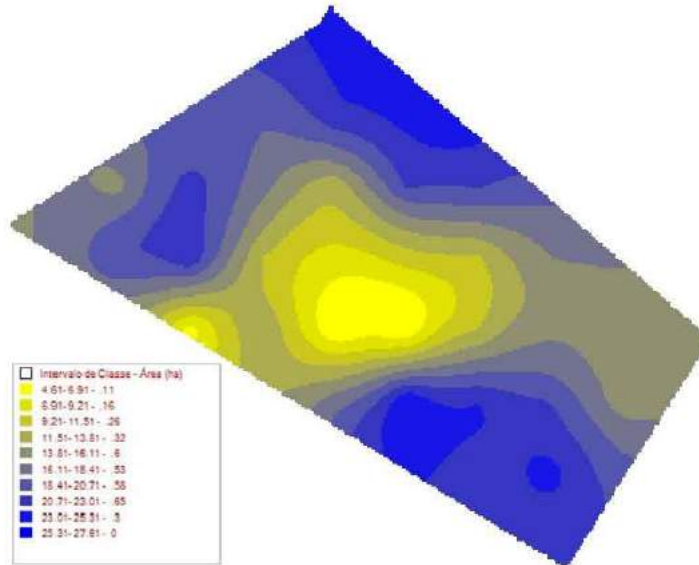
Os dados de resistência à penetração (RP) são apresentados na figura 1, na qual percebe-se que há diferenças importantes entre as camadas avaliadas, na camada de 0-5cm variou de 170 kPa até 874 kPa, na camada de 5-10cm de 774 kPa à 1688 kPa, para 10-15cm esteve entre 997 kPa à 1874 kPa e para 15-20cm há a variação de 1010 kPa até 1622 kPa.

Figura 1 - Mapas de isolinhas da resistência mecânica do Nitossolo Vermelho à penetração do solo (kPa) nas camadas: A) 0-5 cm; B) 5-10 cm; C) 10-15 cm; D) 15-20 cm.



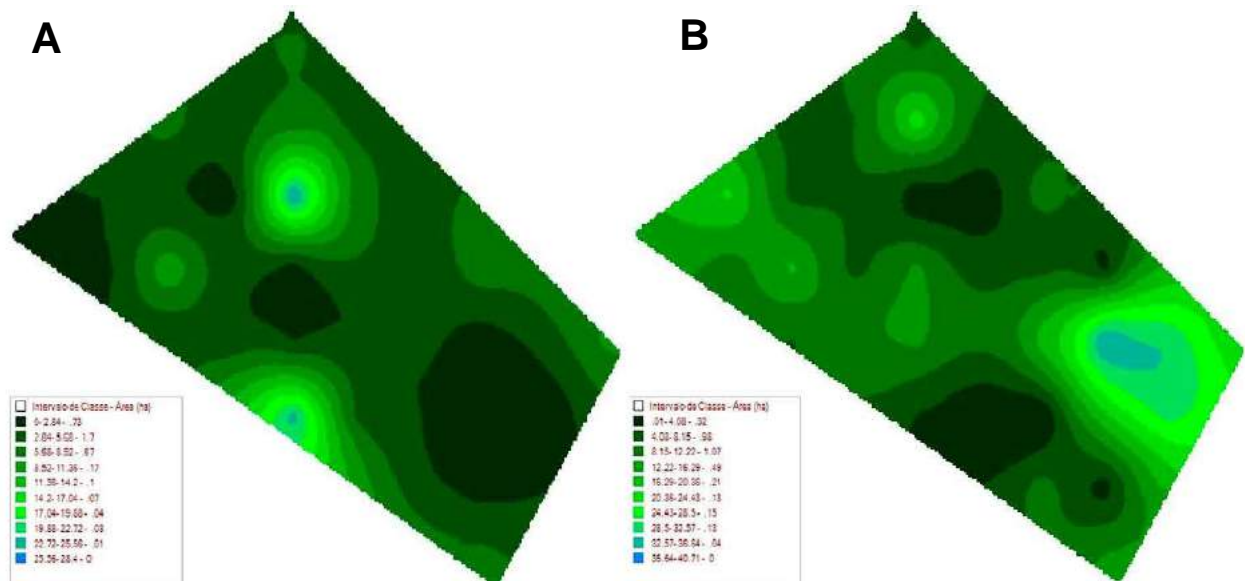
Esses dados não ultrapassaram 2000 kPa que segundo Taylor et al. (1966) é considerado valor crítico no desenvolvimento da maioria das culturas. Os maiores valores de RP encontram-se na camada de 10-15 cm, entretanto na profundidade de 5-10 cm aproximadamente 80% da área, apresenta valores superiores a 1000 kPa. Genro Junior et al. (2004) explicam que o maior estado de compactação no solo sob sistema plantio direto está próximo aos 0,10 m de profundidade, o que pode explicar esta situação. No entanto, deve-se considerar que a RP possui relação potencial com a umidade do solo, pois como citado por Collares et al. (2006) o teor de água controla a aeração, a temperatura e a resistência mecânica do solo, as quais são afetadas pela densidade do solo e distribuição do tamanho de poros. O teor de água (Figura 2) variou de 4,6% a 27%, na profundidade coletada de 0-20 cm, demonstrando heterogeneidade na área. Abaixo de 10% deste teor há limitação dos processos de respiração radicular e das trocas gasosas no solo (GRABLE & SIEMER, 1968), deste modo, leva a concluir que as variações do teor de água do solo podem estar ligadas aos níveis de compactação impostos e aos ciclos de umedecimento e secagem, que são consequentes das precipitações e estiagens porque nos pontos em que a umidade do solo estava maior, os valores de RP foram maiores, independente da profundidade.

Figura 2 – Mapa de isolinhas do teor de água do Nitossolo Vermelho sob plantio direto na profundidade de 0-20 cm.



As diferenças de incidência de plantas daninhas monocotiledôneas e dicotiledôneas entre as diferentes camadas e resultados de RP são observadas na figura 3A e B.

Figura 3 – Mapa de isolinhas da incidência de monocotiledôneas (A) e dicotiledôneas (B) na área.



Assim como Chiba et al. (2010) observaram a distribuição espacial definida para os grupos de folhas largas e folhas estreitas, quanto as plantas daninhas monocotiledôneas foram obtidas relações de maior incidência em áreas com menor resistência a penetração, já para dicotiledôneas a maior incidência também está em áreas com valores de resistência a penetração menores, demonstrando uma relação entre as propriedades. Isto contradiz Whiteley & Dexter (1982), que cita que as culturas com raízes pivotantes, como as dicotiledôneas, são

mais afetadas pela compactação que aquelas com raízes fasciculadas mais finas, as monocotiledôneas. Pode-se inferir que 60% das plantas daninhas estão em locais com menor RP, que corresponde a aproximadamente 5% de toda a área.

O sistema de plantio direto pode provocar modificações que alteram as condições físico-químicas, o que afetou a dinâmica das plantas invasoras, haja visto que na camada superior há maior variação térmica (GAZZIERO et al., 2001) e a umidade, conforme é visualizado na figura 2, em camada é maior, influenciando a germinação de algumas espécies, como exemplo gramíneas e dicotiledôneas de sementes pequenas que tendem a ter menor quebra de dormência quando há menor variação térmica.

## 4 CONCLUSÃO

Há relação entre a emergência das diferentes classes de plantas daninhas (monocotiledôneas e dicotiledôneas) com a resistência a penetração do solo, demonstrando que quanto menor a resistência maior o fluxo de plantas daninhas.

## REFERÊNCIAS

- CHIBA, M. K.; GUEDES FILHO, O.; VIEIRA, R. S. Variabilidade espacial e temporal de plantas daninhas em Latossolo Vermelho argiloso sob semeadura direta. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, p. 735742, 2010.
- COLLARES, Gilberto Loguércio et al. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 11, p. 1663-1674, 2006.
- CRUZ, Diego Lima et al. Levantamento de plantas daninhas em área rotacionada com as culturas da soja, milho e arroz irrigado no cerrado de Roraima. **Revista Agroambiente On-line**, v. 3, p. 58-63, 2010.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPq, 1997. 212p.
- GAZZIERO, Dionísio Luiz Pisa et al. As plantas daninhas e a semeadura direta. **Londrina: Embrapa Soja**, p. 59, 2001.
- GENRO JUNIOR, S.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.477-484, 2004.
- GRABLE, A.R.; SIEMER, E.G. Effects of bulk density aggregate size and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. **Soil Science Society of America Journal**, v.32, p.18-186, 1968.
- MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). **Agricultura de precisão**. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. Brasília: Mapa/ACS, 2013. 36 p. Disponível em: <www.agricultura.gov.br/>. Acesso em: 11/08/2017.
- NAGAHAMA, H. J. et al. Dynamics and spatial variability of weeds under soil tillage systems in forage sorghum. **Planta Daninha**, v. 32, p. 265-274, 2014.
- PEDROTTI, A. et al. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 521-529, 2001.

BRAGA, R. R. et al. Ocorrência de plantas daninhas no sistema lavoura-pecuária em função de sistemas de cultivo e corretivo de acidez. **Revista Ceres**, v. 59, p. 646-653, 2012.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. UFRGS: EMATER/RS-ASCAR, 2008.

SILVA R.V.; REINERT J. D.; REICHERT M. J. Suscetibilidade à compactação de um latossolo vermelho-escuro e de um Podzólico Vermelho-amarelo. Seção I- Física do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 239-249, 2000.

TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M.; PARKER, J.J. Soil strengthroot penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, v.102, p.18-22, 1966.

WHITELEY, G. M.; DEXTER, A. R. Root development and growth of oilseed, wheat and pea crops on tilled and non-tilled soil. **Soil and Tillage Research**, v. 2, p. 379-393, 1982.

## VARIABILIDADE DA PRODUÇÃO DE PALHA E SEU EFEITOS NA PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS

### *Variability of straw production and its effects on the productivity of cultures*

Pedro Felipe Brum de Bastos <sup>1</sup>, Antônio Luis Santi <sup>2</sup>, Diandra Pinto Della Flora <sup>3</sup>, Renata Candaten <sup>4</sup>, Taiana Cezar Milani <sup>5</sup>, Eduardo Somavilla Manfio <sup>6</sup>, Henrique Luiz Santi Schmatz <sup>7</sup>

<sup>1,2,3,6</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Linha 7 de setembro s/n, 98400-000, Frederico Westphalen – RS, Brasil, [pedroffb@hotmail.com](mailto:pedroffb@hotmail.com), [santi\\_pratica@yahoo.com.br](mailto:santi_pratica@yahoo.com.br), [diandradellaflora@gmail.com](mailto:diandradellaflora@gmail.com), [eduardomanfio99@gmail.com](mailto:eduardomanfio99@gmail.com)

<sup>4</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Linha 21 de abril, 98400-000, Frederico Westphalen – RS, Brasil, [renatacandatten@outlook.com](mailto:renatacandatten@outlook.com)

<sup>5</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Rua Garibaldi 255, 98400-000, Frederico Westphalen – RS, Brasil, [taiana\\_milani@hotmail.com](mailto:taiana_milani@hotmail.com)

<sup>7</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Esquina Bender Interior, 98595-000, São Valério do Sul – RS, Brasil, [henriquesanti777@gmail.com](mailto:henriquesanti777@gmail.com)

### RESUMO

O sistema de plantio direto está alicerçado em princípios como, o não revolvimento do solo, rotação de culturas, semeadura em nível, utilização de práticas agrícolas complementares como as curvas de níveis e manutenção de uma cobertura de palha sobre o solo. Entretanto ao longo dos anos as práticas de rotação de culturas e a manutenção da cobertura dos solos, estão limitadas a monocultura da soja e do trigo. Nos últimos anos tem-se intensificado a prática da rotação de culturas ao longo das áreas produtivas do Brasil, o que contribuiu nos aumentos da produtividade das culturas da soja e do milho, juntamente com as demais práticas e com o melhoramento genético. Esta prática favorece também a manutenção dos biopóros no solo, e principalmente ao aumento do teor de matéria orgânica do solo, o que muitos trabalhos tem apontado como sendo o determinante para altas produtividades, sendo as maiores produtividades encontradas em áreas com os altos teores de matéria orgânica. Neste sentido o estudo da variabilidade da produção de palha ao longo dos talhões e de suma importância visto que é a primeira entre outras estratégias que se pode lançar mão a fim de diminuir a variabilidade da qualidade do solo ao longo da área.

**Palavras-chave:** Plantio direto. Variabilidade da palha. Produtividade das culturas.

### ABSTRACT

The no-till system is based on principles such as the tickler not soil, crop rotation, seeding level, use of complementary agricultural practices as the curves of levels and maintaining a cover of straw on the ground. However over the years the practice of crop rotation and the maintenance of soil cover, are limited to monoculture of soybean and wheat. In recent years has intensified the practice of crop rotation along the productive areas of Brazil, which contributed in crop productivity increases in soya and maize, along with other practices and with the genetic improvement. This practice also favours the maintenance of biopóros in soil, and especially the increase in soil organic matter content, which many studies have pointed to as being the determinant for high yields, being the largest productivity found in areas with high levels of organic matter. In this sense the study of variability of the straw over the production sites and of the utmost importance since it is the first among other strategies you can use in order to reduce the variability of soil quality throughout the area.

**Keywords:** Zero tillage. Variability of straw. Productivity of cultures.

### INTRODUÇÃO

A partir do surgimento do sistema de plantio direto (SPD) em meados da década de 1970 no Brasil, os agricultores vem investindo em técnicas de conservação do solo, sendo este considerado até hoje como um modelo mundial para a conservação dos solos agrícolas. Além da premissa básica do não revolvimento do solo, foram empregadas técnicas de cultivos alicerçadas na rotação de culturas, cultivo em nível e terraceamento (SANTI, et al., 2015).

A monocultura soja – trigo, praticadas ao longo dos anos sem rotação de culturas e plantas

de cobertura, acaba por causar redução na qualidade do solo, tanto física, através da compactação, como química, pela redução da fertilidade do solo, mesmo com o complemento da adubação mineral. Como consequência do manejo inadequado no sistema de plantio direto, tem-se problemas como compactação, perda na estrutura do solo, baixos teores de matéria orgânica, e presença de pouca quantidade de palha na superfície, o que favorece problemas como a erosão, e o aumento na variabilidade espacial da ciclagem de nutrientes.

Neste sentido a rotação de culturas, principalmente com plantas de cobertura no inverno, tornou-se uma estratégia importante, pois além da incorporação de palhada na superfície e na ciclagem de nutrientes (Teixeira, 2011), minimizando os efeitos da erosão, os diversos sistemas radiculares presentes na área favorecem a descompactação natural dos solo, através da produção de biopóros e da estruturação que as raízes são capazes de promover, favorecendo também a capacidade do solo na disponibilidade de água para as plantas. Vários autores destacaram sua importância, como por exemplo, a aveia preta, que pode chegar em determinadas situações a um fornecimento de 90 a 199 Kg há<sup>-1</sup> de potássio através da ciclagem (Borkert et al., 2003). Teixeira et al., (2012), verificaram que a cobertura do solo com sorgo e milho, proporcionou uma liberação gradativa dos nutrientes após serem manejado, em comparação ao pousio, que liberou logo após o manejo quase toda sua quantidade de macronutriente, observaram que 13 dias após o manejo da área todo o nitrogênio do pousio já avia sido liberado, em comparação o milho e o sorgo está liberação estendeu-se por 103 e 72 dias respectivamente.

No entanto a variabilidade espacial na distribuição da palha na área, pode ser um fator a ser levado em consideração, pois a má distribuição da palhada em superfície ao longo da área, acarreta na má distribuição dos nutrientes reciclados, ou seja as áreas que produzem uma alta quantidade de matéria seca, são as que tem maior aporte de nutrientes por meio da adubação verde. Neste sentido o objetivo desta revisão está direcionado a discussão da variabilidade de distribuição da palhada no solo e seus efeitos no desenvolvimento e produtividade das culturas em sucessão.

## O PROBLEMA DA VARIABILIDADE NA PRODUÇÃO DE PALHA

A variabilidade da produção de palha pode estar ligado a atributos físicos, químicos e biológicos do solo, sendo que o monitoramento desta é fundamental a fim de definir estratégias de manejo para estas áreas. Com o auxílio de ferramentas geoespaciais também é possível o monitoramento de aspectos ligados à conservação do solo, embora isso seja pouco estudado e emergente quando se trata de agricultura de precisão. Uma das grandes possibilidades é o monitoramento da produção de palhada em todos os talhões da fazenda (SANTI, et al., 2015).

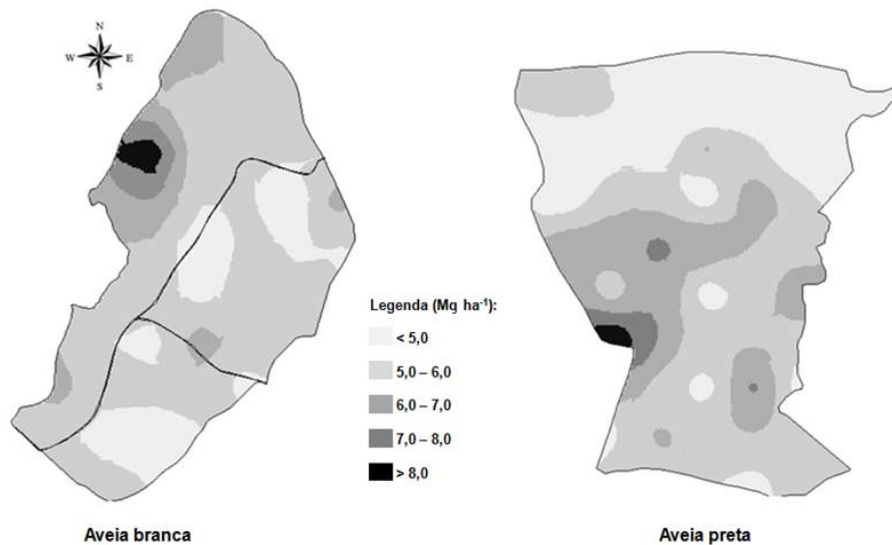
A produção de massa pelas culturas em áreas com fertilidade natural do solo maior, consequentemente é maior em comparação com as áreas de menor fertilidade, favorecendo assim para que em áreas de baixa fertilidade se não manejadas adequadamente, respondam pouco a utilização de plantas de cobertura, privilegiando assim as áreas de maior fertilidade, tendo em vista que quase a totalidade das lavouras as plantas de cobertura são implantadas sem a utilização de fertilizantes. Santi et al., (2015), sugerem a hipótese de que a variabilidade espacial dos nutrientes no solo podem ser afetados em maior grau pelas plantas de cobertura durante o inverno, em relação aos cultivos de verão, principalmente devido ao fato de não haver extração de nutrientes no inverno, causando assim, uma amplitude maior na ciclagem de nutrientes que no verão o qual visa a produção de grãos. Além da questão nutricional, a falta de palhada em alguns locais pode favorecer a erosão e a compactação do solo, como observado por Rosim et al., (2012), onde verificaram que o aumento da palhada na superfície do solo, além de proporcionar a manutenção de um maior teor de umidade no solo, proporcionou menor compactação em relação a locais com baixa quantidade de palhada submetido ao tráfego de máquinas.

Em relação a variabilidade de produção de massa seca de aveia preta e aveia branca, pode ser visualizado na Figura 1, a variação de 4,0 a 9,0 Mg ha<sup>-1</sup> para a aveia preta e de 3,0 a 10,0 Mg ha<sup>-1</sup> para a aveia branca, com a média para as duas culturas ficando em torno de 5,0 e 6,0 Mg ha<sup>-1</sup>. Já em relação a ciclagem de nutrientes, pode ser visualizado na Figura 2, uma variação na ciclagem de potássio de 90 a 150 Kg ha<sup>-1</sup> e para fósforo de 8 a 14 Kg ha<sup>-1</sup> (SANTI,



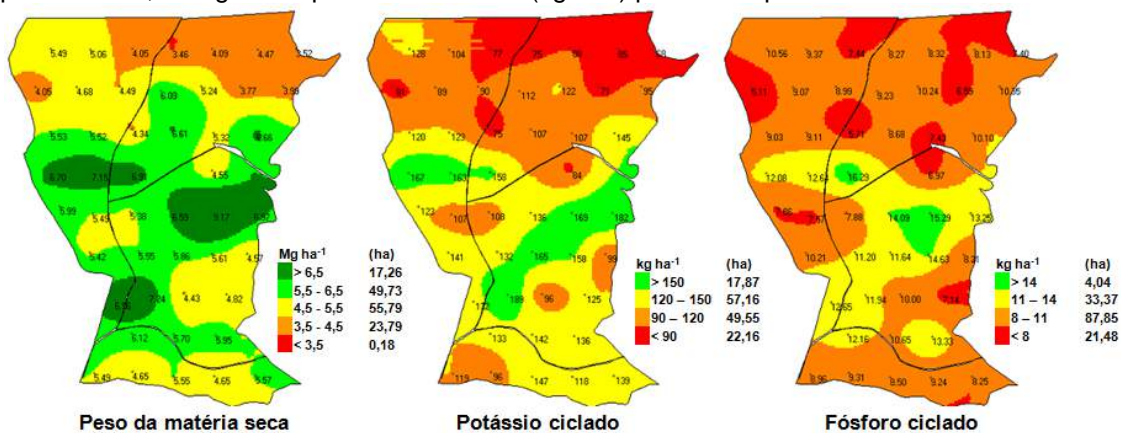
et. al., 2015).

Figura 1 – Mapa temático da variabilidade espacial da produção de matéria seca ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) de aveia branca e aveia preta.



Fonte: SANTI, et. al., 2015.

Figura 2 – Mapa temático da variabilidade espacial da produção de matéria seca ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) e, consequentemente, ciclagem de potássio e fósforo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) pela aveia preta.



Fonte: SANTI, et. al., 2015.

## QUALIDADE DO SISTEMA SOLO X PRODUÇÃO DE PALHA

Um dos requisitos para um sistema agrícola de qualidade refere-se a produção de palha, no qual está associado também ao sistema de plantio direto que pressupõe o mínimo revolvimento do solo, cobertura permanente e a rotação de culturas. Essa cobertura permite que ocorra um impacto menor das gotas da chuva, reduz o escoamento superficial evitando drasticamente a erosão, permitindo também maior ciclagem de nutrientes e menor incidência de plantas daninhas (HECKLER; SALTON. 2002).

A quantidade e a qualidade da palhada existente no solo podem servir como referência para retratar as condições do sistema de plantio direto que está sendo utilizado. Dentro de uma mesma lavoura pode-se encontrar variados níveis de palhada, os quais necessitam de um manejo

diferenciado, de maneira que podem refletir na próxima cultura a ser implantada, resultando em qualidade ou degradação deste solo.

Quanto maior for a biomassa das plantas de cobertura e a diversidade de organismos que são considerados excelentes bioindicadores de qualidade do solo, maior será a interferência na aeração e na resistência mecânica do solo, assim como melhor serão as condições física – redução do impacto das gotas de chuva, diminuição de erosão e compactação do solo, maior infiltração e retenção de água e menor variação da temperatura do solo; química – aumento do teor de húmus no solo, enriquecimento de nutrientes variados e maior reciclagem dos mesmos; e biológicas – aumento da atividade de microrganismos benéficos no solo.

Segundo Campos et al. (1999), existe uma estreita correlação entre cobertura de solos e agregação e estabilidade do solo, o que ocorre devido à proteção que a cobertura exerce sobre o solo contra a ação direta das gotas de chuva, além de manter a umidade do solo e reduzir a amplitude térmica, o que, conseqüentemente, favorece o desenvolvimento da atividade microbiana e do sistema radicular, que por sua vez estimulam a agregação do solo.

Campos et al. (1999), observaram ainda que a utilização de gramíneas e leguminosas em rotação levam a uma maior agregação do solo, o que se deve à grande densidade de raízes das gramíneas, além de proporcionar maior infecção por micorrizas, maior liberação de exsudatos e maior decomposição da matéria orgânica.

Outras melhorias na qualidade do solo com o uso de plantas de cobertura foi relatado por Veronese et al. (2012), onde, ao utilizar braquiária e milho em rotação com a soja, associado à calagem a 20 cm de profundidade, observaram melhoria nos parâmetros de acidez do solo e na disponibilidade e ciclagem de fósforo no sistema de produção, além de um conseqüente aumento na produtividade de grãos.

A quantidade de palhada no solo pode interferir diretamente nos processos físicos, químicos e biológicos, sendo de grande importância para a conservação e também para que a planta chegue próximo a seu potencial máximo (SANTI et al., 2015). A utilização de ferramentas de agricultura de precisão como mapas de produtividade de grão e produção de palhada podem servir como base para o correto manejo dessas plantas de cobertura.

## **ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE PALHA COM FERRAMENTAS DA AP**

A Agricultura de Precisão (AP) apresenta algumas ferramentas para a determinação indireta da quantidade de matéria seca, como por exemplo o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada). Rissini, et al., (2015), observaram correlação positiva, na produção de massa seca de plantas de trigo com leituras de NDVI, assim como para o teor de N foliar. Estudos preliminares conduzidos pelo LAPSul em Frederico Westphalen, constataram que essa ferramenta é eficiente para estimativa da produção de massa seca para boa parte dos sistemas de plantas de cobertura testados (SANTI, et al., 2015). Bredemeier, et al., (2016), verificaram correlação positivas com as leituras de NDVI nos estádios fenológicos de V4 e V6 de plantas de milho com a produtividade final de grãos.

Para determinação do NDVI, podem ser utilizados satélites ou equipamentos de fácil manuseio, entre os mais utilizados, estão o GreenSeeker (Trimble), CropCircle (Holland Scientific) e o OptRx (Ag Leader). A determinação do NDVI, pode ser realizada também com o auxílio de VANTS ou DRONES, o qual apresentou boa correlação com qualidade de pastagens em estudos realizados no Mato Grosso (LINHARES, 2016).

O uso do NDVI na estimativa da produção de matéria seca em plantas de cobertura foi estudado por Silva et al., (2015), em dez sistemas de plantas de cobertura, em consórcio ou solteiras, sendo que para seis delas as correlações foram positivas em relação ao índice de vegetação por diferença normalizada e a produção de massa seca das culturas; entretanto encontraram dificuldades de estimativa nos sistemas onde se fez uso de consórcio de plantas, observaram também que a partir do florescimento as leituras ficaram prejudicadas.

O uso do NDVI e de outras ferramentas facilita e agiliza o processo de tomada de decisões referente ao manejo das áreas. Devido à fundamental importância da palhada no plantio direto, sua quantificação e o estudo de sua variabilidade ao longo das áreas são informações relevantes

para determinação de estratégias de manejo das áreas. Pois de acordo com Damian, (2017), a variabilidade da produção e distribuição da palhada ao longo da área, tem ligação direta com a produtividade da soja, sendo que as áreas com maior produção de palha, foram as mesmas que apresentaram maior produtividade da cultura da soja, sendo esta produtividade fortemente influenciada pelo teor de matéria orgânica presente na área.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mesmo sendo uma das premissas básicas do SPD a rotação de culturas, manutenção e incremento constante de matéria seca (palhada) ao sistema, merece atenção pois apesar de ser uma prática relativamente simples, seu efeito em todo o sistema e nas condições químicas, físicas e biológicas do solo são complexas.

Não somente a quantidade de palha é fator limitante para melhoria na qualidade dos solo e conseqüentemente na produtividade das culturas, mas também sua distribuição homogênea ao longo da lavoura. Pois de acordo com Santi, et al., (2015), nenhuma tecnologia corrige o erro de manejo. Neste sentido as ferramentas de agricultura de precisão podem contribuir em determinar e compreender a variabilidade de produção de matéria seca pelas culturas ao longo da área, a fim de que se possa além de localizá-los na área através do georreferenciamento dos pontos, mas também determinar as causas desta variabilidade e traçar estratégias para homogeneizar a produção de massa dentro da lavoura.

## REFERÊNCIAS

BORKERT, et al. **Nutrientes minerais na biomassa de parte aérea em culturas de cobertura de solo**. Pesq. Agropec. bras. Vol.38, nº.1, Brasília, Jan. 2003.

BREDEMEIER, et al. **Classes de NDVI como ferramentas para recomendação de nitrogênio em Milho**. Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, UFG, Goiânia, GO. out. 2016.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; CASSOL, L. C. **Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para a cobertura do solo**. Revista Brasileira de Ciência do solo, Viçosa, MG, v. 23, n.2, p. 383-391, abr./jun. 1999.

DAMIAN, J. M. **Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para definição de zonas de manejo e monitoramento da variabilidade da sucessão aveia preta/soja**. Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Frederico Westphalen, 2017.

HECKLER, J.C.; SALTON, J. C. **Palha: Fundamento do Sistema Plantio Direto**. Embrapa Agropecuária Oeste. Dourados, MS. 2002.

LINHARES, M. M. A. **Uso de veículo aéreo não tripulado na determinação de índice de vegetação em área de pastagens em nova Mutum-MT**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Geografia. Goiânia, 2016.

RISSINI, A. L.; KAWAKAMI, J.; GENÚ, A. M. **Índice de vegetação por diferença normalizada e produtividade de culturas de trigo submetidos a doses de nitrogênio**. Rev. Bras. Ci. Solo, v.39, pg.1703-1713, 2015.

ROSIM, et al. **Compactação de um latossolo vermelho distroférico com diferentes**

**quantidades e manejos de palha em superfície.** Bragantia, Campinas, out. 2012.

SANTI, A. L. et al. **Cobertura permanente, estrutura do solo e a garantia de altos rendimentos.** Revista Plantio Direto, v. 142-143, p. 20-23, 2015.

SANTI, et al. **Taxa variada de palha: qual o investimento no sistema plantio direto?** Idem ed.149-150, dez. 2015.

SILVA, et al. **Uso de índice de vegetação na estimativa da produção de biomassa de plantas de coberturas do solo.** Enciclopédia Biosfera, Goiânia, v.11, nº.22, p. 2772-2780, 2015.

TEIXEIRA, et al. **Decomposição e ciclagem de nutrientes dos resíduos de quatro plantas de cobertura do solo.** Idesia, Vol. 30, nº. 1. Arica, Chile. Abr. 2012.

TEIXEIRA, et al. **Decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de plantas de milho e sorgo.** Ver. Bras. Ciência do Solo, Vol. 35, nº. 3, Viçosa, Mai/Jun. 2011.

VERONESE, M.; FRANCISCO, E. A. B.; ZANCANARO, L.; ROSOLEM, C. A. **Plantas de cobertura e calagem na implantação do sistema plantio direto.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.47, n.8, p.1158-1165, ago. 2012

## VARIABILIDADE ESPACIAL DA ACIDEZ POTENCIAL ESTIMADA PELO PH SMP EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO

### *Variability of potencial acidity estimated by ph smp in different crop systems*

Guilherme Guerin Munareto<sup>1</sup>, Júlio Cesar Wincher Soares<sup>2</sup>, Claiton Ruviano<sup>3</sup>, Daniel Nunes Krum<sup>1</sup>, Jessica Santi Boff<sup>1</sup>, Lenon Vaz<sup>1</sup>, Gustavo Lamana<sup>1</sup>, Nádia Mariane Mucha<sup>1</sup>, Thaylana da Rosa de Souza<sup>1</sup>, Guilherme Fávero Rosado<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Agronomia, Laboratório de Solos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI – Campus Santiago. Avenida Batista Bonoto Sobrinho, Santiago-RS, 97700-000. [guilhermemunareto@hotmail.com](mailto:guilhermemunareto@hotmail.com)

<sup>2</sup> Professor do curso de Agronomia. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI – Campus Santiago. Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000. [juliowincher@gmail.com](mailto:juliowincher@gmail.com)

<sup>3</sup> Professor Coord. Dr. do Curso de Agronomia. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI – Campus Santiago. Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago-RS, 97700-000. [ruviano@urisantiago.br](mailto:ruviano@urisantiago.br)

## RESUMO

O conhecimento da variabilidade das propriedades químicas do solo permite aumentar a precisão do manejo da fertilidade, a fim de suprir a necessidade das culturas. Nesse sentido, objetivou-se avaliar a variabilidade espacial da acidez potencial estimada pelo pH SMP em diferentes sistemas de cultivo. O trabalho foi realizado na fazenda escola da URI Campus Santiago, RS. Para a realização do estudo foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0,00-0,20 m em 52 pontos na área de Preparo convencional em grid com malha de 15x15 m e 23 pontos na área de Sistema Plantio Direto, em grid com malha de 14x14 m, nas quais avaliou-se: pH SMP, acidez potencial (H+Al) e a necessidade de calagem. Todas as variáveis apresentaram dependência espacial forte, indicando que o número de amostras foi suficiente para mapear a área em estudo, utilizando-se técnicas de geoestatística. O uso da mesma para elaboração dos mapas de isolinhas por krigagem permitem a visualização das zonas de manejo da fertilidade do solo onde pode-se fazer diagnósticos da recomendação de fertilizantes e corretivos de acordo com a variabilidade dos atributos químicos do solo.

**Palavras-chave:** Fertilidade química. Manejo e conservação do solo. Agricultura de precisão.

## ABSTRACT

The knowledge of the variability of the chemical properties of the soil allows to increase the precision of the management of the fertility, in order to supply the need of the cultures. In this sense, the objective was to evaluate the spatial variability of the potential acidity estimated by the SMP pH in different culture systems. The work was carried out at the school farm of URI Campus Santiago, RS. For the study, soil samples were collected at a depth of 0.00-0.20 m in 52 points in the area of conventional preparation in grid with mesh of 15x15 m and 23 points in the area of Direct Planting System, in grid with mesh of 14x14 m, where it was evaluated: pH SMP, potential acidity (H + Al) and the need for liming. All variables presented strong spatial dependence, indicating that the number of samples was enough to map the area under study, using geostatistics techniques. The use of the same to elaborate the maps of isolines by kriging allow the visualization of the zones of management of the fertility of the soil where it is possible to make diagnoses of the recommendation of fertilizers and correctives according to the variability of the chemical attributes of the soil.

**Keywords:** Chemical Fertility. Soil management and conservation. Precision agriculture.

## 1 INTRODUÇÃO

Vários fatores afetam a produtividade das culturas, dos quais encontramos as desordens na fertilidade química do solo, estas desordens podem estar associadas a valores restritivos de acidez ativa e potencial do solo.

A acidez do solo está relacionada com a baixa presença de cátions básicos no solo, refletindo em baixos valores de saturação de bases (V), representando a proporção de cátions básicos que ocupam a totalidade das cargas negativas existentes em um solo. Valores baixos de pH estão associados a baixos valores de V e altos valores de saturação por alumínio (Al). De acordo com o pH, ocorre a dissolução do Al da estrutura dos minerais para formas trocáveis e altamente fito tóxicas, quando menor o pH, maior será a dissolução (TIECHER et al, 2016).

A presença de alumínio em níveis elevados nos colóides do solo, culmina na restrição do crescimento radicular e decréscimos na quantidade de água disponível às plantas influenciam o rendimento das culturas e a eficiência de fertilizantes em conformidade com Delin e Berglund (2005).

Este Al quando ligado ao íon hidrogênio ( $H^+$ ) é constituída a acidez potencial ( $H+Al$ ), que pode ser estimada pelo método pH SMP pois há forte correlação entre ambos, como descrita na equação de Kaminski et al. (2001). A simplicidade do método auxilia na determinação da necessidade de calagem para manutenção da fertilidade do solo, devido ao equilíbrio entre a acidez do solo e a alcalinidade do tampão.

O Sistema de Plantio Direto (SPD) apresenta uma série de benefícios, tais como a maior retenção e infiltração da água no solo, redução da erosão e da perda de nutrientes por lixiviação e escoamento superficial. Retendo os resíduos vegetais na superfície, devido ao não revolvimento do solo, imitando assim os ecossistemas naturais, a estrutura do solo permanece adequada para o desenvolvimento radicular, como também, a temperatura e umidade e assim tornando a pedosfera mais favorável para a fauna do solo (PERDUE et al., 1989).

O sistema utilizado pelos primeiros agricultores do Rio Grande do Sul baseou-se na intensa mobilização do solo, objetivando oferecer condições ideais para a germinação das sementes, aumentando a velocidade do estabelecimento das culturas, reconhecido como preparo convencional (PC). Amado e outros (2003), salientou que o padrão de chuvas de longa duração e baixa intensidade, no clima temperado, restringe a ocorrência da erosão e favorece a infiltração. Já, as condições de relevo e o clima do Estado condicionaram o insucesso deste manejo drástico ao solo, o que, na década de 70, despertou severa degradação, limitando inclusive, a eficiência da aplicação de adubos e de corretivos por consequência das perdas por erosão (ANGHINONI, 2005).

A variabilidade espacial das propriedades químicas do solo pode ser estudada pela geoestatística, que trata de uma associação de técnicas aplicadas a variáveis regionalizadas, que definem a estrutura de dependência espacial de cada variável (VIEIRA, et al., 1983; VIEIRA, 2000; ZANÃO JÚNIOR et al., 2007; MARINS et al., 2008). Este conceito, além de considerar o valor de cada unidade amostral, também associa a posição geográfica em que cada uma se localiza, possibilitando que amostras próximas tenham valores mais semelhantes e sejam mais correlacionadas do que amostras mais distantes do ponto de referência (SILVA et al., 2003).

Assim sendo, o objetivo deste trabalho foi de avaliar a variabilidade espacial do pH SMP e da acidez potencial de NEOSSOLOS, sob cultivo da soja, comparando o preparo convencional e de sistema plantio direto numa região produtora de soja no vale do Jaguari-RS.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado em duas encostas (Catenas), da Fazenda Escola da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus Santiago, no Vale do Jaguari - RS.

Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante é o Cfa, subtropical úmido com precipitação excessiva em todos os meses do ano, satisfazendo uma precipitação anual de 1.919 mm; com temperatura média anual de 17,9 °C (MORENO, 1961).

O relevo por sua vez, exhibe feições de suave ondulado a ondulado, com altitudes que alcançam aproximadamente 394 metros.

As encostas em estudo são formadas por polipedons de NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Distróficos e NEOSSOLOS LITOLÍCOS Distróficos.

A descrição pedométrica foi realizada em uma encosta com preparo convencional (PC),

que anteriormente era ocupada por campo nativo, com mais de três décadas de estabelecimento e sem correções na fertilidade química. Nesta área, após o uso da grade aradora, com revolvimento do solo no período pré-plantio, foi realizada a amostragem em 52 pontos de prospecção de uma malha com intervalos regulares de 15 metros, na profundidade de 0,0 – 0,20 m, perfazendo uma área amostral de 1,17 ha.

Na encosta sob Sistema de Plantio Direto (SPD), a mais de dezessete anos, o procedimento amostral contou com 23 pontos de prospecção, na profundidade de 0,0 - 0,20 m, numa área de 0,15 ha, com malha regular de 14m. O SPD é constituído por rotação de culturas com adubação verde, manutenção da cobertura, reposição de nutrientes e outras práticas conservacionistas.

Para a alocação dos pontos foi empregado um receptor GNSS (Global Navigation Satellite System) Leica, modelo viva GS15, dupla frequência (L1/L2) e disponibilidade de RTK (Real Time Kinematic), utilizando o Datum horizontal SIRGAS 2000, zona 21 S.

Durante as prospecções foram coletadas amostras deformadas de solo. Em laboratório, para determinação do pH SMP, foi utilizada a solução tampão SMP, inicialmente sugerido por Shoemaker et al., (1961), posteriormente, o valor de H+Al foi predito conforme a equação estabelecida por Kaminski et al. (2001).

A necessidade de calagem foi determinada considerando um elevação do pH do solo para 6,0, valor considerado ideal para a cultura da soja, conforme Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS-RS/SC, 2016), também foi considerado um Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) de 100%.

A variabilidade das propriedades em estudo foi avaliada pela análise estatística descritiva, com normalidade dos dados testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de significância.

O Coeficiente de Variação (CV) foi classificado conforme Warrick e Nielsen (1980), considerando variabilidade baixa ( $CV < 12\%$ ); média ( $12\% < CV < 60\%$ ); e alta ( $CV > 60\%$ ).

A análise da dependência espacial foi realizada por meio da geoestatística, com o ajuste de semivariogramas teóricos considerando a Média dos Erros Preditos (M), Média dos Erros Padronizada (MS), Raiz Quadrada da Média do Erro ao Quadrado (RMS), Raiz Quadrada da Média dos Erros Padronizados ao Quadrado (RMSS) e Média da Variância dos Erros Padronizados (ASE). Os modelos que oferecem dados acurados precisam obedecer à premissa de que os valores de M e MS devem estar próximos de zero, e os valores em RMS, ASE e RMSS estejam próximos de 1 (ESRI, 2016). Através do ajuste de um modelo matemático aos dados, foram definidos os seguintes parâmetros: efeito pepita, patamar e alcance. Para isso, utilizou-se o software ArcGIS® 10.4.1.

O Grau de Dependência Espacial (GDE) foi classificado conforme Cambardella et al. (1994), onde a dependência espacial é fraca, quando a razão do efeito pepita for superior a 75 % do patamar, a dependência espacial moderada, quando a razão do efeito pepita for superior a 25 % e inferior ou igual a 75 % do patamar e a dependência espacial forte, quando a razão do efeito pepita for inferior ou igual a 25 % do patamar.

Posteriormente, no ArcGIS® 10.4.1 foram elaborados mapas utilizando um algoritmo preditor, a krigagem ordinário, que permitiu o maior detalhamento espacial dos fenômenos estudados, sendo de suma importância para a agricultura de precisão.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à análise estatísticas descritivas mostraram que todas as variáveis aderem à distribuição normal, conforme o teste de Kolmogorov-Smirnov, a 95% de significância (Tabela 1).

A análise estatística descritiva revelou que os valores para o Preparo Convencional (PC), de pH SMP variaram entre 4,70 a 5,90, possuindo média de 5,24. Já os valores de H+Al variaram de 4,90 a 19,47  $\text{cmol}/\text{dm}^{-3}$ , contendo a média de 10,91  $\text{cmol}/\text{dm}^{-3}$  e os valores de calagem variaram entre 3,70 a 13,30 ton/ha, com a média de 8,05 ton/ha (Tabela 1).

Para o Sistema Plantio Direto (SPD) o pH SMP variou entre 4,25 a 6,93, perfazendo a média de 5,02, tendo valores semelhantes com os encontrados por Martins (2013) e Almeida (2015), já para o H+Al a variação foi de 1,50 a 32,65  $\text{cmol}_c/\text{dm}^{-3}$ , com média de 15,13  $\text{cmol}_c/\text{dm}^{-3}$ , valores semelhantes aos encontrados por Pereira (2006). Por fim, a necessidade de calagem para esta encosta variou de 0,20 a 21,00 ton/ha, culminando em uma média de 10,68 ton/ha ( Tabela 1).

Tabela 1- Análises estatísticas descritivas e teste de normalidade das propriedades químicas de NEOSSOLOS, submetidos a diferentes sistemas de plantio.

Propriedade	Casos	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV (%)	K-S	Sig
<b>Preparo Convencional</b>								
pH SMP	52	4,70	5,90	5,24	0,287	5,47	0,870	0,436
H+Al ( $\text{cmol}_c/\text{dm}^{-3}$ )	52	4,90	19,47	10,91	3,469	31,77	0,972	0,302
Calagem Ton/ha	52	3,70	13,30	8,05	2,198	27,27	0,768	0,597
<b>Sistema Plantio Direto</b>								
pH SMP	23	4,25	6,93	5,02	0,50	9,96	0,909	0,380
H+Al ( $\text{cmol}_c/\text{dm}^{-3}$ )	23	1,50	32,65	15,13	6,51	43,02	0,681	0,743
Calagem Ton/ha	23	0,20	21,00	10,68	4,517	42,27	0,933	0,349

Legenda: Ton/ha: Toneladas por hectare. CV: Coeficiente de Variação. K-S: Teste de Kolmogorov-Smirnov. Sig: Significância.

O pH SMP em PC, apresentou o menor coeficiente de variação (CV) (5,47%), enquanto o (H+Al) em Sistema Plantio Direto (SPD) obteve o maior coeficiente de variação (43,02%). Adotando o critério de classificação para o CV proposto por Warrick e Nielsen (1980), para a variabilidade das propriedades analisados, os valores revelaram-se com baixa variabilidade para pH SMP em PC bem como para o SPD, corroborando com os resultados de Schindwein e Anghinoni (2000); nos dois sistemas de cultivo as propriedades H+AL e necessidade de calagem foram classificadas com CV de média dispersão (Tabela 1).

Em ambas as áreas de estudo o pH SMP e a acidez potencial H+Al do solo possuem relações inversamente proporcionais, com baixos valores de pH SMP, bem como elevados níveis de acidez potencial, interferindo a capacidade produtiva do solo e a necessidade de calagem (Figura 1; Figura 2). O valor considerado ideal para a cultura da soja de H+Al é 4,4  $\text{cmol}_c/\text{dm}^{-3}$  para pH SMP 7,0 (CQFS-RS/SC, 2016), conforme a equação de kaminski et al. (2001). Desta maneira, a presença de Al não seria fito toxica para o desenvolvimento radicular, com o aproveitando da água e de nutrientes nas camadas mais profundas (Raij, 2008). O alumínio trocável diminui a capacidade de troca de cátions efetiva do solo, reduzindo a disponibilidade de outros cátions como potássio, magnésio e cálcio para as culturas. Por tal razão, a prática da calagem, visa aumentar o pH do solo e neutralizar o Al (SPOSITO, 2008).

A necessidade de calagem na área de preparo convencional (Figura 1) foi menor que a de plantio direto (Figura 2). Conforme Nicolodi e outros (2004), este fato pode estar atrelado as interações: Matéria Orgânica do solo (MOS) x Al trocável, MOS x Fósforo (P) disponível, estrutura x retenção de água, que se manifestam mais intensamente, influenciando a acidez, e a disponibilidade de nutrientes, no solo cultivado por longo período de tempo no SPD. Diversos trabalhos indicam a menor influencia da acidez na produtividade das culturas em SPD consolidado (mais de cinco anos neste sistema) (ANGHINONI et al., 1998; CAIRES et al., 1998; PÖTTKER et al., 1998; NICLODI et al., 2004). Nicolodi (2008) argumenta que esta situação pode indicar que o atual modo de avaliar a acidez não é suficiente para entender o funcionamento do sistema solo cultivado há vários anos no SPD. Podendo estar associada ao teor de matéria orgânica desse solo, com a possibilidade de diminuir a fitotoxicidade do alumínio, devido à formação de complexos orgânicos estáveis entre ambos na fase sólida (ERNANI, 1982; 1998).



O comportamento da acidificação superficial no SPD tem sido atribuída ao efeito ácido resultante da nitrificação ocasionada devido a aplicação periódica de adubos amoniacais em superfície (BLEVINS et al., 1983), proveniente da decomposição dos resíduos orgânicos verificado por Ciotta (2001).

O modelo de semivariograma que melhor se ajustou a todas as propriedades em estudo foi o exponencial (Tabela 2). Neste estudo, observou-se que, em geral, todas as propriedades estudadas apresentaram forte grau de dependência espacial, conforme critérios estabelecidos por Cambardella et al. (1994), e com efeito pepita zero. McBratney e Webster (1986) atestam que o modelo exponencial é um dos mais frequentemente encontrados, para o ajuste do semivariograma das propriedades do solo.

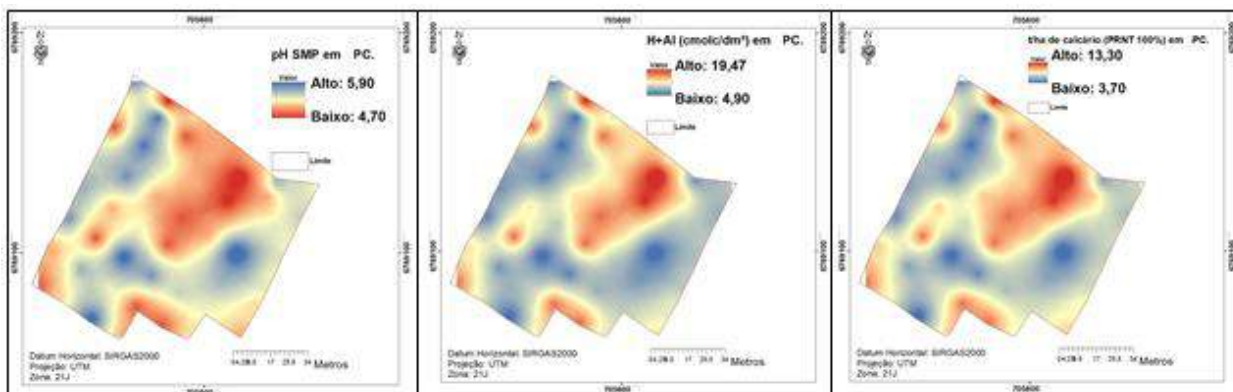
Tabela 2- Parâmetros dos modelos de semivariogramas ajustados para a variabilidade das variáveis estudadas em NEOSSOLOS, sob diferentes sistemas de cultivo.

Propriedade	Modelo	Alcance	Patamar	Pepita	M	RMS	MS	RMSS	ASE	Dependência	GDE (%)
<u>Preparo Convencional</u>											
pH SMP	Exponencial	27,50	0,096	0,00	0,004	0,301	0,013	0,993	0,303	Forte	0,00
H + Al	Exponencial	28,84	13,640	0,00	-0,045	3,604	-0,011	1,046	3,498	Forte	0,00
Calagem	Exponencial	28,84	5,470	0,00	-0,035	2,272	-0,013	1,040	2,215	Forte	0,00
<u>Sistema Plantio Direto</u>											
pH SMP	Exponencial	17,08	0,280	0,00	0,001	0,580	0,003	1,172	0,504	Forte	0,00
H + Al	Exponencial	17,08	45,860	0,00	0,127	7,466	0,016	1,167	6,469	Forte	0,00
Calagem	Exponencial	17,08	22,040	0,00	0,053	5,264	0,009	1,189	4,485	Forte	0,00

PC: Preparo Convencional. SPD: Sistema de Plantio Direto. H+Al: Hidrogênio + alumínio (cmol/dm<sup>3</sup>). M: Média. RMS: Raiz Quadrada Média. MS: Média Padronizada. RMSS: Raiz Quadrada Média Padronizada. ASE: Erro Médio Padrão. GDE: Grau de dependência espacial.

De acordo com os ajustes dos semivariogramas do PC, o alcance para o pH SMP foi de 27,50 metros (m), já para H+Al e necessidade de calagem o alcance foi de 28,84 m, com patamar de 0,0960 para o pH SMP, patamar de 13,6400 para H+Al e patamar de 5,47 para a calagem (Tabela 2).

Figura 1- Mapas da distribuição espacial de diferentes variáveis analisadas em NEOSSOLOS, com Preparo convencional (PC).



T/ha: Toneladas por hectare. PRNT: Poder Relativo de Neutralização Total.

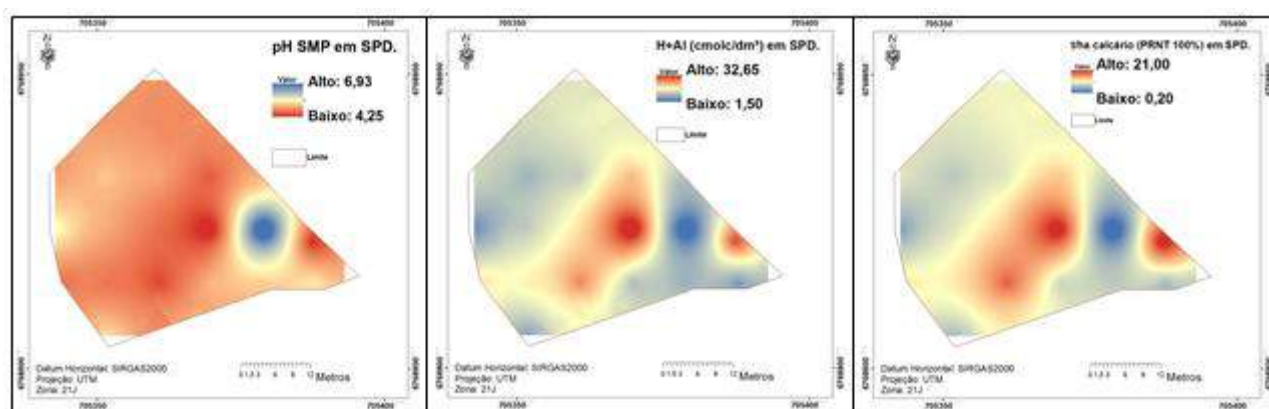
Com o ajuste do semivariograma no Sistema Plantio Direto (SPD), determinou-se o alcance para as variáveis pH SMP, H+Al e Calagem de 17,08 m, o patamar do pH SMP foi de 0,28, patamar do H+Al de 45,86, e por fim a necessidade calagem o patamar foi de 22,04 m (Tabela 2).

O efeito pepita representa a variância não explicada ou ao acaso, frequentemente causada por erros de medições ou variações das propriedades que não podem ser detectadas na escala de

amostragem (TRANGMAR et al., 1985; VIEIRA, 2000). Quando o efeito pepita for zero (0), que é o caso de todas as propriedades analisadas (Tabela 2), significa que o erro experimental é praticamente nulo, ou seja, o modelo explica toda a variação dos dados.

A relação em porcentagem entre o efeito pepita e o patamar do semivariograma pode revelar o grau de dependência espacial (TRANGMAR ET AL., 1985). A magnitude do efeito pepita é importante na krigagem, pois, quanto maior for a diferença do efeito pepita em relação ao patamar do semivariograma, maior a continuidade do fenômeno, menor a variância da estimativa, ou maior a confiança na estimativa dos resultados encontrados (ISAACS e SRIVASTAVA, 1989).

Figura 2- Mapas da variabilidade espacial de diferentes variáveis analisadas em NEOSSOLOS, Sistema de Plantio Direto (SPD).



T/ha: Toneladas por hectare. PRNT: Poder Relativo de Neutralização Total.

A distância limite de dependência espacial, denominada alcance, indica que amostras localizadas a distâncias menores que o alcance tem correlação umas com as outras. De acordo com Corá (2004), áreas de Preparo convencional (PC) com arações e gradagens, podem contribuir para um maior efeito de homogeneização da camada superficial (Tabela 2), tendo, como consequência o aumento do alcance de dependência espacial das propriedades do solo, o que condicionou a maior continuidade na distribuição espacial dos mesmos nesse sistema em relação ao SPD. Segundo Trangmar et al. (1985), o alcance define o raio máximo, ou seja, a malha amostral a ser utilizada para melhor descrever a interpolação por técnicas de krigagem, condicionando uma melhor representatividade da área a ser manejada, ou para definir zonas de manejo das propriedades químicas.

O Polipeton de PC (Figura 1), apresentou menor necessidade de calagem quando comparada com o SPD (Figura 2), isto se explica porque foi o primeiro ano com revolvimento do campo nativo o qual adquiriu ao longo de três décadas a estabilidade de suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Esta estabilidade se perderá com o contínuo preparo convencional.

O presente trabalho abre caminho para estudos futuros, primeiramente, para análise de correlação entre as propriedades químicas relacionadas à fertilidade do solo, utilizando milhares de pixel's extraídos de diferentes planos digitais de dados. Outro fator de suma importância é o estudo da fertilidade química do solo, são as relações entre as propriedades químicas dos solos com a geomorfologia, e isto somente será possível utilizando a escala de encosta, ou seja, bacias de ordem zero, unidade que mais se assemelha a paisagem encontrada pelo produtor rural durante os cultivos.

Este trabalho faz parte de dois projetos de pesquisa: Variabilidade espaço-temporal da estrutura de um NEOSSOLO, pós-inserção da cultura da soja em sistema de plantio convencional sob campo nativo e Mapeamento digital de solos, na URI Campus Santiago, ambos de longa duração que além da descrição da distribuição das classes e propriedades de solos, visam avaliar o impacto causado pela conversão do campo nativo em diferentes sistemas de cultivo.

## 4 CONCLUSÕES

A acidez potencial (H+Al) pode ser estimada com alta capacidade preditiva pelo método do pH SMP, tornando-se um método simples de estimativa da necessidade de calagem.

- A densidade amostral foi de grande importância para a definição das variáveis com exatidão.

A krigagem ordinária e a análise espacial possibilitaram a descrição da variabilidade espacial das variáveis, proporcionando a melhor visualização dos seus padrões de distribuição espacial nas áreas de estudo.

O pH SMP, a acidez potencial e a necessidade de calagem possuem relações inversamente proporcionais, baixos valores de pH SMP, bem como elevados níveis de acidez potencial demandam elevada necessidade de calagem.

A conversão do campo nativo para o cultivo da soja com preparo convencional apresentou menor necessidade de calagem quando comparado com o Sistema de Plantio Direto, no primeiro ano de avaliação.

## REFERENCIAS

AMADO, T. J. C.; ELTZ, F. L. F. Plantio direto na palha rumo à sustentabilidade agrícola nos Trópicos. **Ciência e Ambiente**, v. 27, p. 49-66, 2003.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo no ambiente subtropical. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 30., 2005, Recife. Anais... Recife: SBCS/UFRPE, 2005. CD-ROM.

ANGHINONI, I.; SALET, R. L.; NUERNBERG, N. J. Amostragem do solo e as recomendações de adubação e calagem no sistema plantio direto. Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto. Lages, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 27-52, 1998.

BEZERRA DE ALMEIDA JÚNIOR, Agenor; ARAÚJO DO NASCIMENTO, Clístenes Williams; DO RÊGO BARROS, Felipe Martins. Acidez Potencial Estimada Pelo Método do pH SMP em Solos do Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, 2015.

BLEVINS, R.L.; THOMAS, G.W.; SMITH, M.S.; FRYE, W.W. & CORNELIUS, P.L. Changes in soil properties after 10 years continuous non-tilled and conventionally tilled corn. **Soil Till. Res.**, 3:135-146, 1983.

CAIRES, E.F.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F. & FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 22:27-34, 1998.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. e KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 58:1501-1511, 1994.

CIOTTA, MN. "Componentes da acidez do solo e calagem superficial em um Latossolo Bruno aluminoso sob plantio direto há 20 anos." **Componentes da acidez do solo e calagem superficial em um Latossolo Bruno aluminoso sob plantio direto há 20 anos** (2001).

CORÁ, J. E. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 6, 2004.

Delin, Sofia, Börje Lindén, and Kerstin Berglund. "Yield and protein response to fertilizer nitrogen in different parts of a cereal field: potential of site-specific fertilization." **European Journal of Agronomy** 22.3 (2005): 325-336.

ENVIROMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Using ArcGIS geostatistical analyst**. Redlands, 2016.

ERNANI, P.R., GIANELLO, C. Diminuição do alumínio trocável do solo pela incorporação de esterco de bovinos e camas de aviário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.1, p.161-165, 1982.

ERNANI, P.R., NASCIMENTO, J.A.L., CAMPOS, M.L., et al. **Diminuição da toxicidade de alumínio para o milho pelo aumento do fósforo no solo**. to: REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2, 1998, Santa Maria, RS. Resumos expandidos... Santa Maria : SBCS - Núcleo Regional Sul, 1998. p.153-154.

Isaaks, Edward H. Srivastava, Mohan R. Edward H. Isaaks, and Mohan R. Srivastava. **Applied geostatistics**. No. 551.72 ISA. 1989.

KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; BARTZ, H.R.; GATIBONI, L.C.; BISSANI, C.A. e ESCOSTEGUY, P.A.V. Proposta de nova equação para determinação do valor de H + Al pelo uso do índice SMP em solos do RS e de SC. In: REUNIÃO ANUAL DA REDE OFICIAL DE LABORATÓRIOS DE ANÁLISE DE SOLO E DE TECIDO VEGETAL DOS ESTADOS DO RIO GRANDE DO SUL E DE SANTA CATARINA, 33., Frederico Westphalen, 2001. Ata. Frederico Westphalen, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul - ROLAS**, 2001. p.21-26.

KÖPPEN, William. **Climatologia**. México, Fundo de Cultura Econômica. 1931.

MARINS, A. C.; URIBE-OPAZO, M. A.; JOHANN, J. A. Estimadores New1 e New2 no estudo de dependência espacial da produtividade da soja e atributos físicos do solo de uma área comercial. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 16, n. 1, p. 133-143, 2008.

MARTINS, A. P. **Acidez do solo e reaplicação de calcário em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto**. 2013. 114 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

McBratney, A. B., and R. Webster. "Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates." **European Journal of Soil Science** 37.4 (1986): 617-639.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 73 p.

NICOLODI, M.; ANGHINONI, I.; GIANELLO, C. Relações entre o pH do solo e os indicadores de fertilidade e o rendimento de soja em lavouras no sistema plantio direto. **REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO**, v. 5, 2004.

NICOLODI, Margarete; ANGHINONI, Ibanor; GIANELLO, Clesio. Indicadores da acidez do solo para recomendação de calagem no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, 2008.

PERDUE, Judy C.; CROSSLEY, D. A. Seasonal abundance of soil mites (Acari) in experimental agroecosystems: effects of drought in no-tillage and conventional tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 15, n. 1-2, p. 117-124, 1989.

PEREIRA DE PÁDUA, Tullio Raphael; SILVA, Carlos Alberto; CARRIJO AZEVEDO MELO, Leônidas. Calagem em latossolo sob influência de coberturas vegetais: neutralização da acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 5, 2006.

PÖTTKER, D. e BEN, J.R. **Calagem em solos sob plantio direto e em campos nativos do Rio Grande do Sul**. In: NUERNBERG, N.J. Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto. Lages, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 1998. p.77-92.

SCHILINDWEIN, J.A. e ANGHINONI, I. Variabilidade espacial de atributos de fertilidade e amostragem de solo no sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, 24:85-91, 2000.

SHOEMAKER, H.E.; McLEAN, E.O. e PRATT, P.F. Buffer methods for determining lime requirements of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, 25:274-277, 1961.

SILVA, E. A. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; ROCHA, J. V.; SOUZA, E. G. Um Estimador robusto e o semivariograma cruzado na análise de variabilidade espacial de atributos do solo e planta. **Acta Scientiarum**, Maringa, v. 25, n. 2, p. 365-371, 2003.

Sposito, Garrison. *The chemistry of soils*. **Oxford university press**, 2008.

TIECHER, Tales. Martins, A. P., da Silva Peretto, É. J., Fink, J. R., da Silva Santos, L., de Oliveira Denardin, L. G., e Tiecher, T. L. **Evolução e estado da fertilidade do solo no Norte do Rio Grande do Sul e Sudoeste de Santa Catarina**. 1. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2016.

Trangmar, Bruce B., Russel S. Yost, and Goro Uehara. "Application of geostatistics to spatial studies of soil properties." **Advances in agronomy** 38 (1986): 45-94.

VAN RAIJ, Bernardo. Gesso na agricultura. **Instituto Agrônomo de Campinas**, Campinas, Brasil. This study indicates that in tropical Andisols, soil amendments can be beneficial if caution is used to avoid over-application, 2008.

VIEIRA, S. R. et al. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, Berkeley, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. e SCHAEFER, G.R., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2000. v.1, p.1-54.

WARRICK, A.W. e NIELSEN D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. **Applications of soil physics**. New York, Academic Press, 1980. p.319-344.

Zanão Júnior LA, Lana RMQ e Guimarães EC (2007) Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidade em um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, 37:1000-1007

# VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO E SUAS CORRELAÇÕES COM DIFERENTES PROPRIEDADES FÍSICAS DE NEOSSOLOS, SOB CULTIVO CONVENCIONAL

*Spatial variability of mechanical resistance of soil to penetration and its correlations with different physical properties in Neossolos, under conventional tillage*

Jéssica Santi Boff<sup>1</sup>, Júlio Cesar Wincher Soares<sup>2</sup>, Claiton Ruviano<sup>3</sup>, Daniel Nunes Krum<sup>4</sup>, Nádia Mariane Mucha<sup>5</sup>, Guilherme Fávero Rosado<sup>6</sup>, Guilherme Guerin Munareto<sup>7</sup>, Gustavo Lamana<sup>8</sup>, Lenon Vaz<sup>9</sup>, Thaylana da Rosa de Souza<sup>10</sup>, Pedro Maurício Santos dos Santos<sup>11</sup>  
<sup>1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11</sup> Laboratório de Solos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI Campus Santiago. Avenida Batista Bonoto Sobrinho, nº 733, Santiago - RS, CEP 97700-000. [jessica\\_santiboff@hotmail.com](mailto:jessica_santiboff@hotmail.com), [juliowincher@gmail.com](mailto:juliowincher@gmail.com)

## RESUMO

A resistência mecânica do solo à penetração (RP) pode limitar o crescimento do sistema radicular e a produtividade das plantas, sendo um bom indicador de compactação e/ou adensamento do solo. A RP possui relação com diferentes propriedades físicas dentre elas a textura/argila, a matéria orgânica (MOS), e a umidade gravimétrica (UG). A hipótese do trabalho pressupõe que a variabilidade espacial da RP está relacionada com diferentes propriedades físicas do solo. Desta maneira, tem-se como objetivo avaliar a variabilidade espacial da RP e sua correlação com diferentes propriedades físicas do solo, numa encosta com NEOSSOLOS, com cultivo convencional de soja. Foram amostrados 52 pontos numa grade amostral de 15 x 15 m. Posteriormente, foi realizada a análise estatística descritiva, de correlação e a geoestatística dos dados, em seguida procedeu-se com a elaboração dos mapas utilizando o algoritmo de krigagem ordinária. A densidade amostral foi de grande importância para a definição das variáveis com exatidão. A variabilidade espacial da RP apresentou correlação inversa com a umidade gravimétrica.

**Palavras-chave:** Estrutura do solo. Pedometria. Manejo e conservação do solo.

## ABSTRACT

The mechanical resistance of soil to penetration (RP) can limit the growth of the root system and the productivity of the plants, is a good indicator of soil compaction and/or densification. The RP has relation with different physical properties among them the texture/clay, the organic matter (SOM), and the gravimetric moisture (MG). The hypothesis of the work assumes that the spatial variability of RP is related to different physical properties of the soil. In this way, the objective is to evaluate the spatial variability of RP and its correlation with different physical properties of the soil, in a hill with NEOSSOLOS, with conventional soybean tillage. Fifty-two points were sampled in a 15 x 15 m grid. Subsequently, we performed the descriptive statistical analysis, correlation and geostatistics of the data, then proceeded with the elaboration of maps using the ordinary kriging algorithm. The sampling density was of great importance for the definition of the variables with accuracy. The spatial variability of RP presented inverse correlation with gravimetric moisture.

**Keywords:** Soil structure. Pedometric. Soil management and conservation.

## 1 INTRODUÇÃO

O monitoramento da qualidade do solo através das propriedades físicas, é de suma importância para a manutenção e avaliação da sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Dentre estas propriedades, incluem-se a resistência mecânica à penetração do solo (RP), o conteúdo de matéria orgânica (MO), argila e a umidade gravimétrica (UG).

Para Doran e Parkin (1994), a qualidade do solo pode ser definida como a capacidade que

o mesmo tem em manter a produtividade sustentável. A RP é uma propriedade indicadora da qualidade estrutural utilizada para identificar camadas de solo compactadas ou adensadas e mudanças nas demais propriedades físicas associadas aos seus perfis (JONG VAN LIER, 2010). Portanto os processos compressivos elevam a RP, contribuindo para a redução da infiltração e da retenção de água; das trocas gasosas; e do crescimento radicular, e assim, as raízes das plantas irão se estabelecer em camadas superficiais (COLLARES et al., 2006; REICHERT et al. 2009).

A RP do solo propõe uma relação direta com algumas propriedades sendo elas: argila e MO, e uma ligação inversa com a umidade. Desta maneira, em condições de baixa umidade ocorre um incremento da RP, pois o teor de umidade modifica a coesão entre as partículas do solo, e assim há uma super ou subestimação ao nível de compactação (KAISER, 2010; BELTRAME et al., 1981; VAZ et al., 2011).

Conforme Ribon e Tavares Filho (2008), a argila influencia nos valores da RP de acordo com a distribuição granulométrica das partículas do solo. Segundo Klein (2012) solos argilosos, apresentam maior força de coesão entre as suas partículas o que dificulta a penetração das raízes no perfil do solo.

Com influência na qualidade estrutural dos solos a RP pode representar elevada variabilidade espacial, sendo que esta pode estimar o comportamento espacial de propriedades do solo com relação a determinadas práticas de manejo (OVALLES e REY, 1994). Para descrever a variabilidade espacial da RP diante de mensurações pontuais, cria-se a necessidade de estabelecer a continuidade espacial do fenômeno a partir de técnicas de interpolação dos dados.

Nesse sentido, faz-se necessário aliar procedimentos geoestatísticos que utilizam técnicas para a análise e inferência de variáveis espacialmente georreferenciadas (variáveis regionalizadas), proporcionando o mapeamento para análise do estudo da variável (COELHO et al., 2012). A relação entre variáveis com condicionamento espacial e variáveis aleatórias, constitui funções aleatórias que serão ajustadas por algoritmos nos sistemas de informações geográficas (SIG's). Por tanto, a geoestatística com base na construção de semivariogramas, permite a descrição da dependência espacial das propriedades dos solos (VIEIRA, 2000).

A hipótese do trabalho pressupõe que a variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração está relacionada com diferentes propriedades físicas do solo.

Desta maneira, o objetivo é avaliar a variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração e sua correlação com diferentes propriedades físicas do solo, numa encosta com NEOSSOLOS, com cultivo convencional de soja.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado numa encosta (Catena) da Fazenda Escola da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus Santiago, no Vale do Jaguari, RS.

Conforme a classificação de Köppen (1931), o clima dominante é o Cfa, subtropical úmido, totalizando uma precipitação anual de 1.919 mm ao longo do ano, com temperatura média anual de 17,9 °C (MORENO, 1961). O relevo por sua vez, exhibe formas que vão de suave ondulado a ondulado, com altitudes que alcançam cerca de 394 metros.

Na encosta, que é uma Catena composta por NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos e NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Distróficos (EMBRAPA, 2013) foi realizado um procedimento amostral com 52 pontos de prospecções de uma malha, com intervalos regulares de 15 x 15 m, na profundidade de 0,0 – 0,20 m, totalizando 1,17 ha.

Para alocação dos pontos foi empregado um receptor GNSS (*Global navigation Satellite System*) Leica, modelo Viva GS15, com dupla frequência (L1/L2) e disponibilidade de Real Time Kinematic (RTK), utilizando o datum horizontal SIRGAS 2000, zona 21 S.

Nos pontos de prospecções foram coletadas amostras deformadas para a determinação das propriedades físicas do solo. O ensaio de resistência mecânica do solo à penetração foi realizado na profundidade de 0,0 – 0,20 m, com o penetrômetro digital modelo Falker PLG 1020. A determinação da umidade gravimétrica (UG), e da textura do solo se deu em conformidade com Donagema (2011). O teor de matéria orgânica (MO) foi obtido pelo método do colorimétrico,

descrito por Raji et al (2001), o teor de CO foi transformado em MO, na quais estão locadas em camadas de 0,0 – 0,20 m.

A variabilidade das propriedades do solo foi avaliada pela análise estatística descritiva. A normalidade foi testada por Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 95% de significância. Posteriormente foi realizada a análise de correlação de Pearson a 1% de significância.

As análises geoestatísticas foram realizadas no software do Sistema de Informações Geográficas ArcGIS® 10.4.1 (ArcToolbox → Geostatistical Analyst → Assistente de geoestatística → Geoestatistical Methods → Kriging → Kriging type → Ordinary). O estimador de krigagem ordinária é descrito por Trangmar et al. (1985), com a seguinte equação:  $\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$ , em que:  $\hat{Z}(x_0)$  é a estimativa de krigagem para o local  $x_0$  não amostrado;  $Z(x_i)$  valor obtido por amostra coletada a campo;  $n$  corresponde ao número de amostras vizinhas; e  $\lambda_i$  são os pesos da krigagem atribuídos aos valores vizinhos  $Z(x_i)$  para estimar  $\hat{Z}(x_0)$  (CARAM, 2007; SILVA JÚNIOR, 2014).

Assim, as estimativas lineares e não enviesadas preditas pelo interpolador de krigagem ordinária, o qual utiliza a informação estrutural obtida pelo variograma e também, que considera a incerteza associada às estimativas da variância da krigagem, confere continuidade aos dados pontuais de uma amostra. Desta maneira, supera-se um dos gargalos das simulações espaciais, que é dar continuidade espacial acurada aos dados ou as informações de uma pesquisa.

Na sequência, estabeleceram-se semivariogramas para possibilitar a avaliação quantitativa das variáveis regionalizadas. Com o interpolador de krigagem ordinária, foram testados os seguintes modelos teóricos de semivariogramas: circular, esférico, exponencial, gaussiano, e *stable*.

O procedimento de seleção do modelo semivariográfico consiste, naquele que representar o melhor resultado no teste de validação cruzada (*cross-validation*). A partir da comparação entre os valores reais das propriedades dos solos e dos seus valores preditos, a validação cruzada permite identificar a melhor estrutura de dependência espacial, indicando assim, o erro de predição de cada valor verificado (CARAM, 2007; SANTANA, 2011). Logo, os erros de predição testados, também chamados de resíduos, são: Média dos Erros Preditos (M), Média dos Erros Padronizada (MS), Raiz Quadrada da Média do Erro ao Quadrado (RMS), Média da Variância dos Erros Padronizados (ASE) e Raiz Quadrada da Média dos Erros Padronizados ao Quadrado (RMSS).

Modelos que oferecem predições acuradas precisam obedecer a premissa de que as estatísticas M e MS devem estar próximas a zero, e os valores em RMS, ASE e RMSS sejam próximos de 1 (ESRI, 2016).

Do ajuste dos modelos de semivariograma aos dados, foram definidos os seguintes parâmetros: efeito pepita, patamar e alcance. O grau de dependência espacial (GDE) foi classificado conforme Cambardella et al. (1994), onde a dependência espacial é fraca, quando a razão do efeito pepita for superior a 75 % do patamar, a dependência espacial moderada, quando a razão do efeito pepita for superior a 25 % e inferior ou igual a 75 % do patamar e a dependência espacial forte, quando a razão do efeito pepita for inferior ou igual a 25 % do patamar.

Em seguida, foram gerados mapas das propriedades dos solos com a aplicação do interpolador de krigagem ordinária, seguindo a rotina: ArcToolbox → Spatial Analyst → Interpolação → Krigagem → Ordinária.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados referentes à análise estatística descritiva revela que todas as propriedades avaliadas apresentam distribuição normal, conforme o teste de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 1% de significância (Tabela 1).



Tabela 1 - Análises estatísticas descritivas e testes de normalidade das propriedades físicas de NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos e NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Distróficos, submetido ao cultivo convencional.

Prop.	Casos	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV (%)	K-S	SIG
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	52	18,47	36,36	28,07	5,60	19,95	1,13	0,15
MOS (%)	52	1,48	3,75	2,44	0,43	17,92	1,09	0,18
RP (MPa)	52	1,02	1,41	1,20	0,08	7,21	0,95	0,31
UG (%)	52	22,25	30,10	24,84	2,03	8,18	0,80	0,53

Prop.: Propriedades. UG: umidade gravimétrica. MOS: Matéria orgânica. RP: resistência mecânica do solo à penetração. CV: Coeficiente de variação, K-S: Teste de Kolmogorov-Smirnov. Sig: Significância ( $p < 0,01$ ).

O valor médio encontrado para a RP foi de 1,20 MPa, variando de 1,02 a 1,14 MPa. A argila apresentou um valor mínimo de 18,47 % e máximo de 36,36 %, com média de 28,07 %. Já para a MOS, obteve-se um valor médio de 2,44 %, oscilando entre 1,48 e 3,75 %. Por fim, a umidade gravimétrica (UG) apresentou valor mínimo de 22,25 % e máximo de 30,10 %, com média de 24,84 % (Tabela 1).

A RP obteve um coeficiente de variação (CV), classificado como baixo (7,21%), a argila apresentou CV médio (19,95%), a matéria orgânica do solo (MOS) obteve CV médio (17,92%), e a umidade gravimétrica (UG) apresentou um CV baixo (8,18%), os CV foram classificados de acordo Warrick Nielsen (1980).

Conforme Souza (2005), NEOSSOLOS que apresentam valores de RP moderada, inferiores a 1,2 MPa, possibilitam o desenvolvimento radicular.

Tabela 2 - Significância e coeficientes de correlação de Pearson ( $p < 0,01$ ) das propriedades físicas de NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos e NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Distróficos, submetido ao cultivo convencional.

Prop.	Casos	Argila	MO	UG	RP
Argila	52	1	0,229 <sup>NS</sup>	-0,146 <sup>NS</sup>	0,175 <sup>NS</sup>
MO	52	0,229 <sup>NS</sup>	1	-0,046	0,076 <sup>NS</sup>
UG	52	-0,146 <sup>NS</sup>	-0,046 <sup>NS</sup>	1	-0,928**
RP	52	0,175 <sup>NS</sup>	0,076 <sup>NS</sup>	-0,928**	1

Prop.: Propriedade. <sup>NS</sup> não significativo. \*\* significativo a  $p < 0,01$ .

Os valores de RP do solo sofrem a influência de outros fatores, dentre eles está o conteúdo de umidade do solo (LIMA et al., 2007). Desta maneira, há uma alteração da umidade do solo, ocorrendo uma variação no sentido oposto dos valores de RP, pois, o teor de água atua alterando a coesão entre as partículas do solo (BELTRAME et al., 1981). Esse processo é favorecido pelo aumento da UG, ou seja, quanto maior for a UG, menor será a resistência oferecida pelo solo à penetração das raízes (CAMARGO, 1983) (Tabela 2).

As variáveis UG, argila e RP ajustaram-se ao modelo gaussiano, apresentando um alcance de 24,25 m, para a RP e UG, para argila o alcance foi de 17,45 m; com patamares de 4,84, 10,10 e 0,01, respectivamente. O efeito pepita para estas variáveis foi de: 0,31, 0,01 e 0,0, nessa ordem. Por fim, o grau de dependência espacial foi forte para estas variáveis, com valores respectivos de 6,58%, 0,10% e 0,0 (Tabela 3).

A MOS diferiu das demais propriedades estudadas seguindo o ajuste dos dados ao modelo exponencial, com alcance de 28,84 m; patamar 0,18; efeito pepita 0; e grau de dependência espacial classificado como forte. O efeito pipeta indica a variabilidade não explicada, pode ser decorrente de erros de medidas ou micro variações não detectadas, considerando a distância de amostragem utilizada (PAZ et al., 1996).

Tabela 3 - Parâmetros dos modelos de semivariogramas ajustados para as propriedades físicas de NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos e NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Distróficos, submetidos ao cultivo convencional.

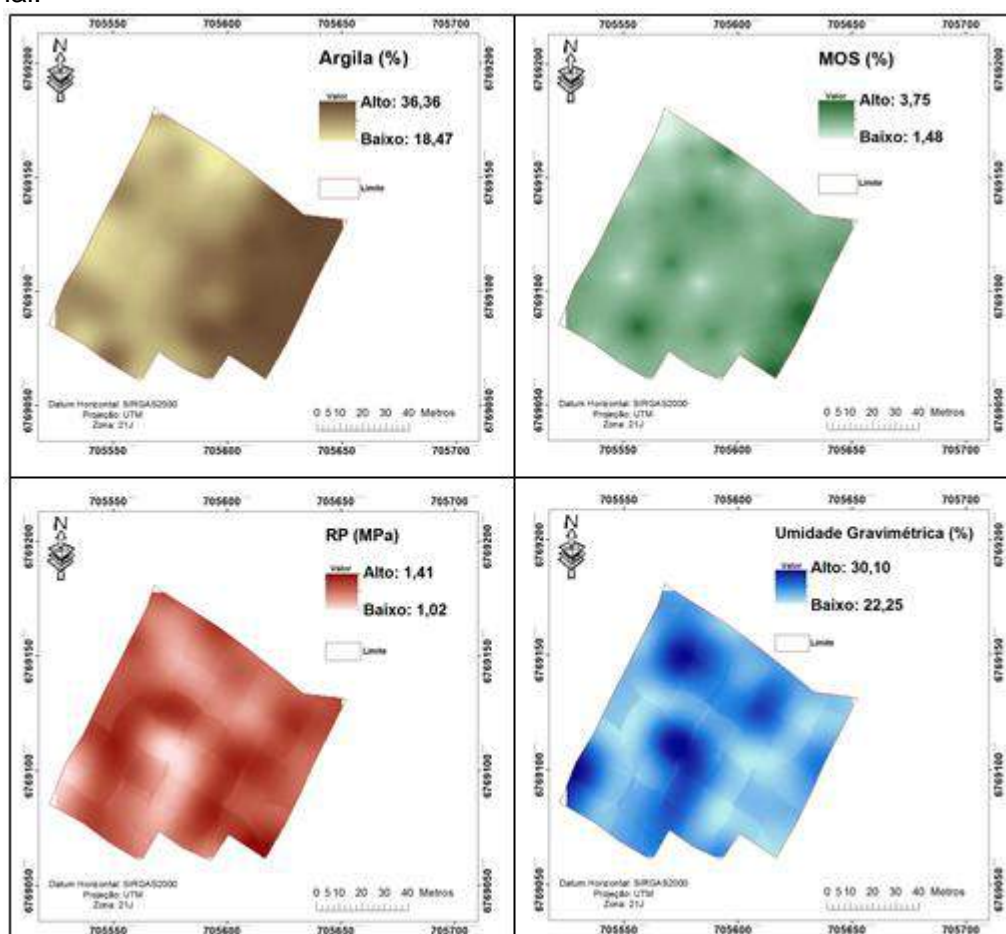
Prop.	Modelo	Alcance	Patamar	Pepita	M	RMS	MS	RMSS	ASE	Dependência	GDE (%)
Argila	Gaussiano	17,45	10,10	0,01	-0,018	2,912	-0,001	0,942	3,099	Forte	0,10
MOS	Exponencial	28,84	0,18	0,0	-0,014	0,457	-0,027	1,124	0,404	Forte	0,00
RP	Gaussiano	24,25	0,01	0,0	-0,001	0,079	-0,001	0,990	0,078	Forte	0,00
UG	Gaussiano	24,25	4,84	0,31	0,013	1,885	0,010	1,000	1,878	Forte	6,58

Prop.: Propriedades. M: Média. RMS: Raiz Quadrada Média. MS: Média Padronizada. RMSS: Raiz Quadrada Média Padronizada. ASE: Erro Médio Padrão. GDE: Grau de Dependência Espacial

Conforme a tabela 3, a equidistância da grade amostral foi suficiente para descrever as propriedades avaliadas com exatidão, pois, os valores de alcance encontrados para as diferentes propriedades são superiores a equidistância da grade de 15 m. Dentro da geoestatística o alcance tem suma importância para a interpretação dos semivariogramas. Ele indica a distância até onde os pontos amostrais estão correlacionados entre si (Vieira et al., 1983; Souza et al., 1997; Vieira, 1997). Segundo os autores McBratney e Webster, (1986) relatou que o alcance é um elemento necessário para o planejamento e a avaliação experimental, já que pode auxiliar na definição de procedimento de amostragem.

A figura 1 demonstra que as propriedades dos NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos e NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Distróficos, possuem relações em sua distribuição espacial, com correlação evidente entre a RP e a UG, concordando com a análise de correlação de Pearson.

Figura 1 - Mapas de distribuição espacial de diferentes propriedades físicas de NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos e NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Distróficos, submetidos ao cultivo convencional.



MOS: Matéria Orgânica do Solo, RP: Resistência mecânica do solo à penetração.

O presente trabalho abre caminho para estudos futuros, primeiramente, para análise de correlação entre as propriedades físicas relacionadas à estrutura do solo, utilizando milhares de pixel's extraídos de diferentes planos digitais de dados. Outro fator de suma importância é o estudo da fertilidade física do solo, são as relações entre estas propriedades com a geomorfologia, e isto somente será possível utilizando a escala de encosta, ou seja, bacias de ordem zero, unidade que mais se assemelha a paisagem encontrada pelo produtor rural durante os cultivos.

#### 4 CONCLUSÕES

A densidade amostral foi de grande importância para a definição das variáveis com exatidão.

A variabilidade espacial da RP apresentou correlação inversa com a umidade gravimétrica.

A análise da distribuição espacial aliada à krigagem possibilitou o mapeamento da variabilidade das propriedades físicas, proporcionando melhor visualização do seu comportamento na área de estudo.

#### REFERÊNCIAS

- BELTRAME, L. F. S.; GONDIM, L. A. P.; TAYLOR, J. C. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.5, p.145-149, 1981.
- CAMARGO, O. A. **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 44p.
- CAMBARDELLA, C. A et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 58, p.1501-1511, 1994.
- CARAM, R. O. **Reconstrução de séries e análise geoestatística da precipitação no Estado de Minas Gerais**. 2007. 92f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/ MG.
- COELHO, D. S.; CORTEZ, J. W.; OLSZEWSKI, N. Variabilidade espacial da resistência mecânica à penetração em Vertissolo cultivado com manga no perímetro irrigado de Mandacaru, Juazeiro, Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.36, n.3, p. 755-764, 2012.
- COLLARES, G. L. et al. Qualidade física do solo na produtividade do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.41, p.1663-1674, 2006.
- DONAGEMA, G.K. et al. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.3-21 (SSSA Special Publication, 35).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.
- ENVIROMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. ESRI. **Using ArcGIS geoestatistical analyst**. Redlands, 2016.
- JONG VAN LIER, Q., **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010.

298p.

KAISER, D. R. **Estrutura e água em argissolo sob distintos preparos na cultura do milho.** 2010. 150 f. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

KLEIN, V. A. **Física do solo.** Passo Fundo: EDIUPF, 2012. 240p.

KOEPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra.** Mexico: Fondo de cultura econômica, 1948. 478p.

LIMA, C. L. R. et al. Densidade crítica ao crescimento de plantas considerando água disponível e resistência à penetração de um Argissolo Vermelho distrófico arênico. **Revista Ciência Rural**, v. 37, p. 1166-1169, 2007.

McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, v.37, p.617-639, 1986.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre**, Secretaria da Agricultura, 42p, 1961.

OVALLES, F.; REY, J. Variabilidad interna de unidades de fertilidad en suelos de la depresión del Lago de Valencia. **Agronomia Tropicale**, Maracay, v.44, n.1, p.41-65, 1994.

PAZ, A.; TABOADA, M. T.; GOMEZ, M. J. Spatial variability in topsoil micronutrient contents in a one-hectare cropland plot. Comm. **Soil Sci. Plant Anal**, 3:479-503, 1996.

RAIJ, B. V. et al. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: **Instituto Agrônomo**, 2001. 285p.

REICHERT, J. M. et al. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v.102, p.242–254, 2009.

RIBON, A. A.; TAVARES FILHO, J. Estimativa da resistência mecânica à penetração de um Latossolo Vermelho sob cultura perene no norte do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32 n.5 Viçosa set./out. 2008.

SANTANA, R. A. **Avaliação de técnicas geoestatísticas no inventário de povoamentos de *Tectona grandis* L. f.** 2011. 43 p. Dissertação, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA JÚNIOR, J. F. da. **Simulação geoestatística e classificação numérica para o delineamento de unidade de mapeamento de atributos e erosão do solo.** 2014. 111p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2014.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 11, Nov. 2005.

SOUZA, L. S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 1-10, 1997.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; WADE, M. K.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.38, n.1, p.45-94, 1985.

VAZ, C. M. P. et al. Modeling and correction of soil penetration resistance for varying soil water content. **Geoderma**, Amsterdam, v.166, n.1, p.92-101, 2011.

VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um latossolo roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v. 56, n. 1, p. 1-17, 1997.

VIEIRA, S. R. et al. Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In. NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1. p.2-54.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. 350p.

## VARIABILIDADE ESPACIAL DOS TEORES DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL, POTÁSSIO E FÓSFORO DISPONÍVEIS EM NEOSSOLOS E SUAS CORRELAÇÕES ESPACIAIS NUMA ENCOSTA

*Spatial variability of total organic carbon, potassium and phosphorus  
available they neossolos and yours spatial correlation in hillside*

Thaylana da Rosa de Souza<sup>1</sup>, Júlio Cesar Wincher Soares<sup>2</sup>, Nádia Mariane Mucha<sup>1</sup>, Claiton Ruviano<sup>3</sup>, Lenon Vaz<sup>1</sup>, Gustavo Lamana<sup>1</sup>, Daniel Nunes Krum<sup>1</sup>, Guilherme Fávero Rosado<sup>1</sup>, Pedro Maurício Santos dos Santos<sup>1</sup>, Jessica Santi Boff<sup>1</sup>, Higor Machado de Freitas<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> Graduando em Agronomia, Laboratório de Solos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI – Campus Santiago. Avenida Batista Bonoto Sobrinho, Santiago-RS, 97700-000. [thaylanarsouza@gmail.com](mailto:thaylanarsouza@gmail.com)

<sup>2</sup> Professor Dr. do Curso de Agronomia. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI – Campus Santiago. [juliowincher@gmail.com](mailto:juliowincher@gmail.com)

<sup>3</sup> Professor Dr. Coord. do Curso de Agronomia. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI – Campus Santiago. [ruviano@urisantiago.br](mailto:ruviano@urisantiago.br)

### RESUMO

O solo é um corpo natural que se desenvolve na superfície terrestre, constituído por materiais minerais e orgânicos. Durante o seu desenvolvimento, as perdas de nutrientes podem ocorrer por processos naturais e antrópicos. Dentre os nutrientes propensos a perdas, encontra-se o carbono orgânico (CO), o fósforo (P) e o potássio (K). Sabendo-se que o CO é considerado um importante indicador para determinar a qualidade do solo, em função da sua relação com a disponibilidade de P e K disponível, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial dos teores de COT, K e P e as suas correlações na superfície de uma encosta (Catena). O teor de COT ficou concentrado no topo da área e no terço inferior. Para o K, os resultados mostraram uma distribuição em toda a área, apresentando uma diminuição apenas no terço superior da encosta. Os maiores teores de P disponível encontram-se terço inferior da encosta e os menores valores no terço médio, onde os processos erosivos são mais intensos. A densidade amostral foi de grande importância para a definição das variáveis com exatidão.

**Palavras-chave:** Fertilidade química. Conservação do solo. Mapeamento digital de solo.

### ABSTRACT

The soil is a natural body that develops on the earth's surface, consisting of mineral and organic materials. During their development, nutrient losses can occur through natural and man-made processes. Among the nutrients prone to losses are organic carbon (CO), phosphorus (P) and potassium (K). Considering that CO is considered an important indicator to determine the quality of the soil, due to its relation with the availability of available P and K, the present work had as objective to evaluate the spatial variability of the TOC, K and P and their correlations on the surface of a hillside (Catena). The TOC content was concentrated at the top of the area and at the bottom third. For K, the results showed a distribution throughout the area, showing a decrease only in the upper third of the slope. The highest levels of P available are lower third of the slope and the lowest values in the middle third, where the erosive processes are more intense. The sampling density was of great importance for the definition of the variables with accuracy.

**Keywords:** Chemical fertility. Soil conservation. Digital soil mapping.

## 1 INTRODUÇÃO

O solo é um corpo natural que se desenvolve na superfície terrestre, constituído por materiais minerais e orgânicos, resultantes de processos pedogenéticos desencadeados pelas relações entre o clima, os organismos, o material de origem, o relevo e o tempo. Dentre os inúmeros serviços prestados pelos solos para os ecossistemas e agroecossistemas está a nutrição de plantas.

A perda de nutrientes durante o desenvolvimento do solo pode ocorrer por processos naturais e antrópicos, comprometendo a sua fertilidade química. Dentre estes nutrientes propensos à perdas, está o carbono orgânico (CO), o fósforo (P) e o potássio (K).

A matéria orgânica do solo (MOS) é apontada como o maior reservatório de CO terrestre, desde que as reservas fósseis não sejam analisadas. O CO é oriundo de restos animais, vegetais ou de microrganismos na forma de resíduos, em diferentes estágios de decomposição, compostos humificados e materiais carbonizados (ROSCOE; MACHADO, 2002).

O CO é um ótimo indicador de qualidade do solo, pois, atua na elevação da qualidade das suas propriedades físicas, químicas e biológicas (REEVES, 1997). A presença da matéria orgânica no solo provoca uma melhoria na eficiência da adubação fosfatada pela liberação de ácidos orgânicos, que "disputam" pelos sítios de fixação com o P, permitindo-o que fique mais disponível às plantas (BOT e BENITES, 2005).

Nos tecidos vegetais, o K é o cátion mais abundante sendo absorvido pelas raízes em altas quantidades na forma do íon  $K^+$ . Segundo Brady (1989), o K é demandado em amplas quantidades pelas culturas, podendo igualar-se as quantidades de nitrogênio e acumular-se nos resíduos três ou quatro vezes mais que o P. O equilíbrio mais importante, do ponto de vista da nutrição das plantas, se dá entre K solução e K trocável, cujo somatório é considerado K "disponível", fonte imediata para as plantas (CURI et al, 2005).

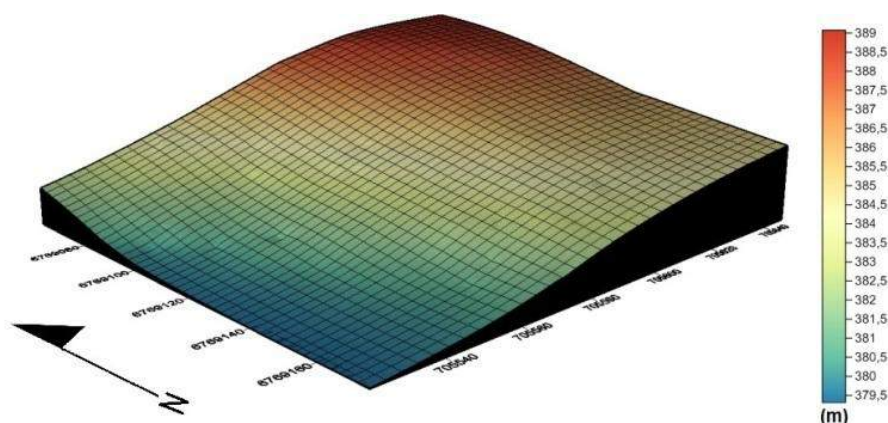
Sabendo-se que o CO é considerado um importante indicador para determinar a qualidade do solo, em função da sua relação com a disponibilidade de P e K, a hipótese do presente trabalho é de que os teores de COT, K e P de NEOSSOLOS possuem variabilidade espacial, com padrões de distribuição que se correlacionam na superfície de uma encosta.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial dos teores de COT, K e P em NEOSSOLOS e as suas correlações na superfície de uma encosta.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado numa encosta de 1,17 ha, com coordenadas centrais UTM 705.589 E e 6.769.112 S (SIRGAS 2000, zona 21 S), na Fazenda Escola da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus de Santiago, RS (FIGURA 1).

Figura 1 - Modelo Digital de Elevação da área de estudo.



Conforme a classificação de Köppen, o tipo climático regional é o Cfa, subtropical úmido, com precipitação abundante em todos os meses do ano, perfazendo uma precipitação anual de 1.919 mm, com temperatura média anual de 17,9 °C (MORENO, 1961). O relevo apresenta feições de suave ondulado a ondulado, com altitudes que alcançam 394 metros. A área de estudo é formada por polipedons de NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos e NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Distróficos, sob campo nativo, com mais de três décadas de ocupação (FIGURA

1).

O procedimento amostral contou com a coleta de amostras deformadas em 52 pontos de prospecções, numa malha com intervalos regulares de 15 x 15 m, na profundidade de 0,0 – 0,20 m. Para a alocação dos pontos foi empregado um receptor GNSS (*Global navigation Satellite System*), com dupla frequência (L1/L2) e disponibilidade de RTK (*Real Time Kinematic*), utilizando o datum horizontal SIRGAS 2000, zona 21 S.

O teor de carbono orgânico (CO) foi determinado pelo método colorimétrico, proposto por Raij et al. (2001); o fósforo disponível foi determinado por colorimetria e o potássio disponível por fotometria de chama, conforme Tedesco et al. (1995).

A variabilidade dos dados foi testada pela análise estatística descritiva e por técnicas de geoestatística. O Coeficiente de Variação (CV) foi classificado conforme Warrick e Nielsen (1980), considerando variabilidade baixa ( $CV < 12\%$ ); média ( $12\% < CV < 60\%$ ); e alta ( $CV > 60\%$ ). Por se tratar de 52 amostras, a hipótese de normalidade dos dados foi examinada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, com 1 % de significância.

A análise da dependência espacial foi realizada por meio da geoestatística, com o ajuste de semivariogramas teóricos (considerando a Média dos Erros Preditos (M), Média dos Erros Padronizada (MS), Raiz Quadrada da Média do Erro ao Quadrado (RMS), Média da Variância dos Erros Padronizados (ASE) e Raiz Quadrada da Média dos Erros Padronizados ao Quadrado (RMSS)). Os modelos que oferecem dados acurados precisam obedecer a premissa de que os valores de M e MS devem estar próximos de zero, e os valores em RMS, ASE e RMSS estejam próximos de 1 (ESRI, 2016). Do ajuste de um modelo matemático aos dados, foram definidos os seguintes parâmetros: efeito pepita, patamar e alcance. Para isso, utilizou-se o software ArcGIS® 10.4.1.

O grau de dependência espacial (GDE) foi classificado conforme Cambardella et al. (1994), onde a dependência espacial é fraca, quando a razão do efeito pepita for superior a 75 % do patamar, a dependência espacial moderada, quando a razão do efeito pepita for superior a 25 % e inferior ou igual a 75 % do patamar e a dependência espacial forte, quando a razão do efeito pepita for inferior ou igual a 25 % do patamar. Posteriormente, no ArcGIS®10.4.1 foram gerados mapas utilizando a krigagem ordinária, que permitiu um maior detalhamento espacial dos fenômenos estudados.

Dos planos digitais de COT, K e P (com 0,5 metros de resolução espacial) foram extraídos 1556 casos estatísticos por meio da ferramenta de extração: extrair múltiplos valores por ponto (ArcToolbox → Spatial Analyst → Ferramentas de extração → Extrair múltiplos valores por ponto). Posteriormente, para analisar o relacionamento entre as variáveis, procedeu-se com a análise de correlação de Pearson ( $p < 0,01$ ).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov indicou que a distribuição dos dados não foi normal, ao nível de significância de 1% (Tabela 1).

A análise estatística descritiva indica que os valores de COT possuem média de 18,30 g Kg<sup>-1</sup>, variando entre 15,30 e 20,18 g Kg<sup>-1</sup>. Já o P apresentou valor médio de 4,41 g Kg<sup>-1</sup> variando entre 0,71 e 6,73 g Kg<sup>-1</sup> e o K demonstrou valores entre 0,17 e 0,62 g Kg<sup>-1</sup>, com média de 0,45 g Kg<sup>-1</sup> (Tabela 1).

Com base na classificação da dispersão do coeficiente de variação (CV), o COT apresentou variação baixa de 4,12%. Já o P e K apresentaram um CV médio, de 22,53% e 25,05%, respectivamente (Tabela 1).



Tabela 1 - Análise estatística descritiva das propriedades químicas de NEOSSOLOS, numa encosta, sob campo nativo.

Propriedades	Pontos	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV (%)
COT (g/Kg <sup>-1</sup> )	1556	15,29590	20,18000	18,3034389	0,75395928	4,12
K (cmolc/dcm <sup>3</sup> )	1556	0,17496	0,62842	0,4500001	0,11267066	25,05
P (mg/dcm <sup>3</sup> )	1556	0,71547	6,73878	4,4198390	0,99562924	22,53

COT = Carbono orgânico total. K = Potássio disponível. P = Fósforo disponível.

O coeficiente de correlação de Pearson que varia de 1 a -1, sendo que valores positivos indicam que uma determinada propriedade aumenta em função da outra e valores negativos indicam o inverso. Dessa maneira, o trabalho demonstrou que quando o COT aumenta, ocorre a elevação dos teores de K e P disponíveis. Conforme Cohen (1988) as correlações entre as propriedades químicas estudadas são classificadas como moderadas (Tabela 2).

Tabela 2 - Coeficientes de correlação de Pearson para as propriedades químicas de NEOSSOLOS, numa encosta, sob campo nativo.

Propriedades	Pontos	COT	K	P
COT (g/Kg <sup>-1</sup> )	1556	-	0,433**	0,483**
K (cmolc/dcm <sup>3</sup> )	1556	0,433**	-	0,387**
P (mg/dcm <sup>3</sup> )	1556	0,483**	0,387**	-

\*\*= Correlação significativa no nível de 1%. COT= Carbono orgânico total. K= Potássio disponível. P = Fósforo disponível.

Conforme Cambardella et al. (1994), os valores do COT e do K apresentaram dependência espacial moderada ( $25\% \leq GDE < 75\%$ ), e o P apresentou GDE forte ( $GDE \leq 25\%$ ) (Tabela 3).

Os componentes responsáveis pelo ajuste da dependência espacial, descreveram para o COT o valor do efeito pepita de 14,2125, e o valor do patamar de 34,08. Para o K, o efeito pepita foi de 0,0063, com um patamar de 0,01. Já para o P, o efeito pepita foi de 0,2047 e o patamar de 3,59. Os semivariogramas para o COT, K e P, apresentaram valores de alcance de 170,26; 29,55; e 77,55, respectivamente. Para Panosso et al. (2008), o alcance é um relevante parâmetro no esboço do semivariograma, representando a distância máxima dos pontos das variáveis correlacionadas espacialmente. A estrutura de dependência espacial para o COT, K e P ajustou os semivariogramas nos modelos teóricos respectivamente, circular, gaussiano e circular.

Tabela 3 - Modelos de semivariogramas ajustados para as propriedades químicas de NEOSSOLOS, numa encosta, sob campo nativo.

COT = Carbono orgânico total. K = Potássio disponível. P = Fósforo disponível. GDE = Grau de dependência espacial.

Propriedades	Modelo	Alcance	Patamar	Pepita	Dependência	GDE (%)
COT (g/Kg <sup>-1</sup> )	Circular	170,26	34,08	14,2125	Moderado	41,71
K (cmolc/dcm <sup>3</sup> )	Gaussiano	29,55	0,01	0,0063	Moderado	63,51
P (mg/dcm <sup>3</sup> )	Circular	77,55	3,59	0,2047	Forte	5,69

No teste de validação cruzada o COT apresentou Média dos Erros Preditos (M) de 0,0753, a Raiz Quadrada da Média do Erro ao Quadrado (RMS) de 5,2492, a Média dos Erros Padronizada (MS) de 0,0148, a Raiz Quadrada da Média dos Erros Padronizados ao Quadrado (RMSS) de 1,0653 e a Média da Variância dos Erros Padronizados (ASE) de 4,9073 (Tabela 4).

Para o K, o valor de M foi de 0,0018, do RMS 0,1119, da MS de 0,0103, do RMSS foi de

0,9869 e a ASE apresentou 0,1132. No P, a M foi 0,0146, o RMS 1,0013, a MS 0,0066, a RMSS foi de 0,9992 e a ASE 1,0052 (Tabela 4).

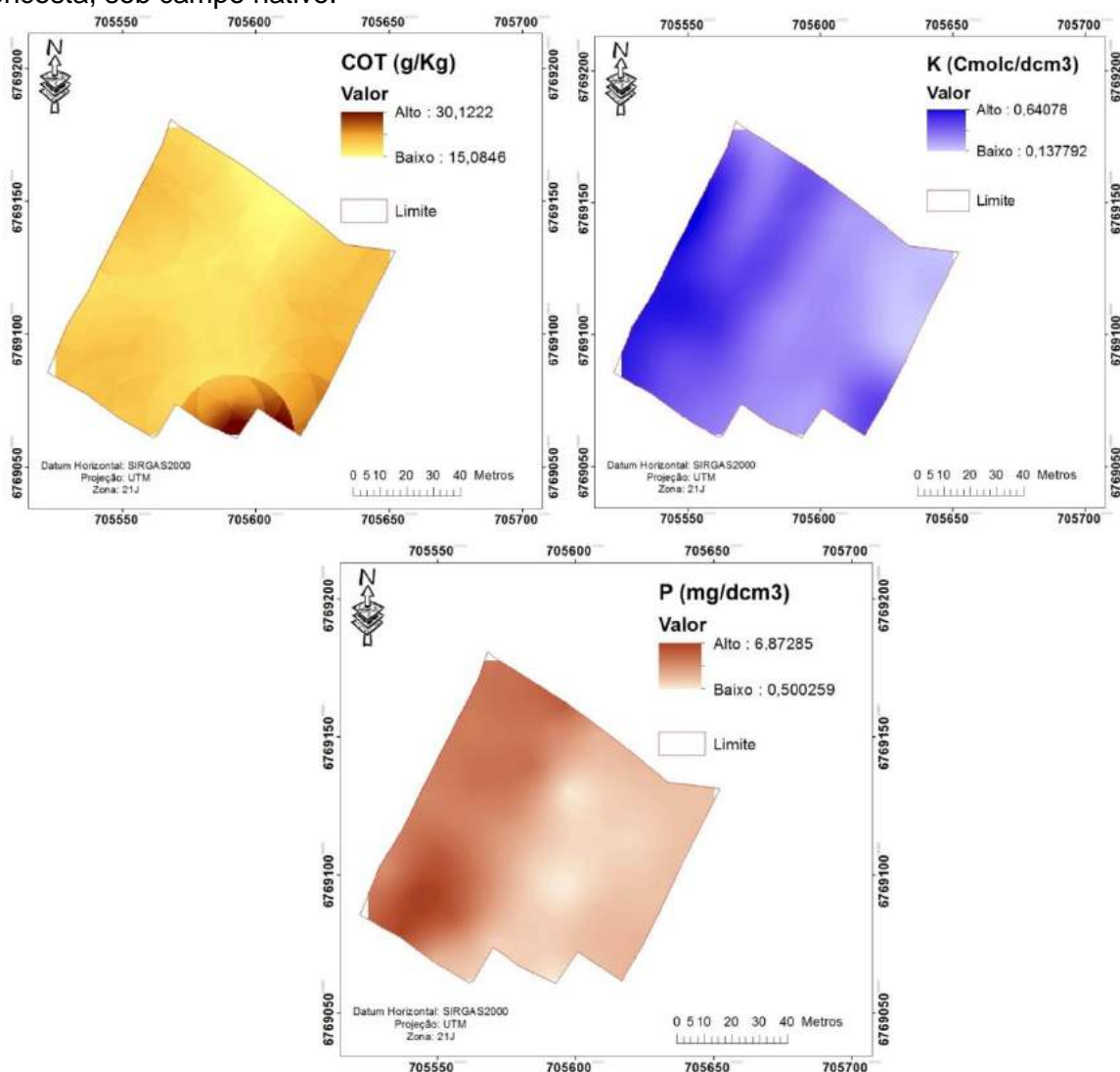
Tabela 4 - Erros de predições dos modelos de semivariogramas das propriedades químicas de NEOSSOLOS, numa encosta, sob campo nativo.

Propriedades	M	RMS	MS	RMSS	ASE
COT ( $\text{g/Kg}^{-1}$ )	0,0753	5,2492	0,0148	1,0653	4,9073
K ( $\text{cmolc/dcm}^3$ )	0,0018	0,1119	0,0103	0,9869	0,1132
P ( $\text{mg/dcm}^3$ )	0,0146	1,0013	0,0066	0,9992	1,0052

M: Média dos Erros Preditos. RMS: Raiz Quadrada da Média do Erro ao Quadrado. MS: Média dos Erros Padronizada. RMSS: Raiz Quadrada da Média dos Erros Padronizados ao Quadrado. ASE: Média da Variância dos Erros Padronizados.

Os mapas (Figura 2) que descrevem a distribuição espacial das variáveis estudadas ratificam as correlações observadas na tabela 2. Conforme as figuras 1 e 2, pode-se observar que a distribuição espacial das variáveis está atrelada ao gradiente inverso de elevação, pois, observa-se que ocorre um incremento nos teores de COT, K e P no terço inferior da encosta.

Figura 2 - Mapas da distribuição espacial das propriedades químicas de NEOSSOLOS, numa encosta, sob campo nativo.



Nos mapas temáticos podemos analisar que o teor de COT ficou concentrado no topo da área e no terço inferior (Figura 1; Figura 2). Para o K, os resultados mostraram uma distribuição em toda a área, apresentando uma diminuição apenas no terço superior da encosta. Os maiores teores de P disponível encontram-se na área de depósito (terço inferior da encosta), e os menores valores no terço médio, onde os processos erosivos são mais intensos.

## 4 CONCLUSÕES

- Os teores de COT, K e P de NEOSSOLOS possuem variabilidade espacial, com padrões de distribuição que se correlacionam na superfície de uma encosta.
- Os maiores teores de P e K disponíveis foram mensurados no terço inferior da encosta (área de depósito), e estes teores podem estar atrelados a deposição destes nutrientes durante os processos erosivos.
- A densidade amostral foi de grande importância para a definição das variáveis com exatidão.

## REFERÊNCIAS

BOT, A.; BENITES, J. The importance of soil organic matter, Key to drought-resistant soil and sustained food production. **FAO Soils Bulletin**, 2005. 80p.

BRADY, N.C. Suprimento e assimilabilidade de fósforo e potássio. In: BRADY, N.C. **Natureza e propriedade dos solos**. 7.ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1989. p.373- 413.

CAMBARDELLA, C.A. et al. **Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils**. Soil Sci. Soc. Am. J., 58:1501-1511, 1994.

COHEN, Jacob. (1988), **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. Hillsdale, NJ, Erlbaum.

CURI, N; KÄMPF, N.; MARQUES, J. J. Mineralogia e formas de potássio em solos brasileiros. In YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.). Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: Potafós, 2005.

ESRI. ENVIROMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Using ArcGIS geostatistical analyst**. Redlands, 2016.

LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L.; MACHADO, P.L.O.A.; GALVÃO, J.C.C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.821-832, 2003.

MANFRINATO, W.; PICCOLO, M. de C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; CERRI, C. E. P. Monitoring carbon stocks in soil of a forest-pasture chronosequence and determining its origin with isotope technology in Guaraqueçaba (PR), Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FOREST CARBON SEQUESTRATION AND MONITORING, 2002, Taipei. Proceedings... Taipei: **Taiwan Forest Research Institute**, Nov. 2002. p. 142-153.

MARQUES JÚNIOR, J. **Caracterização de áreas de manejo específico no contexto das relações solo-relevo**. 2009. 113 f. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLACO, A. F. Agricultura de precisão. São Paulo: **Oficina de**

textos, p. 111, 2015.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonizações, Secção de Geografia, 1961. 46p.

NELSON, D.W. & SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H. & KEENEY, D.R., eds. Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties. Part 2. Madison, **Soil Science Society of America**, 1982. p.539-579.

PANOSSO, A. R.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JÚNIOR, J.; LA SCALA JÚNIOR, N. Variabilidade espacial da emissão de CO<sub>2</sub> em Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo. **Engenharia Agrícola**, v.28, p.227-236, 2008.

PRADO, M. R. Nutrição de plantas. São Paulo: **UNESP**, 2008. 407p.

REEVES, D. W. The role of soil organic matter in maintaining quality in continuous cropping systems. **Soil and Tillage Research**, v. 43, n. 1-2, p. 131-167, nov. 1997.

ROSCOE, R.; MACHADO, P.L.O.A. Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2002. 86p.

SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O.; CERETTA, C. A. **Composição da fase sólida orgânica do solo**. In: MEURER, E. J. (Ed.). Fundamentos de química do solo. Porto Alegre: Evangraf, 2010. 69 p.

SWIFT, R.S. Method for extraction of IHSS soil fulvic and humic acids. In: SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T.; SUMMER, M.E. Methods of soil analysis. Madison: **Soil Science Society of America**, 1996. p.1018-1020.

TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147p.

TOLEDO, J. J. de. **Influência do solo e topografia sobre a mortalidade de árvores e decomposição de madeira em uma floresta de terra-firme na Amazônia Central**. 2009. 85 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus.

# VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DAS FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO PÓS-INSERÇÃO DA CULTURA DA SOJA COM PLANTIO CONVENCIONAL SOB CAMPO NATIVO

*Space and temporal variability of fractions of organic matter of soil post-insertion of soybean culture in conventional planting system under native field*

Daniel Nunes Krum<sup>1</sup>, Júlio Cesar Wincher Soares<sup>2</sup>, Claiton Ruviano<sup>2</sup>, Guilherme Fávero Rosado<sup>1</sup>, Thiago Floriano Cardoso<sup>1</sup>, Lenon Vaz<sup>1</sup>, Gustavo Lamana<sup>1</sup>, Nádia Mariane Mucha<sup>1</sup>, Guilherme Guerin Munareto<sup>1</sup>, Jessica Santi Boff<sup>1</sup>, Higor Machado de Freitas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Agronomia, Laboratório de Solos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI – Campus Santiago. Avenida Batista Bonoto Sobrinho, Santiago-RS, 97700-000. [daniel.krum@hotmail.com](mailto:daniel.krum@hotmail.com)

<sup>2</sup> Professor Dr. do Curso de Agronomia. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI – Campus Santiago

<sup>3</sup> Professor Coord. Dr. do Curso de Agronomia. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI – Campus Santiago

## RESUMO

A matéria orgânica do solo resulta da decomposição dos restos vegetais, é composta por diferentes frações, que são de grande importância no que diz respeito à qualidade do solo. Objetivou-se neste estudo avaliar a variabilidade espacial e temporal das frações da matéria orgânica do solo pós-inserção da cultura da soja com plantio convencional, sob campo nativo. Foram utilizados 52 pontos de prospecção, com uma malha amostral de 15 x 15 m. A análise estatística descritiva e a geoestatística, através da krigagem ordinária, foram de grande valia para a compreensão da variabilidade espaço-temporal das frações da matéria orgânica. A densidade amostral foi de grande importância para a determinação das variáveis com acurácia, houve um decréscimo significativo nas frações da matéria orgânica do solo após o plantio convencional e também a redistribuição destas frações na área de estudo.

**Palavras-chave:** Indicador de qualidade do solo. Espaço-temporal. Pedometria.

## ABSTRACT

The soil organic matter is the result of the decomposition of the vegetal remains and is composed of different fractions, which are of great importance with regard to the quality of the soil. The objective of this study was to evaluate the spatial and temporal variability of soil organic matter fractions after soybean crop insertion under conventional field system under native field. Were used 52 prospecting points, with a sample mesh of 15 x 15 m. The descriptive statistical analysis and also the geostatistics, through ordinary kriging, were of great value for the understanding of the obtained results. The sampling density was of great importance for the determination of the variables with exactness, there was a significant decrease in the fractions of the organic matter of the soil after the system of conventional planting and also the redistribution of these fractions in the study area.

**Keywords:** Indicator of soil quality. Spatiotemporal. Pedometry.

## 1 INTRODUÇÃO

O manejo do solo, seja ele convencional ou não, altera as suas propriedades químicas, físicas e biológicas, em relação a solos não cultivados, como aqueles encontrados em campos nativos. Práticas de manejo adequadas do solo proporcionam uma melhoria significativa na qualidade das propriedades, isto de forma gradativa, até chegar a uma fertilidade química, física e biológica ideal. Em contrapartida, um manejo inadequado pode culminar na degradação do solo através de processos erosivos, de mudanças de uso e ocupação das terras, gerando uma redução significativa na fertilidade do solo (LEITE et al., 2010).

A Matéria Orgânica do Solo (MOS) é um ótimo indicador da qualidade do solo e a sua importância em relação à fertilidade é amplamente reconhecida (REICHERT et al., 2003). Além disso, a MOS é um grande reservatório de Carbono Orgânico (CO), isso se as reservas fósseis não forem levadas em conta, assim demonstrando cerca de duas vezes a quantidade do C da atmosfera e da biomassa vegetal (SWIFT, 2001). Os teores de MOS presentes no solo são regulados pelas taxas de produção de material orgânico, pela distribuição da parte aérea e raízes das plantas e pela velocidade de decomposição dos compostos orgânicos (BATJES, 1996).

As mudanças que ocorrem pelo uso e manejo dos solos são avaliadas por meio do fracionamento físico da MOS. O fracionamento granulométrico da MOS pode auxiliar na avaliação das modificações decorrentes do uso devido à maior sensibilidade dessas frações frente ao manejo utilizado (BAYER et al., 2004); estas frações são divididas em três: fração leve-livre (FLL), fração leve oclusa (FLO) e fração pesada (FP). Desta maneira, a FLL ou interagregados possui uma formação semelhante à de materiais vegetais (GOLCHIN et al., 1994). A FLO ou intra-agregados concebe um conjunto variado de compostos orgânicos, com um grau de decomposição mais evoluído em relação à FLL (BALDOCK et al., 1992); a FP consiste em uma fração orgânica em processo mais avançado de decomposição e que tem estreita relação com os minerais do solo (SOLLINS et al., 1996).

A geoestatística, ferramenta estatística utilizada para verificar a existência ou não da variabilidade e da distribuição espacial das medidas estudadas, isso consiste numa importante ferramenta para a análise e descrição detalhada da variabilidade das propriedades do solo (VIEIRA et al., 2002) e isto possibilita a interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade natural das propriedades avaliadas, considerando a dependência espacial dentro do intervalo de amostragem (RODRIGUES et al., 2004).

Portanto, as práticas propostas pelo plantio convencional reduz significativamente as frações da matéria orgânica do solo e as redistribui na área de estudo.

Desta maneira, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a variabilidade espacial e temporal das frações da matéria orgânica do solo, pós-inserção da cultura da soja com de plantio convencional, sob campo nativo.

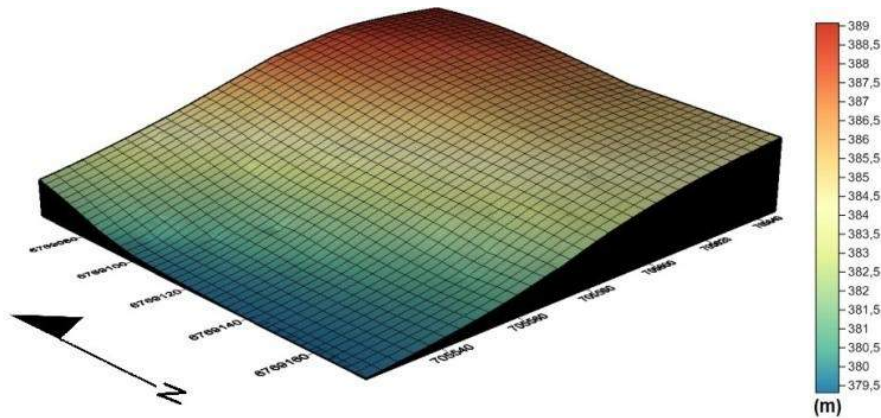
## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no município de Santiago, no Vale do Jaguari, Rio Grande do Sul, na Fazenda Escola da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus Santiago, com coordenadas centrais UTM 705.589 E e 6.769.112 S (SIRGAS 2000, zona 21 S) (Figura 1). De acordo com a classificação de Köppen, o tipo climático que predomina é o Cfa, subtropical úmido com precipitação abundante em todos os meses do ano, perfazendo uma precipitação anual de 1.919 mm, com temperatura média anual de 17,9 °C (MORENO, 1961).

O relevo apresenta feições de suave ondulado a ondulado, com altitudes que alcançam cerca de 394 metros. A área de estudo é formada por polipedons de NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos e NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Distróficos, sob campo nativo, com mais de três décadas de ocupação, numa encosta (catena) com área de 1,17 ha e que posteriormente, foi feita a inserção da cultura da soja em plantio convencional (Figura 1).

Foram coletadas amostras num total de 52 pontos de prospecções em dois momentos, no primeiro ano campo nativo e no ano seguinte, plantio convencional. Foi utilizada uma malha, com intervalos regulares de 15 x 15 m, na profundidade de 0,0 – 0,20 m.

Figura 1 – Modelo Digital de Elevação da área de estudo.



Para a alocação dos pontos foi empregado um receptor GNSS (*Global navigation Satellite System*), com dupla frequência (L1/L2) e disponibilidade de RTK (*Real Time Kinematic*), utilizando o datum horizontal SIRGAS 2000, zona 21 S. Foram coletadas amostras deformadas para determinação das diferentes frações da MOS, por meio do método adaptado de Six et al. (1998). Foram adicionados 10 g de solo (seco ao ar e peneirado a 2000  $\mu\text{m}$ ) e 60 ml de hexametáfosfato de sódio ( $5 \text{ g L}^{-1}$ ) em *snap-cap*. Em seguida, realizou-se a agitação por 18 horas. O procedimento de agitação teve por objetivo o rompimento dos agregados do solo, com a decorrente liberação da MO que estava associada às partículas do solo. Após a agitação, utilizando-se de jatos de água destilada, as amostras foram fracionadas em peneiras de 250  $\mu\text{m}$  e 53  $\mu\text{m}$ . O material retido nas peneiras de 53  $\mu\text{m}$  e 250  $\mu\text{m}$  perfazem a fração leve oclusa (FLO) e a fração leve livre (FLL) da MOS, respectivamente, já o material inferior a 53  $\mu\text{m}$  perfaz a fração pesada (FP) da MOS. O teor de carbono orgânico (CO) foi determinado pelo método colorimétrico, proposto por Raij et al. (2001).

A variabilidade das frações da MOS foi avaliada pela análise estatística descritiva e por técnicas de geoestatística. O Coeficiente de Variação (CV) foi classificado conforme Warrick e Nielsen (1980), considerando variabilidade baixa ( $\text{CV} < 12\%$ ); média ( $12\% < \text{CV} < 60\%$ ); e alta ( $\text{CV} > 60\%$ ). Por se tratar de 52 amostras por ocupação, 52 no campo nativo e 52 no plantio convencional, a hipótese de normalidade dos dados foi examinada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, com 1 % de significância.

A análise da dependência espacial foi realizada por meio da geoestatística, com o ajuste de semivariogramas teóricos considerando a Média dos Erros Preditos (M), Média dos Erros Padronizada (MS), Raiz Quadrada da Média do Erro ao Quadrado (RMS), Média da Variância dos Erros Padronizados (ASE) e Raiz Quadrada da Média dos Erros Padronizados ao Quadrado (RMSS). Os modelos que oferecem dados acurados precisam obedecer a premissa de que os valores de M e MS devem estar próximos de zero, e os valores em RMS, ASE e RMSS estejam próximos de 1 (ESRI, 2016). Do ajuste de um modelo matemático aos dados, foram definidos os seguintes parâmetros: efeito pepita, patamar e alcance. Para isso, utilizou-se o software ArcGIS® 10.4.1. O Grau de Dependência Espacial (GDE) foi classificado conforme Cambardella et al. (1994), onde a dependência espacial é fraca, quando a razão do efeito pepita for superior a 75 % do patamar, a dependência espacial moderada, quando a razão do efeito pepita for superior a 25 % e inferior ou igual a 75 % do patamar e a dependência espacial forte, quando a razão do efeito pepita for inferior ou igual a 25 % do patamar. Posteriormente, no software do Sistema de Informações Geográficas ArcGIS® versão 10.4.1 foram gerados mapas utilizando a krigagem ordinária, que permitiu um maior detalhamento espacial dos fenômenos estudados.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à análise descritiva das frações da MO, apresentaram distribuição normal para todas as frações, conforme o teste de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 1% de significância.

A análise estatística descritiva, da área com campo nativo, revela que os valores de Carbono Orgânico Total (CO<sub>TOTAL</sub>) possuem média de 18,83 g Kg<sup>-1</sup>, variando entre 13,91 e 51,86 g Kg<sup>-1</sup>. Já a Fração Pesada (FP) da Matéria Orgânica do Solo (MOS) de agregados com tamanho inferior a 53 µm apresentou valores de Carbono Orgânico (CO) variando entre 8,60 e 50,85 g Kg<sup>-1</sup>, perfazendo a média de 16,56 g Kg<sup>-1</sup> (Figura 1). A Fração Leve Livre (FLL) de agregados com tamanho de 53 a 250 µm demonstraram valores de CO variando entre 0,31 e 9,10 g Kg<sup>-1</sup>, com média de 1,57 g Kg<sup>-1</sup>. Por fim, os agregados da Fração Leve Oclusa (FLO) com tamanho de 250 a 2000 µm obtiveram valores de CO oscilando de 0,09 g Kg<sup>-1</sup> a 2,88 g Kg<sup>-1</sup>, com média de 0,70 g Kg<sup>-1</sup> (Tabela 1).

Tabela 1 - Análise descritiva das frações da matéria orgânica de um NEOSSOLO LITOLICO Distrófico e NEOSSOLO REGOLITICO Distrófico sob campo nativo e plantio convencional.

Ocupação	Fração (g.Kg <sup>-1</sup> )	Casos	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Variância	CV (%)	K-S	SIG
CN	CO <sub>TOTAL</sub>	52	13,91	51,86	18,83	5,32	28,39	28,25	1,52	0,02
	CO <sub>s53µm</sub>	52	8,60	50,85	16,56	5,58	31,18	33,69	1,52	0,02
	CO <sub>53-250µm</sub>	52	0,31	9,10	1,57	1,26	1,60	80,25	1,62	0,01
	CO <sub>250-2000µm</sub>	52	0,09	2,88	0,70	0,54	0,29	77,14	0,96	0,03
PC	CO <sub>TOTAL</sub>	52	1,41	21,66	14,73	2,92	8,56	19,82	0,98	0,28
	CO <sub>s53µm</sub>	52	0,20	19,88	13,03	2,71	7,36	20,79	0,86	0,44
	CO <sub>53-250µm</sub>	52	0,30	3,95	1,23	0,72	0,52	58,53	1,39	0,04
	CO <sub>250-2000µm</sub>	52	0,19	1,92	0,46	0,28	0,08	60,86	1,59	0,02

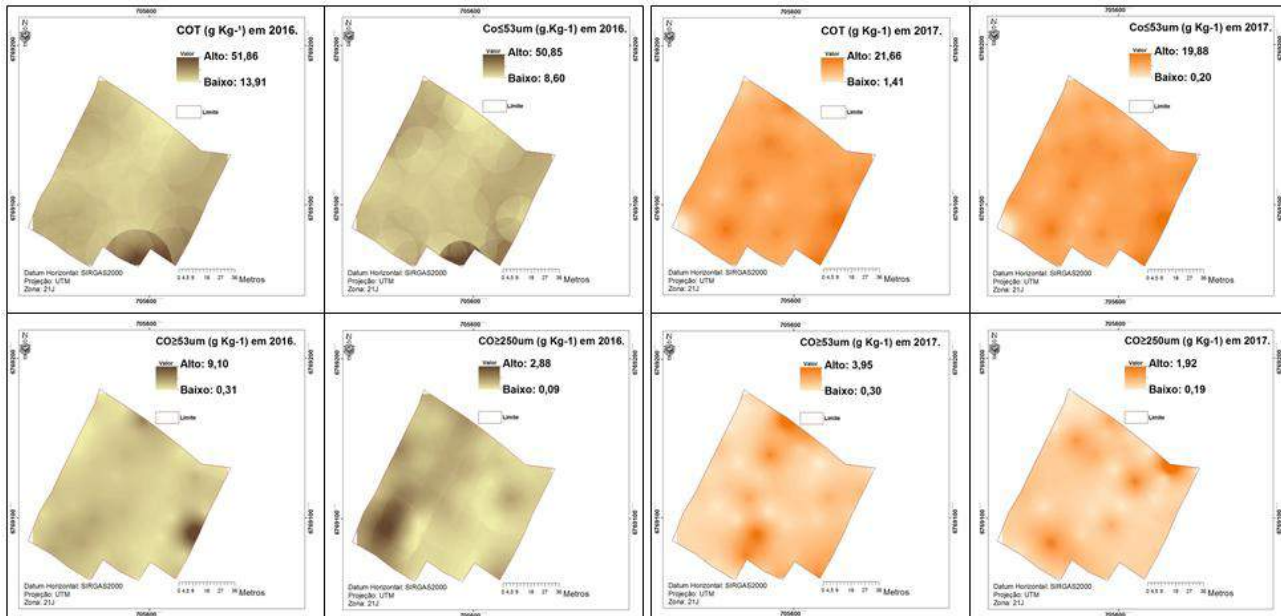
CN: Campo Nativo. PC: Plantio Convencional. CO: Carbono Orgânico. CV: Coeficiente de Variação. K-S: Teste de Kolmogorov-Smirnov. Sig: Significância (p<0,01).

O Coeficiente de Variação (CV) da FP é classificado como de média variabilidade, indo de encontro com os resultados encontrados por Souza et al., 2003 e Souza et al., 1997. O CO das frações FLL e FLO apresentaram CV que vão de encontro com os valores encontrados por SÁ et al. (2000). O valor de CO para a FP apresentou CV médio, o que demonstra um grande potencial para armazenar carbono nas frações mais finas, o qual tem a MO agregada aos minerais e assim impede a sua saída. Além disso, afeta a decomposição da camada orgânica do solo e a entrada de CO para o solo via produtividade da planta (MCLAUHLAN, 2006).

O CO na fração FLL apresentou alto CV, apresentando um menor teor de CO, e segundo Nicoloso (2005), essa fração é considerada como a MO associada à fração areia. Verifica-se, nestas áreas com campo nativo, a decomposição do CO, mostrando que nesses solos o efeito no decréscimo do conteúdo de carbono ocorre de forma rápida, em ambas as frações, conforme Stürmer et al. (2011). O valor da FLO apresenta alta variação, uma vez que essa fração é formada no entorno da matéria orgânica particulada que foi adicionada recentemente ao solo (SIX et al., 1999). Portanto, esses resíduos com aporte recente favorecem à formação de macroagregados e agentes cimentantes (GOLCHIN et al., 1994). A Figura 2 ilustra a distribuição espacial das variáveis analisadas.



Figura 2 - Distribuição espacial das diferentes frações do Carbono Orgânico de um NEOSSOLO LITOLICO Distrófico e NEOSSOLO REGOLITICO Distrófico sob campo nativo e plantio convencional.



COT: Carbono Orgânico Total. CO: Carbono Orgânico.

Nesta mesma área, após a introdução do plantio convencional (Figura 1), os valores obtidos na análise estatística descritiva apresentaram média de 14,73 g Kg<sup>-1</sup>, oscilando entre 1,41 e 21,66 g Kg<sup>-1</sup>, na fração CO<sub>TOTAL</sub>. A fração FP apresentou valores de CO variando entre 0,20 e 19,88 g Kg<sup>-1</sup>, com uma média de 13,03 g Kg<sup>-1</sup>. A fração FLL demonstrou valores de CO alternando entre 0,30 e 3,95 g Kg<sup>-1</sup>, com média de 1,23 g Kg<sup>-1</sup>. Já a fração FLO obteve valores oscilando entre 0,09 g Kg<sup>-1</sup> a 2,88 g Kg<sup>-1</sup>, com média de 0,70 g Kg<sup>-1</sup> (Tabela 1).

As frações CO<sub>TOTAL</sub>, FP e FLL apresentaram baixa variabilidade, indo de encontro aos resultados encontrados por Pocay (2000). Já a fração FLO, apresentou alta variabilidade, uma vez que esta fração tenha sido adicionada recentemente ao solo e ser composta por resíduos vegetais que foi parcialmente decomposto (SIX et al., 2002).

A classificação dos valores encontrados para o CV, em todas as frações de CO vão de encontro aos encontrados por Warrick e Nielsen (1980).

Na área de campo nativo, para o CO<sub>TOTAL</sub> e para a FLO o modelo que melhor se ajustou foi o circular, apresentando um alcance de 170,26 e 25,71 m; com patamar 34,08 e 0,25; efeito pepita 14,21 e 0; e Grau de Dependencial Espacial (GDE) de 41,71 % e 0, classificado como moderado e forte, conforme Cambardella et al. (1994), respectivamente. Na fração FP e FLL o modelo que melhor se ajustou foi o exponencial, com um alcance de 170,26 e 28,84 m; o patamar encontrado foi 29,73 e 1,53; o efeito pepita foi de 13,20 e 0; o GDE apresentou valores de 44,43 e 0 %, sendo classificados, como moderada e forte, de acordo com Cambardella et al. (1994), respectivamente (Tabela 2).

Após o plantio convencional, o modelo exponencial se ajustou para todas as frações, assim como o efeito pepita foi 0. Nas frações CO<sub>TOTAL</sub> e FLL o alcance foi de 28,84 m; o patamar foi de 6,80 e 0,59; o GDE destas frações foi de 0 %, classificado como forte (CAMBARDELLA et al., 1994) (Tabela 2).

Tabela 2 - Parâmetros dos modelos de semivariogramas ajustados para as frações do Carbono Orgânico do solo, sob campo nativo e plantio convencional.

Ocupação	Frações (g.Kg <sup>-1</sup> )	Modelo	Alcance	Patamar	Pepita	M	RMS	MS	RMSS	ASE	Dependência	GDE (%)
CN	CO <sub>TOTAL</sub>	Circular	170,26	34,08	14,21	-0,075	5,228	-0,014	1,065	4,907	Moderada	41,71
	CO <sub>53um</sub>	Exponencial	170,26	29,73	13,20	-0,186	5,395	-0,035	1,073	5,000	Moderada	44,43
	CO <sub>53-250um</sub>	Exponencial	28,84	1,53	0,00	-0,007	1,410	-0,008	1,181	1,171	Forte	0,00
	CO <sub>250-2000um</sub>	Circular	25,71	0,25	0,00	-0,002	0,423	-0,005	0,999	0,419	Forte	0,00
PC	CO <sub>TOTAL</sub>	Exponencial	28,84	6,80	0,00	0,070	2,877	0,029	1,146	2,441	Forte	0,00
	CO <sub>53um</sub>	Exponencial	27,50	5,77	0,00	0,069	2,710	0,031	1,157	2,271	Forte	0,00
	CO <sub>53-250um</sub>	Exponencial	28,84	0,59	0,00	-0,002	0,710	-0,000	0,994	0,721	Forte	0,00
	CO <sub>250-2000um</sub>	Exponencial	27,50	0,09	0,00	0,007	0,330	0,023	1,222	0,278	Forte	0,00

CN: Campo Nativo. PC: Plantio Convencional. M: Média. RMS: Raiz Quadrada Média. MS: Média Padronizada. RMSS: Raiz Quadrada Média Padronizada. ASE: Erro Médio Padrão. GDE: Grau de Dependência Espacial.

Um critério importante para estudos de geoestatística é o alcance, que significa a distancia máxima que a variável em estudo está correlacionada espacialmente (DAVIS, 1986), ou seja, maiores valores de alcance contribuem para uma maior confiança nas estimativas feitas (CORÁ, 2006). O alcance é um elemento importante para o delineamento e avaliação experimental, podendo contribuir para a definição de procedimentos amostrais (SOUZA et al., 2008), tendo aplicação direta no que se refere ao plano de amostragem na agricultura de precisão.

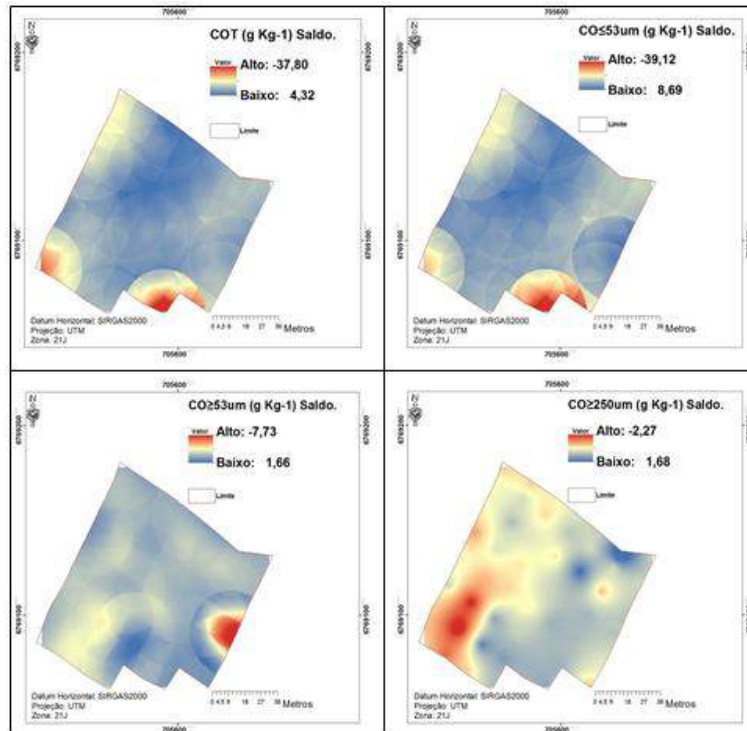
Conforme Cambardella et al. (1994), o patamar é de grande importância na determinação do alcance, ou seja, é o limite entre a dependência espacial e a independência espacial entre os dados, sendo de grande valia para determinar qual método estatístico deve ser usado para a realização das análises dos dados, assim como na definição da mínima distancia entre os pontos amostrais.

Comumente, uma dependência espacial forte das propriedades do solo é atribuída aos fatores intrínsecos, à medida que, aos extrínsecos, pode-se conceber fraca dependência (CAMBARDELLA et al., 1994).

O efeito pepita é um fator importante que indica a variabilidade não explicada pelo modelo geoestatístico, levando em consideração a distância de amostragem utilizada (MCBRATNEY 1986). Esse fator pode ser expresso em porcentagem em relação ao patamar, com a finalidade de facilitar a comparação entre o GDE e as variáveis em estudo (TRANGMAR et al., 1985). A análise do efeito pepita é de grande importância, pois, quanto menor for o seu valor, maior será a continuidade do fenômeno e menor será a variância da estimativa (ISAAKS, 1989).

Para fins de comparação, foram geradas informações de saldo entre as áreas com campo nativo e plantio convencional, com a intenção de quantificar as perdas ou os ganhos de CO (Figura 3). Os valores negativos apresentados na Tabela 3 referem-se as perdas de CO<sub>TOTAL</sub> e das suas diferentes frações. A fração de CO<sub>TOTAL</sub> demonstrou média de -4,10, variando entre 4,31 e -37,80 g.Kg<sup>-1</sup>. Na fração FP os valores variaram de 8,69 até -39,12 g.Kg<sup>-1</sup>, com média de -3,52 g.Kg<sup>-1</sup>. Já para a fração FLL os valores oscilaram entre 1,66 e -7,73 g.Kg<sup>-1</sup>, com um valor intermediário de -0,34 g.Kg<sup>-1</sup>. Por fim, a fração FLO obteve média -0,23 g.Kg<sup>-1</sup>, variando entre 1,68 e -2,27 g.Kg<sup>-1</sup> (Tabela 3).

Figura 3 - Distribuição espacial do saldo das diferentes frações do Carbono Orgânico de um NEOSSOLO LITOLICO Distrófico e NEOSSOLO REGOLITICO Distrófico, sob campo nativo e plantio convencional.



COT: Carbono orgânico total. CO: Carbono orgânico.

Tabela 3 - Análise descritiva do saldo das frações da matéria orgânica de um NEOSSOLO LITOLICO Distrófico e NEOSSOLO REGOLITICO Distrófico, sob campo nativo e plantio convencional.

Fração (g.Kg <sup>-1</sup> )	Casos	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Variância	CV (%)	K-S	SIG
CO <sub>TOTAL</sub>	52	4,32	-37,80	-4,10	5,98	35,80	145	1,61	0,01
CO <sub>53um</sub>	52	8,69	-39,12	-3,52	6,37	40,60	180	1,52	0,01
CO <sub>53-250um</sub>	52	1,66	-7,73	-0,34	1,29	1,68	379	1,18	0,12
CO <sub>250-2000um</sub>	52	1,68	-2,27	-0,23	0,64	0,41	278	0,73	0,65

CO: Carbono orgânico. CV: Coeficiente de variação. K-S: Teste de Kolmogorov-Smirnov. Sig: Significância (p<0,01)

Na análise geoestatística, para a fração CO<sub>TOTAL</sub>, o modelo que melhor se ajustou foi exponencial, com um alcance de 170,26 m, patamar de 31,77 e efeito pepita de 16,65. A dependência espacial foi classificada como moderada com GDE de 52,42 % (Tabela 3). A fração FP se ajustou ao modelo esférico, com alcance de 170,26 m, patamar de 36,76 e efeito pepita 18,50; a dependência espacial foi classificada como moderada, com um GDE de 50,33. A fração FLL ajustou-se ao modelo gaussiano, com alcance de 48,04 m, patamar de 0,50 e efeito pepita 0,02. A dependência espacial foi classificada como forte, com um GDE de 0,05 %. Por fim, a fração FLO se ajustou ao modelo exponencial, o alcance foi de 27,50, o patamar 0,39 e o efeito pepita 0; a dependência espacial foi classificada como forte, com um GDE de 0 %.

Tabela 4 - Parâmetros dos modelos de semivariogramas ajustados para as frações do Carbono Orgânico do solo sob campo nativo e plantio convencional.

Frações (g.Kg <sup>-1</sup> )	Modelo	Alcance	Patamar	Pepita	M	RMS	MS	RMSS	ASE	Dependência	GDE (%)
CO <sub>TOTAL</sub>	Exponencial	170,26	31,77	16,65	-0,351	6,078	-0,061	1,102	5,472	Moderada	52,42
CO <sub>s3um</sub>	Esférico	170,26	36,76	18,50	-0,292	6,467	-0,047	1,100	5,816	Moderada	50,33
CO <sub>s3-250um</sub>	Gaussiano	48,04	0,50	0,02	0,007	1,352	0,005	1,073	1,252	Forte	0,05
CO <sub>250-2000um</sub>	Exponencial	27,50	0,39	0,00	-0,008	0,595	-0,012	1,015	0,589	Forte	0,00

COT: Carbono orgânico total. CO: Carbono orgânico.

No geral, todas as frações do CO apresentaram valores de perda bastante significativos quando submetidas ao plantio convencional, que de acordo com Bayer et al. (2006), expõe a MOS e que podem chegar a perdas de 4 % ao ano. Estas perdas predominam no terço superior e numa pequena área de depósito, entretanto, em alguns pontos de amostragem houve um aumento destas frações, em razão de que onde continham os maiores teores de CO, após o revolvimento do solo e devido às chuvas, a declividade e conseqüentemente aos processos erosivos presentes na área, estas frações foram redistribuídas no terço médio da encosta (catena). Tal fato corrobora com a ideia de que o horizonte superficial dos solos, após sofrer uma desestruturação dos agregados, começa sofrer uma degradação e um empobrecimento devido aos processos erosivos. Uma das conseqüências da diminuição do CO no solo é exatamente a desestruturação dos agregados do solo, o que favorece ao processo de escoamento superficial (FRANCO et al., 2002).

Este estudo abre novos caminhos para pesquisas futuras, pois, possibilita relacionar os atributos do terreno com as diferentes frações da MOS; também, utilizar traçadores isotópicos como o Césio-137 e C14 para estudar a redistribuição do solo e da MOS. Por fim, utilizar modelos de redistribuição da MOS, como o Sperm C (VAN OOST et al., 2005), para descrever estes processos na escala de encostas (catena).

## 4 CONCLUSÃO

Todas as frações da MOS, após a implantação do plantio convencional, tiveram seus valores reduzidos.

O plantio convencional, além de reduzir os teores de MOS, também contribuiu para a redistribuição da MOS na área de estudo.

A densidade amostral foi de grande importância para a definição das variáveis com exatidão.

A análise da distribuição espacial aliada à krigagem possibilitou o mapeamento da variabilidade espaço-temporal das frações da matéria orgânica, proporcionando melhor visualização do seu comportamento na área de estudo e do impacto causado pelo plantio convencional na matéria orgânica do solo.

## REFERENCIAS

BALDOCK, J.A. et al. Aspects of the chemical-structure of soil organic materials as revealed by solid-state C 13 NMR-Spectroscopy. **Biogeochemistry**, 16:1-42, 1992.

BATJES, N.H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.47, n.2, p.151-163, 1996.

BAYER, C. et al. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.7, p.677-683, 2004.

- BAYER, C. et al. **A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments.** Soil Till. Res., 91:217-226, 2006.
- CAMBARDELLA, C.A. et al. **Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils.** Soil Sci. Soc. Am. J., 58:1501-1511, 1994.
- CORÁ, J. E. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.
- CORÁ, J. E. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v.26, p.374-387, 2006.
- DANTAS, JUSSARA SILVA. et al. Coeficiente de erodibilidade em sulcos e entressulcos de Argissolos coesos estimado pela cor do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** (1977), v. 49, p. 700-707, 2014.
- DAVIS, J.C. **Statistics and data analysis in geology.** 2.ed. New York: John Wiley, 1986. 646p.
- ENVIROMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Using ArcGIS geoestatistical analyst.** Redlands, 2016.
- ENVIROMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Using ArcGIS geoestatistical analyst.** Redlands, 2016.
- FRANCO, F. S. et al. Quantificação de erosão em sistemas agroflorestais e convencionais na Zona de Mata de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.26, n.6, p.751-760, 2002.
- FELLER, C. et al. (1997) **Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics.** Geoderma, 79:69-116.
- GOLCHIN, A. et. al. Study of free and occluded particulate organic matter in soil by solid state <sup>13</sup>C CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 32, n. 2, p. 285-309, 1994.
- GREGORICH, E.G. et al. Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, v.70, p.975-985, 2006.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapas temáticos do Projeto RADAMBRASIL do Rio Grande do Sul na escala 1:250.000.** IBGE/SAA - RS, Florianópolis. 2003 CD - ROM.
- ISAACS, E.H. et al. **An introduction to applied geostatistics.** New York: Oxford University, 1989. 561p.
- LEITE, L. F. C. et al. Soil organic carbon and biological indicators in an Acrisol under tillage systems and organic management in north-eastern Brazil. **Australian Journal of Soil Research**, v. 48, p. 258-265, 2010.
- MCBRATNEY, A.B. et al. Choosing functions for semivariograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, v.37, p.617-639, 1986.
- MCLAUCHLAN, K.K. **Effects of soil texture on soil carbon and nitrogen dynamic after cessation of agriculture.** Geoderma, 136:289-299, 2006.
- MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonizações, Seção de Geografia, 1961. 46p.
- NICOLOSO, R.S. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema de plantio direto.** 2005. 150f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade

Federal de Santa Maria.

PAUL, E.A. ; CLARK, F.E. 1989. **Soil Microbiology and Biochemistry**. San Diego, Academic Press.

POCAY, V.G. **Relações entre pedoforma e variabilidade espacial de atributos de latossolos sob cultivo intensivo de cana-de-açúcar**. 2000. 177p. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de São Paulo, Jaboticabal.

REICHERT, J.M. et al. . **Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas**. Ciência ; Ambiente, Santa Maria-RS, v. 27, p. 29-48, 2003.

RODRIGUES, V. S. et al. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, 2004, 34 (março-abril).

SILVA, L. G. da et al. Physical, chemical and biological attributes of a cerrado Oxisol under different forest species. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 6, p. 613-620, jun. 2009.

SILVA, V. R. et al. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1013-1020, 2003.

SIX, J. et al. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. **Plant Soil**, 241:155-176, 2002.

SIX, J. et al. Recycling of sodium polytungstate used in soil organic matter studies. **Soil Biology and Biochemistry**, v.31, p.1193-1196, 1999.

SIX, J. et al. **Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils**. Soil Sci. Soc. Am. J., 62 (1998), pp. 1367–1377.

SOLLINS, P. et al. **Stabilization and destabilization of soil organic matter: Mechanisms and controls**. Geoderma, 74:65-105, 1996.

SOUZA, C.K. et al. 2003. Influência do relevo na variação anisotrópica dos atributos químicos e granulométricos de um Latossolo em Jaboticabal, SP. **Engenharia Agrícola**, v.23, p.486-495.

SOUZA, L.S. et al., 1997. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.367-372.

SWIFT, R.S. **Sequestration of carbon by soil**. Soil Sci., 166:858-871, 2001.

VAN OOST, et al., 2005. From water to tillage erosion dominated landform evolution. **Geomorphology** 72 (1–4), 193–203.

VERECKEN, H. et al. **Estimating the soil moisture retention characteristic from texture, bulk density and carbon content**. Soil Science, v. 148, p. 389-403, 1989.

VEZZANI, F.M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 143p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VIEIRA, S.R. et al. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. ; COSTA, L.M., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2002. v.2, p.1-45.

WARRICK, A.W. ; NILSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D., ed. **Applications of soil physics**. New York, Academic Press, 1980.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, p. 184-194, 1981.

## VARIABILIDADE VERTICAL DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO EM DIFERENTES AMBIENTES DE PRODUTIVIDADE

*Vertical variability of soil resistance to penetration under different yield  
environments*

Carlos Augusto Bonini Pires<sup>1</sup>, Telmo Jorge Carneiro Amado<sup>2</sup>, Raí Schwalbert<sup>3</sup>, Felipe Bonini da Luz<sup>4</sup>, Marcos André Bonini Pires<sup>5</sup>, Daniel Aquino de Borba<sup>5</sup>, Geomar Mateus Corassa<sup>6</sup>, Tiago de Gregori Teixeira<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Mestrando PPGCS, Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima nº1000, CEP 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, **e-mail: carlos.boninipires@hotmail.com**

<sup>2</sup> Professor departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima nº1000, CEP 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, **e-mail: florestatel@hotmail.com**

<sup>3</sup> Doutorando PPGEA, Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima nº1000, CEP 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, **e-mail: rai.schwalbert@gmail.com**

<sup>4</sup> Mestre em Agronomia: Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de Santa Maria campus Frederico Westphalen, Linha 7 de Setembro, s/n BR 386 Km 40, CEP 98400-900, Frederico Westphalen – RS, Brasil, **e-mail: boninisolos@gmail.com**

<sup>5</sup> Acadêmico de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria campus Frederico Westphalen, Linha 7 de Setembro, s/n BR 386 Km 40, CEP 98400-900, Frederico Westphalen – RS, Brasil, **e-mail: marcos.8bonini@gmail.com; danielaquinodeborba@gmail.com**

<sup>6</sup> Doutorando PPGEA, Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima nº1000, CEP 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, **e-mail: geomarmateus@hotmail.com**

<sup>7</sup> Doutorando PPGCS, Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima nº1000, CEP 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, **e-mail: t18t@hotmail.com**

### RESUMO

Através do uso de ferramentas de agricultura de precisão, é possível identificar locais, dentro dos campos produtivos, com alta heterogeneidade, permitindo uma caracterização detalhada da variabilidade das propriedades do solo nesses ambientes. Nesse caso, podemos definir ambientes com diferente potencial produtivo dentro de uma área agrícola, possibilitando o manejo diferenciado de cada ambiente de acordo com o seu potencial produtivo. Uma caracterização eficiente é preponderante à futuras intervenções visando à maximização do rendimento das culturas. Simultaneamente, o sistema plantio direto associado ao tráfego intenso de pesadas máquinas agrícolas, vem promovendo uma densificação em subsuperfície nos solos onde essas práticas são adotadas por longos períodos continuamente, fazendo com que haja um aumento da resistência do solo à penetração, reduzindo a continuidade de poros, disponibilidade de água e diminuindo o potencial produtivo dos solos. Este estudo teve por objetivo caracterizar a variabilidade vertical da resistência do solo à penetração em ambientes com diferentes potenciais produtivos definidos através do uso de ferramentas de agricultura de precisão.

**Palavras-chave:** Física do solo. Compactação do solo. Mapas de produtividade.

### ABSTRACT

Precision agriculture tools allow identifying within-field sections with high heterogeneity, making possible a detailed characterization of the soil attributes variability in these environments. Moreover, it allows delineating different yield potential environments and taking agronomic decision based on those environments. An efficient characterization is preponderant to future interventions aiming at crop yield increments. Simultaneously, the no-till system associated to intensive traffic of heavy agricultural machinery has been promoting a soil sub-surface densification, when these practices are adopted continuously for a long time. Furthermore, it promotes an increase in the soil resistance to penetration, a decrease in the pores continuity and water availability, reducing the soil potential productive. This study aimed to characterize the vertical variability of soil resistance to penetration in environments with different yield potential defined through the precision agriculture tools.

**Keywords:** Soil physics. Soil compaction. Yield maps.



## 1 INTRODUÇÃO

O solo é um corpo natural resultante de uma complexa interação entre fatores pedogenéticos do solo, o que resulta na ocorrência da variabilidade espacial e vertical de seus atributos químicos, físicos e biológicos. O manejo antrópico, visando incrementar o rendimento das culturas, também contribui para o aumento da variabilidade desses atributos (SANTI et al., 2012).

Através do uso de ferramentas de agricultura de precisão (AP), é possível identificar e definir esses locais de forma consistente, possibilitando a realização de uma caracterização detalhada da variabilidade dos atributos do solo. Esse modelo de agricultura é importante, principalmente quando levamos em consideração a possibilidade de realizar manejos de sítio-específico, que, segundo Blackmore et al. (1994), objetiva o aumento da eficiência do processo produtivo pelas intervenções agrícolas regionalizadas, respeitando a variabilidade espacial e vertical de atributos de solo e de planta. Nesse caso, definir ambientes de produtividade dentro de uma área agrícola é de suma importância, visto que podemos manejar de forma diferenciada cada ambiente de acordo com o seu potencial de produtividade. Além disso, uma caracterização eficiente permite orientar de forma adequada futuras intervenções que levem a maximização do rendimento das culturas.

Ao mesmo tempo, o sistema de plantio direto (SPD), amplamente utilizado nas áreas agrícolas brasileiras, dotado de uma série de benefícios que melhoram a qualidade física dos solos, está promovendo, devido ao tráfego intenso de máquinas agrícolas pesadas, uma densificação em subsuperfície nos solos no qual o mesmo é adotado por longos períodos continuamente. Esse processo faz com que haja um aumento da resistência do solo à penetração (RP), reduzindo a continuidade de poros, disponibilidade de água e conseqüentemente diminuindo o potencial produtivo dos solos (MORAES et al., 2014; REICHERT et al., 2016). As pesquisas relacionadas à compactação de solos têm sido intensificadas nos últimos anos devido à degradação e densificação do solo no SPD (AJAYI et al., 2013). Araújo-Junior et al. (2011) descrevem que esse efeito é agravado quando o tráfego de máquinas e equipamentos é realizado em condições inadequadas de umidade e as pressões aplicadas ao solo excedem a capacidade de suporte de carga do mesmo.

Baseado nessas premissas, a hipótese do trabalho é de que ambientes com diferentes potenciais produtivos venham a apresentar variabilidade RP. Neste sentido, este estudo teve por objetivo caracterizar a variabilidade vertical da RP em ambientes com diferentes potenciais produtivos através do uso de ferramentas de agricultura de precisão.

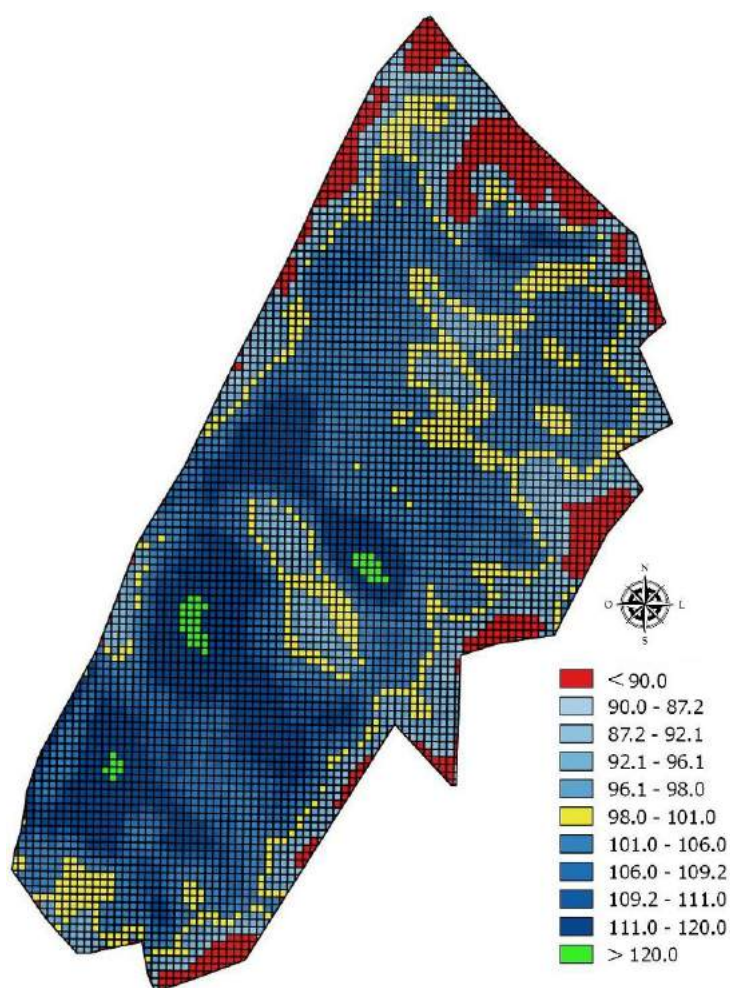
## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em uma lavoura comercial com 134 hectares, manejada sob sistema de plantio direto (SPD) a mais de 30 anos e localizada no município de Não-Me-Toque, RS, Brasil. A área está situada entre as coordenadas de latitude 28° 30' S e longitude 52° 46' O, com altitude de 475 m. O clima é subtropical úmido, tipo CFA, com precipitação e temperatura média anual de 18° C e 1950 mm (PEEL et al., 2007), respectivamente. O relevo do local é suave ondulado e o solo é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (SANTOS et al., 2013), com textura argilosa. Como base para o estudo foram utilizados 14 mapas de produtividade obtidos entre os anos agrícolas de 2000 e 2016, de culturas como Milho, Soja e Trigo.

A partir dos mapas de produtividade foram determinados ambientes com diferentes potenciais produtivos. Para tal, os mapas foram filtrados individualmente, relativizados, interpolados e sobrepostos para serem encontrados os ambientes onde historicamente a produtividade foi alta, média ou baixa, com base na produtividade média de cada safra. Todas os processos foram realizados através dos programas computacionais QGIS® e R (R Core Team, 2016). Com os mapas sobrepostos, foram estabelecidos para a pesquisa, 3 ambientes

distintos de produtividade, de acordo com a seguinte classificação: ambiente de alto potencial produtivo (> 120 %); ambiente de médio potencial produtivo (98 a 101%); ambiente de baixo potencial produtivo (< 90 %) (figura 1).

Figura 1 – Ambientes de produtividade definidos a partir dos mapas de colheita.



Nos diferentes ambientes de produtividade classificados (alto, médio e baixo potencial), procedeu-se a abertura de trincheiras de 1,5 m de profundidade para a coleta de solo, sendo realizadas três trincheiras (repetições) em cada ambiente. As coletas foram realizadas ao longo do perfil do solo, nas camadas de 0,00 a 0,05; 0,05 a 0,10; 0,10 a 0,15; 0,15 a 0,20; 0,20 a 0,25; 0,25 a 0,30; 0,30 a 0,35; 0,35 a 0,40; 0,40 a 0,45; 0,45 a 0,50; 0,50 a 0,60; 0,60 a 0,70; 0,70 a 0,80; 0,80 a 1,00 m, totalizando 14 camadas analisadas.

Para a análise da RP, foram coletadas amostras indeformadas de solo em anéis volumétricos de aço inox com volume aproximado de 0,98 cm<sup>3</sup> (0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro), verticalmente, na parede da trincheira, com o auxílio de um extrator e uma alavanca. Em cada camada de solo analisada, foram coletados três anéis (sub-repetição), totalizando 42 amostras por trincheira e 126 amostras por ambiente de produtividade. As amostras foram envolvidas em papel filme e transportadas até o laboratório de física do solo da Universidade Federal de Santa Maria, *campus* de Frederico Westphalen, onde o volume de solo nas amostras foi devidamente ajustado. Após preparo em laboratório, as amostras foram saturadas com água por meio de elevação gradual de uma lâmina de água. As amostras saturadas foram pesadas e alocadas em uma mesa de tensão a 0,006 MPa por 48 horas (KIEHL, 1979) para

equilibrar o teor de água das mesmas, sendo a massa destas registradas. Posteriormente procedeu-se o ensaio de RP através de um penetrômetro de bancada (modelo MA 933 Marconi), utilizando-se diâmetro da base do cone de 4 mm e ângulo de 30° com velocidade de inserção de 10 mm min<sup>-1</sup>.

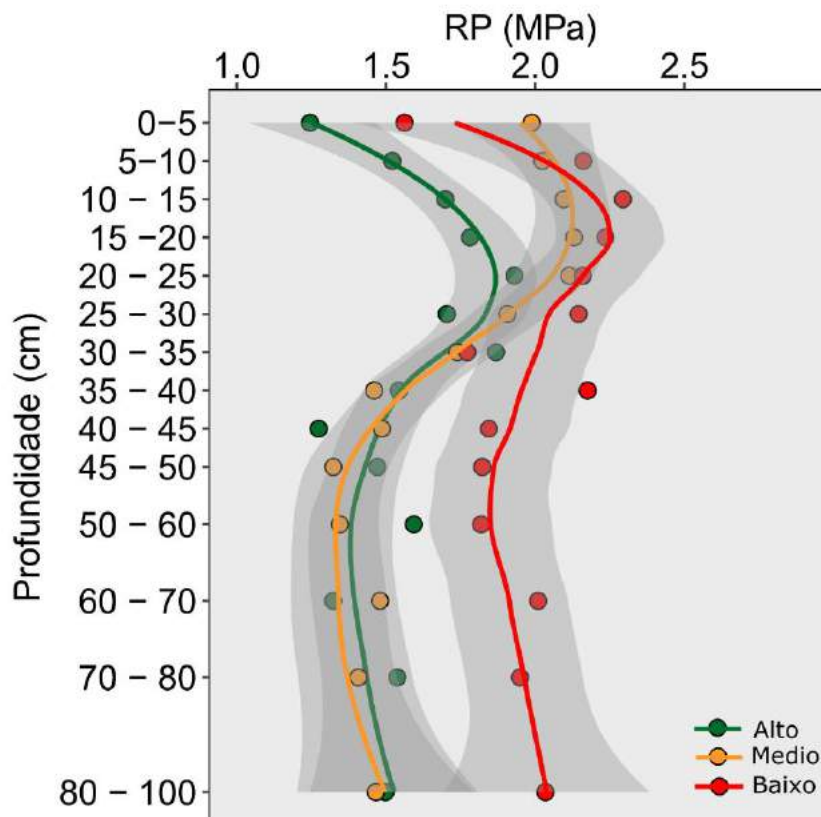
Os dados foram submetidos a análise de variância e foi utilizado o intervalo de confiança a 95% para efeito de comparação entre os ambientes de produtividade em função da profundidade. A análise estatística e os gráficos foram realizados por meio do programa estatístico R (R Core Team, 2016).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados evidenciaram diferença significativa para a RP entre os ambientes com diferentes potenciais de produtividade na maioria das profundidades avaliadas (Figura 2).

Independentemente do ambiente de produtividade avaliado, o solo apresentou uma camada com maior valor de RP entre 0,10 e 0,25 m. Esses resultados são característicos de áreas manejadas com SPD por longos períodos, em função do não revolvimento e tráfego de máquinas agrícolas pesadas (MORAES et al., 2016; REICHERT et al., 2016).

Figura 2 – Variabilidade vertical da resistência do solo à penetração (RP) nos ambientes com diferentes potenciais de produtividade (alto, médio e baixo). Área sombreada representa o intervalo de confiança à 95% baseado em regressão não-paramétrica (spline).



Analisando-se os diferentes ambientes de produtividade estudados, o ambiente de alto potencial produtivo caracterizou-se por apresentar os menores valores de RP até a profundidade de 0,20 m, no entanto, não foi observada diferença significativa em todas as profundidades avaliadas (figura 2).

Na camada superficial (0,00 a 0,05 m), o ambiente de alto potencial produtivo apresentou os menores valores de RP, o qual foi estatisticamente inferior ao ambiente de médio potencial, porém não diferindo do ambiente de baixo potencial. A partir da camada de 0,05 m, até a camada de 0,20 m, a RP foi significativamente inferior no ambiente de alta produtividade. Estes resultados para o ambiente de maior potencial produtivo podem estar diretamente atrelados ao fato de historicamente a produtividade ser maior nesses locais, podendo nos remeter a um solo mais estruturado e que suporta maiores cargas sem que o mesmo deforme e tenha uma redução da sua porosidade (ORTIGARA et al., 2014). Essa característica pode ser uma função de um possível maior aporte de biomassa seca nesses locais de alto rendimento, proporcionando um aumento do teor de carbono orgânico do solo e uma consequente melhoria na sua qualidade física.

Entre as camadas de 0,20 m e 0,35 m não foi verificada diferenças significativas entre os ambientes de produtividade. A partir da camada de 0,35 m até a camada de 0,80 m, os ambientes de alto e médio potencial produtivo apresentaram menor RP, diferindo do ambiente de baixo potencial. Este resultado pode ser explicado pela dificuldade de as plantas expandir e desenvolver o seu sistema radicular no ambiente de baixa produtividade, o qual apresentou RP entre 2 e 2,5 MPa. Os ambientes de médio e alto potencial apresentaram curvas de RP semelhantes, com exceção para o intervalo entre 0,05 e 0,20m, o que pode ser o fator chave entre a diferença de produtividade dos dois ambientes. Logo, é possível verificar que os ambientes de médio e baixo potencial possuem uma maior compactação em superfície e subsuperfície (até 0,20 m), visto os valores de RP. Na última camada avaliada não foram encontradas diferenças estatísticas entre os ambientes analisados.

## 4 CONCLUSÕES

O ambiente de alto potencial produtivo apresentou os menores valores de RP até a camada de 0,20 m.

Os ambientes de alto e médio potencial produtivo não diferiram entre si após os 0,20 m de profundidade.

O ambiente de baixo potencial produtivo apresentou os maiores valores de RP em subsuperfície.

## REFERÊNCIAS

AJAYI, A. E. et al. Compressive response of some agricultural soils influenced by the mineralogy and moisture. **Int Agrophysics**, v. 27, p. 239-246, 2013.

BLACKMORE, B. S.; WHEELER, P. N.; MORRIS, R. M. **The role of precision farming in sustainable agriculture: A European perspective**. Minneapolis, 1994. 13p.

KIEHL EJ. **Manual de edafologia – relações solo-planta**. 1ª. ed. São Paulo: Agronômica Ceres; 1979.

MORAES, M. T. DE. et al. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. **Soil Tillage Research**. v. 155, p. 351-362, 2016.

MORAES, M. T. DE. et al. Critical limits of soil penetration resistance in a rhodic Eutrudox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 288-298, 2014.

ORTIGARA C. et al. Uso do solo e propriedades físico-mecânicas de Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 619-626, 2014.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology Earth System Science**, v, 11, p. 1633-1644, 2007.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing; 2016.

REICHERT, J. M. et al. Conceptual framework for capacity and intensity physical soil properties affected by short and long-term (14 years) continuous no-tillage and controlled traffic. **Soil & Tillage Research**, v. 158, p. 123-136, 2016.

SANTI, A. L. et al. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitante à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 1346-1357, 2012.

SANTOS H.G. DOS. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª. ed. Brasília, DF: 2013.

## **Área Temática: Sistemas Mecanizados em Agricultura de Precisão**

## ADOÇÃO DO TRÁFEGO CONTROLADO AGRÍCOLA E RESULTADOS PARA SOJA NO RS

### *Adoption of controlled traffic farming and results for soybeans in RS*

Tiago De Gregori Teixeira<sup>1</sup>, Telmo Jorge Carneiro Amado<sup>2</sup>, Geovane Boschmann Reimche<sup>3</sup>, Darlan Preuss<sup>4</sup>, Emanuel Roggia<sup>5</sup>, Luan Pierre Pott<sup>6</sup>, Carlos Augusto Bonini Pires<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Doutorando PPGCS, Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima nº1000, CEP 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, **e-mail t18t@hotmail.com**

<sup>2</sup> Professor departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima nº1000, CEP 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, **e-mail florestatel@hotmail.com**

<sup>3</sup> Pós doutorando departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima nº1000, CEP 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, **e-mail geovane\_reimche@yahoo.com.br**

<sup>4,5</sup> Graduando em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima nº1000, CEP 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, **e-mail darlanpreuss@hotmail.com;**  
**emanuelroggia21@gmail.com**

<sup>6</sup> Mestrando PPGEA, Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima nº1000, CEP 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, **e-mail luanpierreppott@hotmail.com**

<sup>7</sup> Mestrando PPGCS, Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima nº1000, CEP 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, **e-mail carlos.boninipires@hotmail.com**

## RESUMO

Os sistemas de manejo em todas as áreas produtiva vem se modernizando, o sistema ne controle de tráfego acompanha as demais áreas. Para isso é necessário observar como são realizados os deslocamentos dos implementos atualmente, o tráfego tradicional é realizado de forma aleatória fazendo que safra após safra ocorra a mudança das passadas por não existir um planejamento ou controle dos locais já trafegados. Os passes aleatórios sob a superfície do solo acabam compactando aleatoriamente toda a área, aumentando a densidade do solo, diminuindo a infiltração de água e provocando redução dos tetos produtivos. Este estudo de caso foi conduzido com o objetivo demonstrar a implantação do sistema de tráfego controlado agrícola e resultados sobre a produtividade da cultura da soja após um ano. A área experimental está no município de Carazinho – RS, seu solo é classificado como um Latossolo Vermelho Distrófico típico e o clima tipo Cfa. Os resultados apontam maiores rendimento da cultura da soja quando da utilização do sistema de tráfego controlado, sendo superior em 10% ao tradicional, logo quando comparado aos locais livres de tráfego sua produtividade é 16% maior.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão. Compactação do solo. Plantio direto.

## ABSTRACT

The management systems in all productive areas have been modernizing, the system of traffic control accompanies the other areas. For this it is necessary to observe how the displacements of the implements are realized today, the traditional traffic is carried out of random form doing that crop after harvest happens the change of the passes because there is no planning or control of the already traveled places. Random passes beneath the soil surface randomly compacting the entire area, increasing soil density, decreasing water infiltration, and reducing production ceilings. This case study was conducted with the objective of demonstrating the implementation of the controlled traffic farming system and results on soybean crop productivity after one year. The experimental area is in the municipality of Carazinho - RS, its soil is classified as a dystrophic Red Oxisol and the type Cfa climate. The results indicate higher yields of the soybean crop when using the controlled traffic system, being 10% higher than the traditional one, so when compared to free traffic places its productivity is 16% higher.

**Keywords:** Precision agriculture. Soil compaction. No-tillage.

## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho consiste em um estudo de caso, referente a implantação do sistema de tráfego controlado agrícola sob Sistema Plantio Direto (SPD). Esse tema está indiretamente ligado a um tópico muito discutido atualmente no meio acadêmico, por técnicos e produtores, a

compactação do solo nas lavouras no Rio Grande do Sul. Este problema destacado a anos em periódicos e continua a preocupar pela dificuldade de manejo que oferece, sendo relacionado como principal causador da redução da produtividade devido a problemas da redução no aprofundamento radicular no perfil e infiltração de água no solo. Mas o que estaria causando tal problema? E quais as possíveis alternativas ambientalmente e economicamente e viáveis para amenizar esses problemas?

Elencando as possíveis causas do problema, pode-se atribuir a elevação do peso dos implementos nas últimas décadas. As novas tecnologias embarcadas nas últimas 7 décadas em tratores, colhedora e implementos agrícolas propiciaram melhorias no conforto para os operadores, qualidade do trabalho e rendimento operacional, entretanto houve um aumento na tensão sobre o solo devido ao aumento do tamanho e peso dos equipamentos (GIRARDELLO et al., 2016; TREIN et al., 2009). Outra possível e provável causa é atribuída à janela entre as operações de colheita e plantio se reduziu nas últimas safras, com isso ocorre a necessidades de entrada nas áreas com umidade inadequada. Para Gassen (2009), o conteúdo de água no solo é o principal determinante para definir qual será o grau de compactação que o solo sofrerá. A resistência dos solos é prejudicada quando está úmido, próximo a capacidade de campo, e podendo ser compactado quando pelo tráfego das máquinas (TREIN et al., 2009).

Observando essas adversidades citadas, este trabalho apresenta de forma simples a implantação, adaptação e resultados da bibliografia e avaliados a campo relacionados a produtividade da cultura da soja. Os dois sistemas de condução dos implementos o tráfego tradicional (TT) onde o operador conduz os implementos da maneira que ele julga melhor ou que foi orientado para tal. Enquanto o outro prima pelo planejamento do deslocamento dos implementos baseado em vários fatores e ajustes previamente determinados, sendo conhecido como tráfego controlado (TC).

As passadas aleatórias pelo TT dos implementos para cada operação ocasionam a contato dos pneus sobre o solo, fazendo com que ao final de uma safra grande parte da superfície apresenta rastros. Para sistemas manejados com plantio direto na Austrália as operações representam rastros em aproximadamente 50% da superfície (TULLBERG et al.2007).

O custo das atividades agrícolas (semeadura, pulverização e colheita) pode ser reduzido em até 9% de acordo com Bochtis et al. (2010), somente pelo planejamento das linhas de tráfego utilizando o TC, que se revertem principalmente em menor deslocamentos na lavoura gerando economia de combustível e menor desgaste do maquinário. Já na cultura da cana de açúcar, para Spekken et al. (2015) avaliaram os custos referente as manobras de cabeceira indicando que as linhas devem ser limitadas entre 500 a 700 m, e o aumento da largura de operação das máquinas possibilita a redução de custos que as manobras de cabeceira geram.

Os obstáculos para implementar o sistema completo de TC são a falta de padronização dos equipamentos, seja pela diferença nas bitolas, heterogeneidade das larguras de trabalho, e o custo da tecnologia para correção do sinal de localização. Estas dificuldades em países da Europa e a Austrália estão reduzidos, com isso o TC aplicados a áreas comerciais e trabalhos de pesquisa existem em maior quantidade. Enquanto no Brasil áreas comerciais e pesquisa aplicados a campo nesse tema são raros para as culturas de grãos, fazendo com que o avanço pela adoção da tecnologia por produtores se torne tanto quanto demorada.

Com isso este trabalho apresenta a efetivação do sistema de TC, adaptação dos implementos e alguns resultados do manejo do tráfego controlado para produtividade da soja.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho é conduzido em uma área comercial de 89 ha no município de Carazinho, Rio Grande do sul. Localizado na zona 22J 336043 m E, e 6875204m S e 600 m de altitude. O clima local tipo Cfa, clima temperado húmido com Verão quente, segundo Köppen, e precipitações pluviais médias anuais de 1750mm.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico, segundo Embrapa (2013). Na safra 2015/16 foi implementado o sistema de tráfego controlado,



sendo que a adaptação dos implementos foi necessária à medida que os mesmos não utilizavam dimensões semelhantes.

Os tratamentos investigados foram em um delineamento inteiramente casualizado, onde os tratamentos avaliados são sistema de tráfego e intensidade de tráfego, formando um bifatorial (2x3) com três repetições. Em primeiro nível do fatorial são os sistemas de tráfego controlado (TC) e tráfego tradicional (TT). Em segundo nível do fatorial são as intensidades de tráfego: Tráfego mínimo ou sem tráfego (Tmin), tráfego médio (Tmed) e tráfego máximo (Tmax). O tráfego mínimo (TCmin e TTmin) são caracterizados por não existir contato dos rodados sobre a superfície do solo durante a safra. Já os tratamentos tráfego médio (TCmed e TTmed) há contato dos pneus em dois momentos, na semeadura (trator) e na colheita (colhedora). O terceiro tratamento, tráfego máximo (TCmax e TTmax), é composto pelo tráfego médio com o incremento das passadas do pulverizador, as quais amassam a cultura em avaliação.

A cultura avaliada foi a soja, semeadura realizada na 1ª semana de novembro, população estabelecida de 7 plantas por metro linear. O espaçamento entre fileiras utilizado será de 0,34m, totalizando 200 mil plantas ha<sup>-1</sup>. Para determinação da produtividade da soja, foram coletados manualmente 3,0 m lineares para cada local para compor as repetições. O tratamento Tmax para TC e TT possui diferencial dos demais, para determinação das produtividades do foram coletadas as linhas onde houve exatamente a passada do pulverizador e as linhas vizinhas (esquerda e a direita) da passada, com finalidade de avaliar o ambiente afetado pelo rastro do pulverizador. A área coletada em cada parcela foi de 1,02m<sup>2</sup>, sendo debulhadas, pesadas, transformada a umidade a 13% e convertida a produtividade a kg ha<sup>-1</sup>.

A análise estatística para produtividade da soja foi realizada com base na análise variância pelo teste F para sistemas de tráfego, e intensidade do tráfego quando o efeito foi significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, com base na diferença mínima significativa (5 %) pelo software estatístico InfoStat versão 2016 (DI RIENZO et al., 2016).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para empregar o sistema de TC na área foi traçado um projeto, necessitando a adaptação de implementos, determinação das "tramlines" e adoção do sistema de correção de sinal GNSS. Os quais são apresentados os itens a seguir: Implementos e tramlines.

#### IMPLEMENTOS

Visando a redução da área trafegada, ou seja, locais onde os pneus entram em contato com o solo, foi necessário modificar os implementos que tinham diferentes medidas. O trator, semeadora, e colhedora passaram a utilizar as mesmas larguras de trabalho, já o pulverizador o triplo da medida, e todas as bitolas semelhantes, Tabela 1.

Tabela 1. Descrição dos implementos utilizados

Característica	Trator	Semeadora	Pulverizador	Colhedora	Plataforma colhedora
Potência	215cv (159kw)	-	130cv	284cv (209kw)	-
Pneu	Dianteiro	18,40"	12,40"	30,50"	-
	Traseiro	30,50"	12,40"	14,90"	-
Bitola	Dianteira	3,05m	2,74m	3,05m	-
	Traseira	3,05m	-	2,74m	3,05m
Largura de trabalho	-	9m*	27m	-	9,00m

Unidade da descrição dos pneus dos implementos em polegadas ("). \* As semeadoras são compostas por um conjunto de duas unido por tandem, cada semeadora trabalha em 4,50m totalizando 9m entre as duas.

Equipamentos como pulverizador e colhedora não necessitam adaptações, devido as larguras de trabalho da plataforma de colheita e barra de pulverização serem proporcionais, 9 e 27m respectivamente, cada passada do pulverizador são três da colhedora e demais implementos. As bitolas em valores específicos não são iguais, mas quando são observados pela largura que os pneus utilizam os rastros são coincidentes, Figura 1.

Figura 1. Rastros deixados pelos pneus dos implementos.

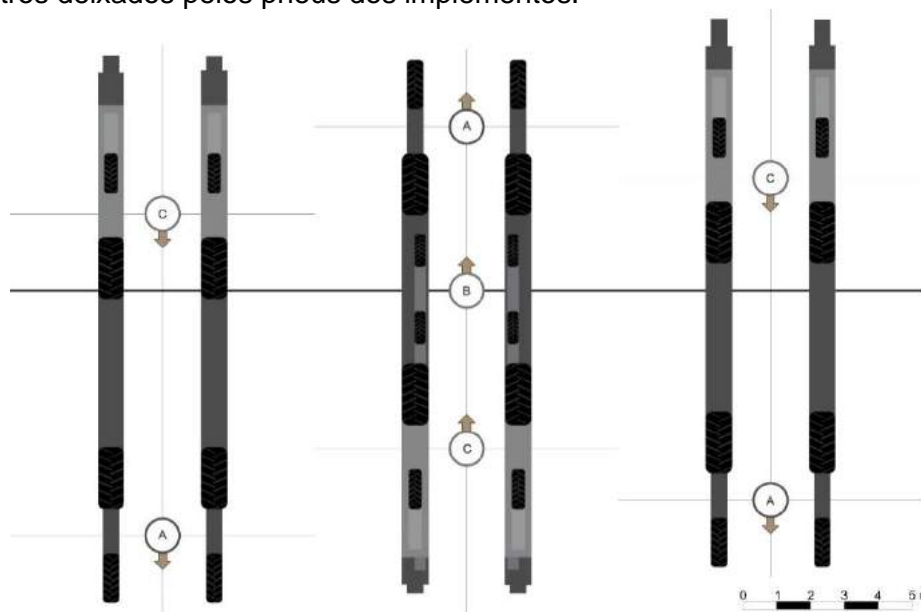


Figura esquemática sobre a largura de trabalho dos implementos e a sobreposição dos rastros dos pneus. Onde A é representado pelo trator+semeadora, B pulverizador e C colhedora. Flechas em amarelo claro apresentam o sentido dos deslocamentos.

## TRAMLINES

As linhas permanentes de tráfego, ou “tramline” foram estabelecidas observando o fator declividade e menor número de manobras, a declividade limitante de até 5%, com o intuito de reduzir o escoamento superficial de água. A determinação das tramlines foram partir do Software Farm Works®, aplicando os critérios citados. Para correção do sistema de navegação global por satélite (“Global Navigation Satellite System” - GNSS), foi utilizado o sistema Trimble RTX® o qual faz a correção do sinal em tempo real, sendo esses ajustes transmitidos via satélite, a precisão utilizando essa tecnologia fica em 0,04 m conforme Trimble (2017). Na Figura 2 estão demonstradas as linhas de tráfego planejadas para o deslocamento do pulverizador, o qual são espaçadas a cada 27, largura do equipamento, o qual o equipamento é orientado pela localização central onde o receptor GNSS está instalado.

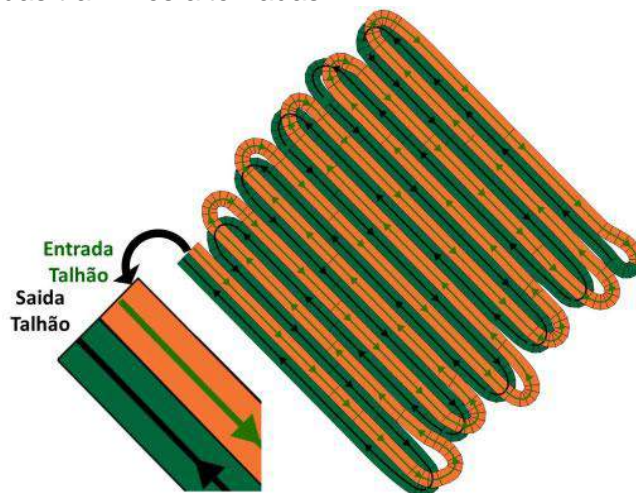
Figura 2. Tramlines da área experimento para tráfego do pulverizador.



Fonte: Imagem de satélite do Google Earth com sobreposição das tramlines.

O deslocamento dos implementos ocorre alternado entre as linhas (Figura 3), com isso o tempo de manobras de cabeceira é reduzido. A adoção desse procedimento economiza combustível, reduz amassamento de plantas e compacta menos as cabeceiras já que os implementos reduzem a quantidade de manobras nestes locais. Estudos como esse sobre manobra de cabeceira podem determinar entre o prejuízo ou o lucro, pois em um estudo com cana-de-açúcar foi verificado que uma linha de colheita inferior a 50 m não seria suficiente para saldar os custos da manobra de cabeceira (SPEKKEN et al., 2015).

Figura 3. Planejamentos das tramlines alternadas.



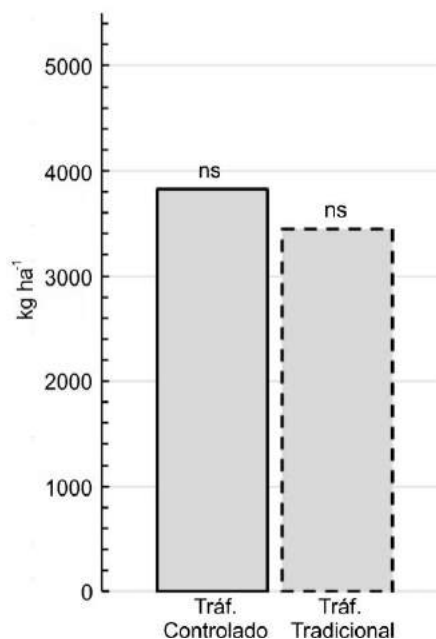
Fonte Alba et al. 2011.

A implantação do sistema de TC adotada na safra 2015/16 já apresenta resultados que demonstram alguns benefícios, pode-se observar na Figura 4 a produtividade da soja após um ano de adoção do sistema (safra 2016/17). Estatisticamente os sistemas não se diferenciaram, entretanto, o TC obteve produção 10% superior ao tradicional. Quando as médias da área experimental são comparadas com a média do estado do RS que segundo a CONAB (2017) obteve 3360 kg ha<sup>-1</sup>, o TC é superior em 14%, já o TT supera a média do estado em 3%. Para Smith et al. (2014) avaliando a cultura do trigo sob diferentes sistemas de manejo, foi possível obter até 19% de acréscimo produtivo utilizando o TC.

A produtividade da cultura da soja para as avaliações nos tratamentos – intensidades de

tráfego, figura 5, apresentou diferença estatística sendo a média geral para tráfego controlado  $3823 \text{ kg ha}^{-1}$ , ao mesmo tempo que o tráfego tradicional  $3446 \text{ kg ha}^{-1}$ . Os tratamentos sem influência das rodas como o TCmin e TTmin foram os mais produtivos. O tratamento TCmin com a produtividade mais elevada ( $5085 \text{ kg ha}^{-1}$ ), já TTmin produzindo  $4359 \text{ kg ha}^{-1}$ , apresentam as maiores produtividades e sendo superiores às médias em 33% para tráfego controlado e 26% para tráfego tradicional, respectivamente. Esses resultados demonstram os benefícios para a produtividade da soja nos locais protegidos do contato dos pneus, tais resultados como esses em um ano com as chuvas acima da média não eram esperados. Ainda comparando os tratamentos sem tráfego, o TCmin é superior ao TTmin em 16%. Segundo Alvimar (2015) avaliando culturas como trigo, cevada e canola em locais que não possuem tráfego, ocorre incremento na produtividade em 17%.

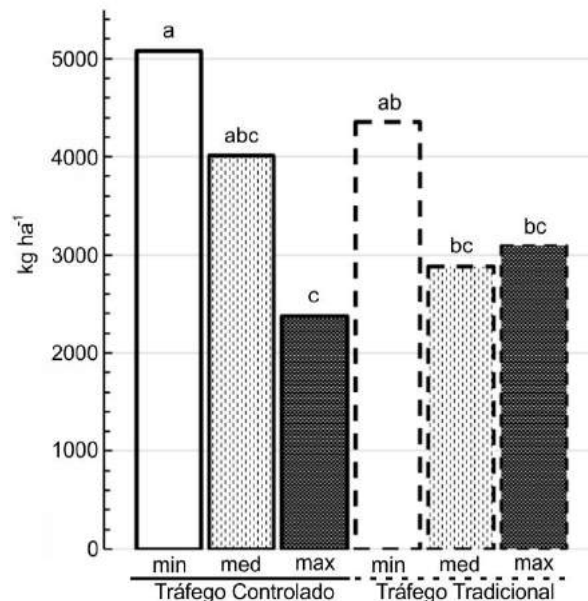
Figura 4. Produtividade de soja safra 2016/17 com tráfego controlado e tradicional.



Produtividade média da soja para os sistemas de tráfego controlado e tradicional. Médias com letras iguais não são significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Os locais de máxima incidência de tráfego as produtividades foram reduzidas, principalmente devido ao amassamento que o pulverizador faz na cultura. No tratamento TCmax, que obteve a menor média produtiva  $2376 \text{ kg ha}^{-1}$ , observa-se que a tramline desse local é mantida, assim acumulando passadas de duas safras. Esse resultado reflete em baixa produtividade provavelmente em função da alta densidade e resistência à penetração que esse local oferece ao desenvolvimento das raízes. Enquanto o TTmax por a cada safra modificar as tramlines, ou não existir uma definição das linhas permanentes de tráfego a produtividade não prejudicada, com isso obtendo produtividade superior em 30% ao tratamento TCmax. Para Rasmussen (2015), as perdas de produtividade nas tramlines devido ao tráfego variam de 12 a 41% para o trigo, 20 a 44% para o girassol e 18 a 41% para o milho.

Figura 5. Produtividade de soja safra 2016/17 para a intensidade e tráfego adotado.



Produtividade média da soja para os tratamentos avaliados pela colheita manual das parcelas. Médias com letras iguais não são significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a adoção tráfego controlado no Brasil em maior escala, seja em área ou produtores há necessidade da maior atenção das fabricantes de implementos agrícolas, afim que seja possível adquirir implementos destinados para utilização no sistema de tráfego controlado.

A produtividade de soja sob Tráfego Controlado foi 10% superior ao Tráfego Tradicional, enquanto Tráfego Controlado mínimo foi 16% superior demonstrando benefícios pela adoção do sistema.

Os custos relativos a adaptação dos implementos, sobre alterações nas características físicas do solo, e fisiológica das raízes da soja contribuirão para mais resultados do Tráfego Controlado em trabalhos futuros.

## REFERÊNCIAS

ALBA, P. J.; AMADO, T. J. C.; GIRARDELLO, V. C.; SCHOSSLER, D. S.; HORBE, T. A. N.; TRINDADE, B. S. Tráfego controlado em culturas de grãos no RS: Princípios, desafios e resultados preliminares. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo-RS. ed 122. 2011.

ALVEMAR, H. Economics assessment of CTF. **International Controlled Traffic Farming conference**. Prague. 2015

BOCHTIS, D.; SØRENSEN, C. G.; BUSATO, P.; HAMEED, I. A.; RODIAS, E.; GREEN, O.; PAPADAKIS, G. **Tramline establishment in controlled traffic farming based on operational machinery cost**. *Biosystems Engineering*, v. 107, n. 3, p. 221–231, 2010.

CONAB, 11º Levantamento da Safra Brasileira de Grãos. **Companhia Nacional de Abastecimento**, V. 4, p.115-119, Agosto de 2017.

DI RIENZO J. A., CASANOVES F., BALZARINI M. G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C. W. InfoStat versión 2016. **InfoStat Group**, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 2016.

Empresa brasileira de pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª. ed. Brasília, DF: 2013.

GASSEN, DIRCEU. Tráfego controlado como alternativa para reduzir a compactação de solos, **Revista Plantio Direto**, ed. 110, Passo Fundo. 2009. Acessado: junho de 2016. Disponível em: <https://goo.gl/2t1hCX>

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; ALBA, P. J.; TEIXEIRA, T. G. Benefícios do tráfego controlado de máquinas no Rio Grande do Sul. **In Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul**. 1ª ed. Santa Maria. 2016.

RASMUSSEN, H. O. Management of farming and staff in large scale farming. Nine years of CTF experiences in Romania. **International Controlled Traffic Farming conference**. Prague. 2015

SMITH, E. K., MISIEWICZ, P. A., GIRARDELLO, V., ARSLAN, S., CHANEY, K., WHITE, D. R., GODWIN, R. J. Effects of traffic and tillage on crop yield (Winter Wheat Triticum aestivum) and the physical properties of a sandy loam soil. **ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers**. Paper No 1912652, St. Joseph, Michigan, USA. 2014.

TREIN, C. R.; MACHADO, A. P.; LEVIEN, R. Compactação do solo por rodados: podemos evitá-la? **Revista Plantio Direto**, ed. 114, Passo Fundo. 2009. Acessado: julho de 2017. Disponível em: <https://goo.gl/BD7vDE>

TRIMBLE. **Trimble RTX Technology**. Acessado: junho de 2017. Disponível em: <https://goo.gl/wqK2jJ>

TULLBERG, J. N.; YULE, D.F.; MCGARRY, D. Controlled traffic farming – From research to adoption in Australia. *Soil & Tillage Research*, v. 97, p.272-281, 2007

# AVALIAÇÃO DA VIDA ÚTIL E DOS EFEITOS DO DESGASTE DAS PONTAS HIDRÁULICAS COM INDUÇÃO DE AR SOBRE A PULVERIZAÇÃO AGRÍCOLA

*Evaluation of useful life and effects of hydraulic tips wearing with air  
induction on agricultural spraying.*

Alex Rogers Aguiar Zanin<sup>1</sup>, Marco Antônio Vrech de Souza<sup>2</sup>, Eder Eujácio da Silva<sup>3</sup>,  
Fernando Henrique Queiroz Souza<sup>4</sup>, Victor Silva pereira<sup>5</sup>, Fábio Henrique Rojo Baio<sup>6</sup>

<sup>1,3,4,5,6</sup> Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Rodovia MS 306 Km 105, CEP 79560-000,

Chapadão do Sul-MS, Brasil, [alex.a.zanin@gmail.com](mailto:alex.a.zanin@gmail.com); [e.eujacio@gmail.com](mailto:e.eujacio@gmail.com);

[e.eujacio@gmail.com](mailto:e.eujacio@gmail.com); [victor.pereira91@hotmail.com](mailto:victor.pereira91@hotmail.com); [fabiobaio@ufms.br](mailto:fabiobaio@ufms.br)

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista 'Júlio Mesquita Filho' Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane  
s/n, CEP 14884-900, Jaboticabal-SP, Brasil, [marcovrech@hotmail.com](mailto:marcovrech@hotmail.com)

## RESUMO

A utilização das pontas de um pulverizador conduz ao seu desgaste e sua depreciação depende dos fatores: do material de fabricação das pontas, pressão de trabalho, qualidade da água, formulação dos produtos, cuidados de operação e manutenção das máquinas responsáveis pelas aplicações. O objetivo é avaliar desgaste de ponta pulverizadora com indução a ar, ao longo de sua vida útil sobre o tamanho das gotas, na qualidade da distribuição das gotas e no volume de aplicação. As pontas hidráulicas foram submetidas ao ensaio de desgaste acelerado e seus efeitos mensurados em seis momentos até a finalização do desgaste com 50h, sendo elas avaliadas de 10 em 10 horas, simulando o uso no campo. Foram utilizados três modelos de pontas de jato plano, em leque dos modelos AIXR-110-02, DG-110-02, JSF-110-02, enquanto foi adotado o delineamento inteiramente casualizado, sendo os tratamentos constituídos por horas de desgaste, com frequência de cinco repetições em cada tratamento, dos quais foram avaliados os seguintes parâmetros: diâmetro mediano volumétrico ( $\mu\text{m}$ ); a percentagem de gotas menores que 100  $\mu\text{m}$ ; vazão (L s<sup>-1</sup>); e índice de amplitude relativa (SPAN).

**Palavras-chave:** Desgaste acelerado. Diâmetro mediano volumétrico. Vazão.

## ABSTRACT

The use of sprayer tips lead to the sprayer's wear and its depreciation depends on the following elements: the material used in manufacturing the tips, the working pressure, the water quality, the product formulation, the care of operation and maintenance of machines responsible for applications. The aim of this study is to evaluate the wear of a sprayer tip with air induction, along its life over the size of the drops, the quality of the drop distribution and the application volume. An experiment was carried out in the agricultural spraying laboratory of the Federal University of Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul Campus. The hydraulic tips were submitted to the accelerated wear test and its effects measured in six moments until the end of the 50h wear. They were evaluated every 10 hours, simulating the use in the field. Three models of flat jet tips were used, AIXR-110-02, DG-110-02, JSF-110-02. It was adopted a completely randomized design, with treatments consisting of hours of wear (10h, 20h, 30h, 40h, 50h for each tip model), with the frequency of five replicates in each treatment, of which the following parameters were evaluated: volumetric median diameter ( $\mu\text{m}$ ); a percentage of droplets less than 100  $\mu\text{m}$ ; flow rate (L s<sup>-1</sup>); and relative amplitude index (SPAN).

**Keywords:** Accelerated wear. Volumetric median diameter. Flow rate.

## 1 INTRODUÇÃO

O bom emprego da quantidade certa de ingrediente ativo no alvo, com maior eficiência, de maneira econômica, e com o mínimo possível de contaminação ambiental torna-se o objetivo da tecnologia de aplicação de agrotóxicos (MAZIERO et al., 2009). No entanto, parte do produto aplicado não atinge o alvo (CUNHA et al., 2003), justamente pelo fato da escolha da ponta pulverizadora e por seu desgaste, no qual o padrão de gotas é afetado o que influencia

diretamente na cobertura do alvo e provoca perdas por deriva. Com isso, verificamos que as pontas de pulverização ou dispositivos geradores de gotas são os componentes mais importantes de um pulverizador, tornando-o assim uma peça essencial para obtenção de resultados satisfatórios e eficientes em uma aplicação hidráulica (RAETANO & BOLLER, 2011).

Então, existem diversos fatores que podem interferir no tamanho das gotas utilizadas, pois ao aplicar gotas finas alcança-se maior cobertura superficial da folha e tende a melhorar a uniformidade de distribuição da calda, entretanto, elas são mais propensas à evaporar, principalmente em baixa umidade relativa, ou sofrerem deriva pela corrente de ar. Porém, se as gotas aplicadas forem grossas demais pode ocorrer que escorram da superfície foliar, antes mesmo do produto ser absorvido pelo alvo (BAESSO et al., 2014). Com isso, verifica-se que é de extrema importância controlar o tamanho das gotas para garantir a eficiência de deposição da calda, pois caso não sejam controladas podem influenciar no fracasso da aplicação do alvo desejado. Portanto, devido às tecnologias de formação de gotas nas pontas hidráulicas, tornou-se possível diferenciá-las e proporcionar melhor a aplicação com diminuição de perdas e deriva, além de aumentar a capacidade de cobertura e penetração do líquido aplicado (OLIVEIRA et al., 2017).

No Brasil as pontas de pulverização são fabricadas com diversos tipos de materiais e, por isso, possuem diferentes características de desgaste e durabilidade, dependendo do grau de dureza do material de origem (PADOVAN, 2014). A utilização das pontas conduz ao seu desgaste e a velocidade deste depende de fatores como; material de fabricação das pontas; pressão de trabalho; qualidade da água; formulação dos produtos; cuidados de operação e manutenção das máquinas responsáveis pelas aplicações (RAETANO & BOLLER, 2011).

Então, em razão desse grande número de variáveis envolvidas, se torna difícil prever a durabilidade de uma ponta operando em condições normais de campo. Pontas de latão, por exemplo, apresentam desgastes quatro vezes maiores se comparados com as pontas de cerâmica e poliacetal, equivalentes para o mesmo tempo de uso e em condições de laboratório (ANTUNIASSI & BAILO, 2008). Assim, as pontas que apresentam vazão em média de 10% acima da vazão informada pelo fabricante são aceitáveis, porém ao ultrapassar essa variação essa ponta deverá ser substituída por outra nova. Desta maneira, o entendimento da variação do tamanho de gotas e do volume de aplicação conforme o desgaste da ponta é importante para proporcionar a aplicação com menor contaminação ambiental, também com menor custo de produção e maior eficiência ao combate de plantas daninhas, uma vez que os fabricantes destes dispositivos somente fornecem essa informação, sobre suas características, enquanto a ponta é nova.

Foram avaliados os efeitos do desgaste de pontas pulverizadoras hidráulicas de jato leque plano padrão, fabricadas de plástico dos tipos; com indução a ar; pré-câmara; normal ao longo de sua vida útil sobre o tamanho das gotas, bem como na qualidade de distribuição das gotas e no volume de aplicação.

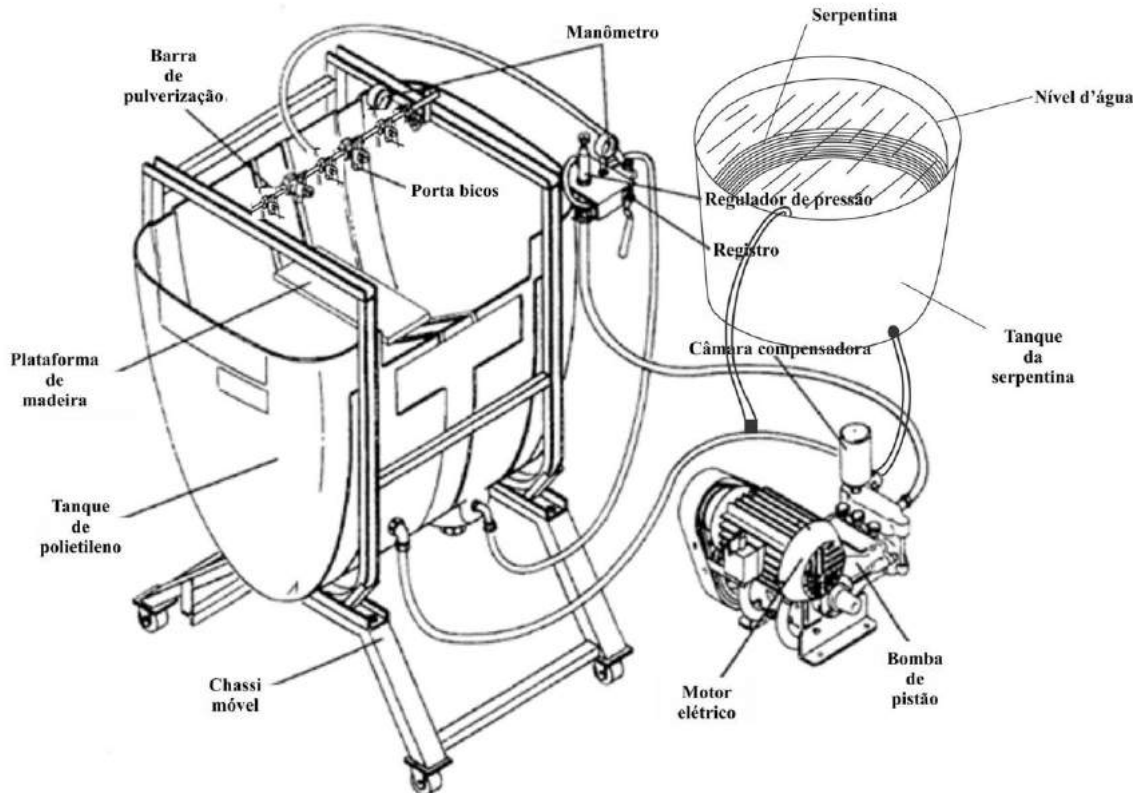
## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados no laboratório de pulverização agrícola da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), no campus chapadão do sul.

As três pontas hidráulicas dos modelos AIXR-110-02, DG-110-02, JSF-110-02, foram submetidas ao um ensaio de desgaste acelerado e seus efeitos mensurados em seis momentos, em 0 horas, 10 horas, 20 horas, 30 horas, 40 horas e 50 horas e, assim, finalizando o ensaio de desgaste acelerado. Foi construída um pulverizador estacionário contendo o circuito básico de pulverização, permitindo a manutenção da pressão hidráulica no circuito, conforme ilustra a Figura 1. O circuito possui um reservatório secundário, onde uma serpentina da tubulação de sucção possibilitou a manutenção da temperatura ambiente da calda durante as horas de funcionamento do desgaste acelerado.



**Figura 1.** Circuito hidráulico do pulverizador estacionário contendo uma bomba jacto JP 75 e cinco bicos. (Fonte: modificado de Padovan, 1998).



Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado sendo 5 (cinco) blocos (bicos) em 5 (cinco) repetições, e os tratamentos foram constituídos por tempo de desgaste, e a mensuração das pontas hidráulicas foi realizada no equipamento medidor de partículas do modelo modelo Spraytec® (Malvern Spraytec Real Time Droplet Sizing System), em que o espectro da população de gotas foi determinado de forma direta, em tempo real e nesse medidor de partículas, que foi conectado a um computador para a análise dessas variações.

Como resultado o medidor foi capaz de mensurar o DMV (diâmetro mediano volumétrico), o índice SPAN e a percentagem de gotas menores que 100 µm (mais propensas à deriva), pois com o passar do tempo de uso o diâmetro das gotas aumentam de tamanho, consequentemente diminui a porcentagem de gotas menores do que 100 µm, e causam um aumento significativo no índice de SPAN. Esse equipamento é capaz de calcular também em tempo real, a cada amostra, a amplitude relativa (SPAN) pela Equação 1.

$$SPAN = \frac{DV_{0,9} - DV_{0,1}}{DV_{0,1}}$$

Todas as pontas foram avaliadas em condição de pressão de trabalho de referência segundo o fabricante, ou seja, as avaliações foram conduzidas na pressão de 3 (três) bar e para aferir e monitorar a pressão de trabalho foi utilizado um instrumento eletrônico pelo transdutor de pressão de 827 kPa da marca Endress House, modelo TPMP131, com acurácia maior que 0,5%, ligado à porta analógica do coletor de dados Cambell Scientific, modelo CR1000. A pressão foi monitorada em tempo real, durante os testes pela interface computacional do programa PC200W, e foi realizada também a medição da vazão com a mesma pressão em cada ponta, com o auxílio

de um copo calibrador, no período de um minuto, sendo ela obtida por um pulverizador estacionário com reservatório de 80 L da MICRON, modelo COMBAT e o bico de pulverização foi posicionado a 0,5 m acima do feixe óptico.

Em continuidade, todos os dados coletados foram submetidos à análise de variância no programa SIGMAPLOT. As médias obtidas em função do tempo de vida útil foram utilizadas na análise de múltipla regressão.

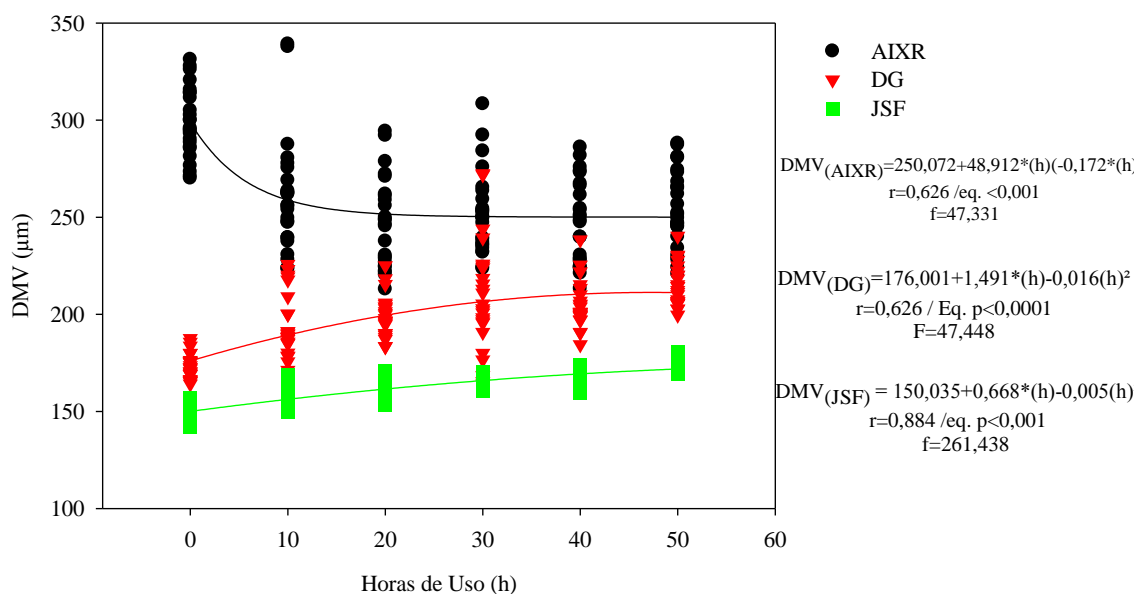
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores obtidos para diâmetro mediano volumétrico (DMV) estavam de acordo com o esperado, com exceção da ponta AIXR 11002 que teve uma redução do DMV com o aumento de hora de desgaste. Foram elaboradas equações para a determinação do DMV. Em que para as pontas DG 11002 e as pontas JSF 11002 foram elaboradas equações polinomiais quadráticas devido a um aumento que teve em seu DMV. Já para as pontas AIXR 11002 que tiveram uma redução em seu DMV, foi elaborada equação exponencial simples. Todas as equações elaboradas foram significativas.

Embora todos os componentes de um pulverizador sejam essenciais na aplicação, as pontas de pulverização ou dispositivos geradores de gotas são os componentes mais importantes de um pulverizador, para que uma aplicação tenha um resultado satisfatório e eficiente (RAETANO & BOLLER, 2011). Antuniassi & Baio (2009), reportam que o tamanho da gota é um dos parâmetros fundamentais para o sucesso na aplicação de agrotóxico, pois possui influência sobre a deposição e as perdas por deriva.

Com isso, para as pontas DG 11002 e JSF 11002, os resultados foram satisfatórios, sendo que ocorreu um aumento do DMV conforme as horas de desgaste, e já nas pontas AIXR 11002 ocorreu o inverso, diminuindo o DMV. Esses resultados foram mais agressivos até 30 horas de desgaste, a partir disso ocorreu um aumento do DMV menos acentuado, tendendo a estabilização, observada na Figura 2.

**Figura 2.** Gráfico do efeito de diâmetro mediano volumétrico ( $\mu\text{m}$ ) para horas de desgaste das pontas AIXR 11002 (circulo), DG 11002 (triangulo) e JSF 11002 (quadrado), com as respectivas equações.

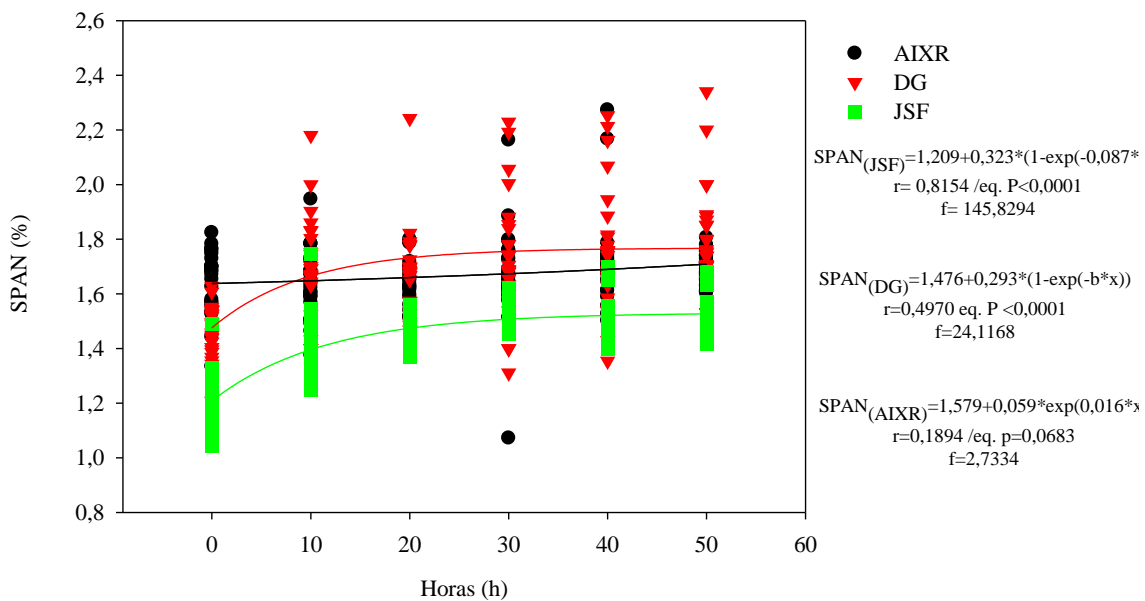


Os valores obtidos para SPAN (índice de amplitude relativa) foram de acordo com o esperado, com exceção da ponta AIXR 11002, que não apresentou um aumento acentuado do SPAN. Foram elaboradas equações para a determinação do SPAN, em que para as pontas DG

11002 e as pontas JSF 11002 foram elaboradas equações de exponencial de aumento ao máximo, devido ao aumento acentuado do índice SPAN. Enquanto para as pontas AIXR 11002 que não apresentaram um aumento acentuado foi elaborada uma equação exponencial de crescimento.

O índice SPAN, também conhecido como amplitude relativa, reporta sobre a homogeneidade da população de gotas, sendo mais homogêneo o espectro de gotas quanto menor o valor (BAIO et al., 2015). Com isso os valores obtidos para o índice de amplitude relativa para as pontas DG 11002 e JSF 11002, os resultados foram mais agressivos em até 20 horas de desgaste, enquanto para as pontas AIXR não foram agressivos em nenhum momento, ocorrendo um leve aumento do SPAN com o decorrer do desgaste, observando na Figura 3.

**Figura 3.** Gráfico do efeito do índice SPAN para horas de desgaste das pontas AIXR 11002 (círculo), DG 11002 (triângulo) e JSF 11002 (quadrado), com as respectivas equações.

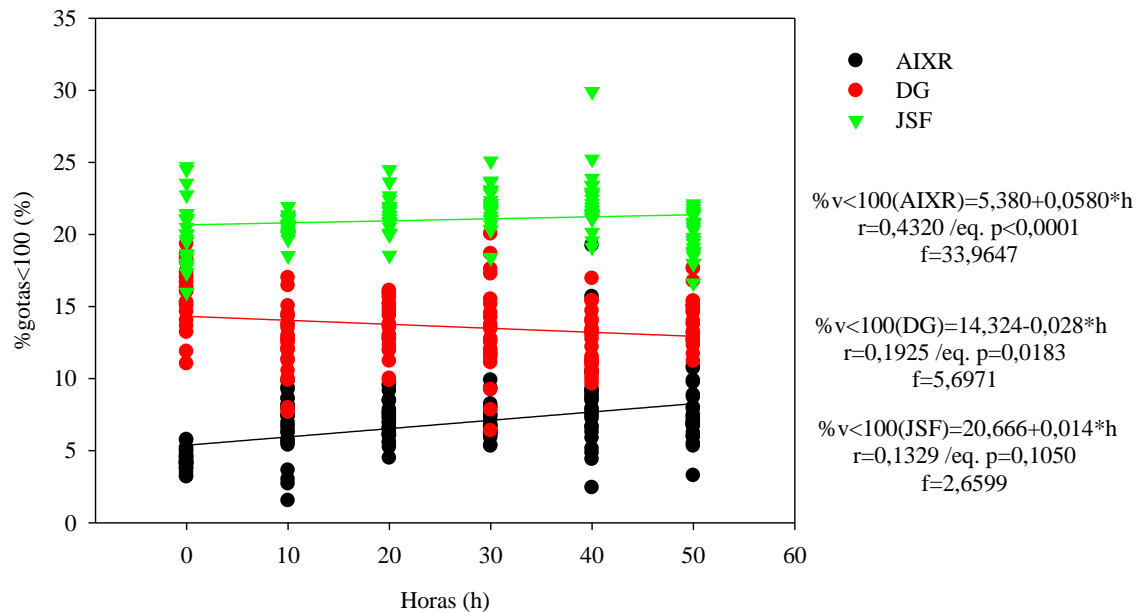


Os valores obtidos para a porcentagem de gotas menores que 100  $\mu\text{m}$  foram distintos entre si, em que o esperado era uma redução na porcentagem de gotas menores que 100  $\mu\text{m}$ , e apenas as pontas DG 11002 apresentaram essa redução. Então, foram elaboradas equações polinomiais lineares para os três modelos de pontas para determinação porcentagem de gotas menores que 100  $\mu\text{m}$ .

Baio & Camolese (2016) pressupõem que a possível redução do DMV das gotas leva ao aumento do percentual de gotas menores do que 100  $\mu\text{m}$ , assim aumentando o percentual de gotas que ficam sujeitas à deriva. Pois para Antuniassi & Chechetto (2012) gotas com tamanho entre 50 e 100  $\mu\text{m}$ , são classificadas como muito fina, proporcionam grande suscetibilidade em elevar a deriva. Quanto maior a deriva pior a qualidade da pulverização. Pois gotas finas levam a problemas com deriva e evaporação, e conseqüentemente, com risco de contaminação ambiental (NUYTTENS et al., 2009).

Devido a isso, torna-se importante a avaliação desse parâmetro, pois as pontas DG 11002 foram as únicas que apresentaram uma redução dessa porcentagem, enquanto as pontas AIXR 11002 obtiveram um aumento dessa porcentagem. Já as pontas JSF 11002 teve um pequeno aumento, observado na Figura 4.

**Figura 4.** Gráfico do efeito de porcentagem de gotas menores que 100 ( $\mu\text{m}$ ) em relação a horas de desgaste das pontas AIXR 11002 (circulo preto), DG 11002 (circulo vermelho) e JSF 11002 (triângulo verde), com as respectivas equações.

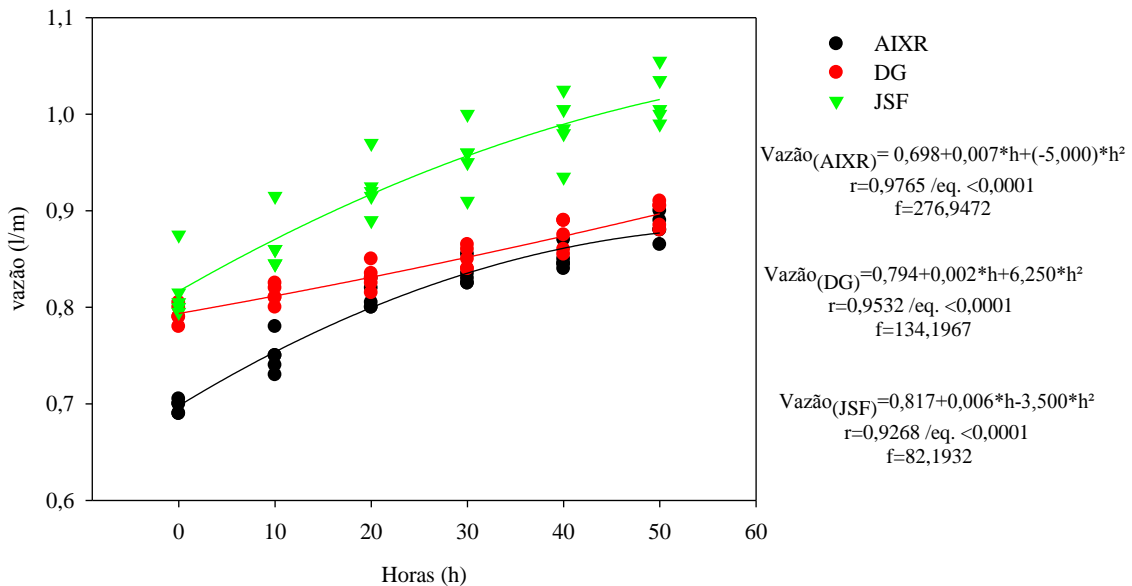


Os valores obtidos para a vazão ( $\text{L min}^{-1}$ ) foram bem satisfatórios e mostrou a agressividade do aumento do volume de vazão em todas as pontas, com as horas de desgaste e assim atendendo ao esperado do desgaste durante a condução do experimento. Foram elaboradas equações quadráticas para os três modelos de ponta para a determinação do gráfico de vazão ( $\text{L min}^{-1}$ ) em relação as horas de desgaste. Em que todas as equações foram significativas.

O controle da vazão de uma ponta hidráulica é de extrema importância, pois com o tempo de uso a tendência é que tenha um aumento na vazão devido ao seu desgaste, então Raetano & Boller (2011) afirmam que pontas que apresentem vazão de até 10% acima da vazão informada pelo fabricante são aceitáveis, em contrapartida, uma vez que a vazão de uma ponta ultrapasse 10% da vazão nominal estipulada pelo fabricante, essa ponta deverá ser substituída por uma ponta nova. Porém, a vazão de pontas numa barra de pulverização não deve variar mais que 5% do valor médio de todas as pontas nessa mesma barra.

Todas as pontas apresentaram um resultado satisfatório com as horas de desgaste, em que as pontas AIXR 11002 tiveram um aumento em média de 7% de sua vazão nas primeiras 10 horas de desgaste, um aumento em média de 15% em 20 horas de desgaste, assim tendo passado o limite recomendado para a troca. As pontas DG 11002 tiveram um aumento em média de 2,5% de sua vazão a cada 10 horas de desgaste, assim chegando até 40 horas de desgaste, em que chegou até o limite recomendado para a troca. As pontas JSF 11002 tiveram um aumento em média 7% de sua vazão nas primeiras 10 horas de desgaste, um aumento em média de 11% de sua vazão em 20 horas de desgaste e, assim também, passando o limite recomendado para a troca, observado na Figura 5.

**Figura 5.** Gráfico da vazão ( $L \text{ min}^{-1}$ ) em relação a horas de desgaste das pontas AIXR 11002 (círculo preto), DG 11002 (círculo vermelho) e JSF 11002 (triângulo verde), com as respectivas equações.



## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este trabalho conclui-se que o passar das horas de desgaste influencia sim no tamanho das gotas, em que tivemos um aumento do DMV para as pontas do tipo pré-câmara e normal, e uma redução do DMV para as pontas com indução a ar.

E, ainda, com o passar das horas de desgaste influencia também no índice SPAN para as pontas do tipo pré-câmara e normal, para as pontas com indução a ar não obtivemos um resultado significativo.

Para o parâmetro de porcentagem menores que  $100 \mu\text{m}$  conclui-se que as pontas com indução a ar com o passar das horas de desgaste obtiveram um aumento dessa porcentagem, e para as pontas do tipo pré-câmara obtiveram uma redução dessa porcentagem. E para as pontas normais não apresentaram uma diferença significativa.

Por fim, para o parâmetro da vazão conclui-se que com passar das horas de desgaste há influência no aumento da vazão. Para as pontas com indução a ar e normal o desgaste foi mais agressivo passando o limite recomendado para troca em 20 horas de desgaste. E para as pontas do tipo pré-câmara o desgaste foi menos agressivo, passando o limite recomendado para troca em 40 horas de desgaste.

## REFERÊNCIAS

ANTUNIASSI, U. R.; BAILO, F.H.R. **Tecnologia de aplicação de defensivos**. In: VARGAS, L.; ROMAN, E.S. (Org.). Manual de manejo e controle de plantas daninhas. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008, v1. p. 173-212.

ANTUNIASSI, U. R.; BAILO, F. H. R. **Tecnologia de aplicação de agrotóxicos**. In: VARGAS, L.; ROAMN, E. S. (Orgs.). Manual de manejo e controle de plantas daninhas. 2. ed. Passo Fundo:

Embrapa Trigo, 2009

ANTUNIASSI, U. R.; CHECHETTO, R. G. **Espectro de gotas gerado por diferentes adjuvantes e pontas de pulverização.** Energia na Agricultura, Botucatu, vol. 27, n.3, , p.130-142 julho-setembro, 2012

BAESSO, M. M; TEIXEIRA, M. M; RUAS, R. A. A; BAESSO, R. C. E. **Tecnologias de Aplicação de Agrotóxicos.** Revista Ceres, Viçosa, v. 61, Suplemento, p. 780-785, nov/dez, 2014.

BAIO, F. H. R; CAMOLESE, H. S. **Deposição de calda aplicada em volume reduzido no período noturno na cultura do algodoeiro.** Agrarian, Dourados. v. 9, n. 34, p. 365-373, 2016. MAZIERO, H.; GUEDES, J.V.C.; FARIAS, J.C. RODRIGUES, R.B.; DALAZEN; G.; DAL PRÁ, E. **Volume de calda e inseticidas no controle de Piezodorus guildinii (Westwood) na cultura da soja.** Ciência Rural, Santa Maria, v.39, n.5, p. 1307-1312, ago. 2009.

NUYTTENS, D.; DE SCHAMPHELEIRE, M.; VERBOVEN, P.; BRUSSELMAN, E.; DEKEYSER, D. **Droplet size and velocity characteristics of agricultural sprays.** Transactions of the ASABE, v. 52, n. 5, p. 1471-1480, 2009.

OLIVEIRA, V. B. M; SOUZA, J. M; PEREIRA, L. O. A; RUAS, R. A. A; GODINHO, J. D. **Análise da Deposição e Penetração de Calda na Cultura da Cenoura,** Gl. Sci Technol, Rio verde, v.10, n.01, p121-127 jan/abril.2017.

PADOVAN, L. A. **Avaliação da vazão inicial de bicos pulverizadores.** Revista científica eletrônica de agronomia. Edição 5. Garça. 2014. Junho 2004. Disponível em: <[http://faef.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/KYtErxoEmfYkDbJ\\_2013-4-26-12-13-54.pdf](http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/KYtErxoEmfYkDbJ_2013-4-26-12-13-54.pdf)> ISBN 1677- 0293. Acesso em: 29 de julho de 2017.

PADOVAN, L. A. **Estudo comparativo entre abrasivos para teste de desgaste acelerado de bicos pulverizadores.** Dissertação para obtenção de título de mestre em agronomia. Piracicaba, 1998.

RAETANO, C. G.; BOLLER, W. **Bicos e pontas de pulverização de energia hidráulica, regulagens e calibrações de pulverizadores de barras.** In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. Tecnologia de aplicação para culturas anuais. Passo fundo: Aldeia Norte, 2011, p.51-82.

## MECANISMOS DOSADORES E SEU EFEITO SOBRE FERTILIZANTES SÓLIDOS

### *Dosing mechanisms and their effect on solid fertilizers*

Mauricio Paulo Batistella Pasini<sup>1</sup>, Jackson Ernani Fiorin<sup>1</sup>, Kurt Arns<sup>1</sup>, José Luiz Tragnago<sup>1</sup>, João Fernando Zamberlan<sup>1</sup>, Rafael Pivotto Bortolotto<sup>1</sup>, Marcos Junior Benachio<sup>1</sup>, Guilherme Prevedello Bronzatti<sup>1</sup>, Aline Hesel<sup>1</sup>, Eduardo Engel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Cruz Alta – UNICRUZ, Rodovia Municipal Jacob Della Méa, km 5.6 - Parada Benito, CEP 98005-972, Cruz Alta, Rio Grande do Sul, Brasil. **E-mail: mpasini@unicruz.edu.br**

### RESUMO

O trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho de mecanismos dosadores de fertilizante sólidos, tipo helicoidal, submetidos a trabalho em diferentes ângulos de nivelamento (inclinação). A pesquisa foi conduzida no Setor Experimental da Área Experimental da Universidade de Cruz Alta, RS, Brasil. Quatro tipos de fertilizantes sólidos foram submetidos individualmente a três dosadores de adubo comerciais em diferentes ângulos de inclinação. O mecanismo dosador de fertilizante sólido ToPlanting apresenta maior uniformidade de distribuição que os mecanismos dosadores modelo Prometer e Auto-Lub AP NG. Nos mecanismos dosadores modelo Prometer e Auto-Lub AP NG o ângulo de inclinação longitudinal influencia na vazão dos fertilizantes sólidos avaliados. No mecanismo dosador modelo ToPlanting o ângulo de inclinação longitudinal não influencia a vazão dos fertilizantes sólidos avaliados.

**Palavras-chave:** Adubação. Precisão. Uniformidade.

### ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the performance of solid fertilizer fertilizer mechanisms, submitted to work at different angles of leveling (inclination). The research was conducted Experimental Sector of the Experimental Area of the University of Cruz Alta, RS, Brazil. Four types of solid fertilizers were individually submitted to three commercial fertilizer feeders at different angles of slope. The ToPlanting solid fertilizer dosing mechanism exhibits greater uniformity of distribution than the Prometer and Auto-Lub AP NG dosing mechanisms. In the Prometer and Auto-Lub AP NG dosing mechanisms, the angle of longitudinal slope influences the flow of the evaluated solid fertilizers. In the dosing mechanism model ToPlanting the angle of longitudinal slope does not influence the flow of the evaluated solid fertilizers.

**Keywords:** Fertilizing. Precision. Uniformity.

## 1 INTRODUÇÃO

Para obter desempenho satisfatório na operação de semeadura, a máquina semeadora-adubadora deve: ajustar-se a operação em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades de semeadura; possuir mecanismos dosadores de sementes e de adubo eficientes e de fácil regulação; proporcionar baixo percentual de danos às sementes; depositar a semente e o adubo nos sulcos de semeadura, uniformemente, em profundidade constante e com pouca remoção de solo; ter boa capacidade de penetração no solo, mesmo no sistema de plantio direto; semear e adubar de forma adequada na presença de restos culturais; e possuir autonomia e capacidade de trabalho satisfatório (OLIVEIRA et al., 2000).

Os componentes responsáveis pela dosagem de fertilizante são os mecanismos dosadores de fertilizantes, tais, podem assumir diversas disposições construtivas sendo encontradas, no mercado brasileiro, várias opções (FRANK et al., 2014). O mecanismo dosador deve ser capaz de distribuir uma dose fixa ou variável de fertilizante, de forma uniforme, independentemente do tipo de trabalho e do fertilizante sólido distribuído (BONOTTO, 2012). Para Altmann et al. (2010), os principais fatores que influenciam no funcionamento dos mecanismos dosadores de fertilizantes são: inclinação de trabalho, velocidade de acionamento e o tipo de fertilizante. Conforme Garcia (2007) a uniformidade de distribuição e sua deposição

adequada são para se obter a máxima resposta do cultivo.

Erros na distribuição de fertilizantes sólidos são prejudiciais as culturas, afetando seu crescimento, desenvolvimento e produtividade. Para Frank et al. (2014) entre os principais fatores geradores de erros na aplicação de fertilizantes podem ser citados os efeitos de inclinações transversais e longitudinais de trabalho.

Os mecanismos dosadores de fertilizantes podem ser do tipo de rotores dentados, disco horizontal rotativo, rotor vertical impulsor, correias ou correntes, cilindros acanalados ou helicoidais (BALASTREIRE, 2005). O mecanismo dosador do tipo helicoidal, é composto por um ou dois eixos com um ou dois helicoides colocados sob o depósito de fertilizante. Neste mecanismo a quantidade de produto depositada no solo varia conforme é alterada a velocidade angular do eixo de acionamento do dosador.

Os erros na dosagem de fertilizantes, podem causar a subdosagem que resulta em deficiências de elementos químicos e superdosagem, que resulta em fitotoxicidade, influenciando na redução da produtividade. Diante disso, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho de mecanismos dosadores de fertilizante sólidos, tipo helicoidal, submetidos a trabalho em diferentes ângulos de nivelamento (inclinação).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida Setor Experimental da Área Experimental da Universidade de Cruz Alta, Rodovia Municipal Jacob Della Méa, km 5.6 - Parada Benito, Cruz Alta, Rio Grande do Sul, Brasil. O clima da região, conforme a classificação de Köppen é do tipo Cfa (KUINCHTNER & BURIOL, 2001).

Para a realização do experimento foram utilizados quatro tipos de fertilizantes sólidos: fertilizante complexado (nome comercial YaraMila™), fertilizante formulado 05-20-20 (nome comercial UNI), fertilizante organomineral (nome comercial Adubasul Fertilizante organomineral) e fertilizante com substâncias húmicas (nome comercial FH Humics), sendo utilizado para cada um volume de 100 kg.

Os fertilizantes foram submetidos individualmente a bancada de testes, depositos em recipiente com volume comportado de 50 litros. Essa, composta por motor elétrico de 3 Hp, o qual acoplado a um eixo motor, ligado a um sistema de engrenagens, promovendo uma rotação de  $45 \text{ rpm} \pm 0,1 \text{ rpm}$ . Na bancada, três dosadores de adubo comerciais foram acoplados: Dosador Prometer, fabricante John Deere (Dosador A); Dosador ToPlanting, fabricante Sinuelo (Dosador B); Dosador Auto-Lub AP NG, fabricante Fertsystem (Dosador C); sendo estes, acionados pelo mesmo eixo motor, trabalhando simultaneamente. Os mecanismos dosadores também foram submetidos a cinco ângulos de inclinação (-20, -10, 0, 10 e 20). O valor de cada unidade experimental consistiu ao volume de adubo depositado pelos dosadores no período de um minuto.

Os diferentes fertilizantes foram analisados separadamente, sendo que, para cada tipo os dados gerados foram organizados em um Delineamento Inteiramente Casualizado em esquema fatorial  $3 \times 5$  (três dosadores de adubo comerciais: Dosador A, Dosador B, Dosador C x cinco ângulos de inclinação: (-20, -10, 0, 10 e 20), totalizando 15 tratamentos, para cada, 10 repetições foram procedidas totalizando 150 unidades experimentais por fertilizante e 600 no experimento.

Os valores obtidos por fertilizante, ângulo de inclinação e dosador foram organizados, sendo estimadas as estatísticas descritivas: média, desvio padrão e coeficiente de variação. Para a verificação da normalidade dos dados e homogeneidades das variâncias foi aplicado o teste de normalidade de Anderson-Darling e o teste de homogeneidade da variância de Bartlett. Para aqueles que não atenderam os pressupostos foram transformados, pela transformação Box e Cox. Estes foram submetidos ANOVA e análise de regressão ( $p < 0,01$ ).



### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre os mecanismos dosadores de fertilizantes sólidos avaliados, verifica-se que o Dosador B apresentou desempenho superior aos demais, com menor desvio padrão, coeficiente de variação e diferença absoluta para todos os fertilizantes sólidos testados (Tabela 1). Estes resultados indicam uma maior uniformidade de distribuição, que, de acordo com Bonotto (2012) o mecanismo dosador deve ser capaz de distribuir uma dose fixa ou variável de fertilizante, de forma uniforme, independentemente do tipo de trabalho e do fertilizante sólido distribuído.

Para os demais mecanismos dosadores, para os fertilizantes testados, verifica-se uma elevada variabilidade, representado pelos elevados valores do desvio padrão, coeficiente de variação e diferença absoluta (Tabela 1). O desempenho destes dosadores assemelha-se ao obtido por Reynaldo e Gamero (2015), indicando para eles não haver um grau de precisão apurado.

Tabela 1 – Média (em gramas), desvio padrão (em gramas), coeficiente de variação, valor máximo (em gramas), valor mínimo (em gramas) e diferença absoluta (valor máximo – valor mínimo, em gramas) de fertilizantes sólidos submetidos a três dosadores comerciais. Área Experimental, UNICRUZ, Cruz Alta, RS, Brasil.

Dosador	UE	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação	Valor Máximo	Valor Mínimo	Diferença absoluta
<b>UNI (5-20-20)/Unifertil</b>							
Dosador A	50	871,7	288,6	33,1	1298	536	<b>762</b>
Dosador B	50	990,6	23,4	2,4	1048	949	<b>99</b>
Dosador C	50	960,6	158,5	16,5	1187	748	<b>439</b>
<b>Heringer Humics</b>							
Dosador A	50	741,9	155,9	21,0	974	562	<b>412</b>
Dosador B	50	668,1	35,5	5,3	730	630	<b>101</b>
Dosador C	50	736,7	123,1	16,7	915	575	<b>340</b>
<b>Organomineral/Adubasul</b>							
Dosador A	50	630,0	149,0	23,6	856	431	<b>425</b>
Dosador B	50	591,6	12,8	2,2	624	550	<b>74</b>
Dosador C	50	646,2	107,2	16,6	812	483	<b>329</b>
<b>Yara Mila</b>							
Dosador A	50	1177,6	340,3	28,9	1666	712	<b>954</b>
Dosador B	50	1248,8	16,5	1,3	1314	1185	<b>129</b>
Dosador C	50	1250,3	172,1	13,8	1471	991	<b>480</b>

Os resultados da análise de variância no esquema fatorial revelam interação entre os mecanismos dosadores de fertilizantes sólidos e o ângulo de inclinação longitudinal dos dosadores, para todos os fertilizantes. Nas figuras 1 a 4 são apresentados os gráficos da análise de regressão, nela, verifica-se que os Dosadores A e C apresentaram significância para regressão, já, para o Dosador B não houve significância.

Nos mecanismos Dosador A e C a significância para regressão linear indica que o ângulo de inclinação longitudinal influencia na distribuição dos fertilizantes sólidos avaliados, havendo

uma relação direta, quanto maior o ângulo de inclinação maior é a vazão do fertilizante. Esses resultados assemelham-se aos encontrados por Bonotto (2012), Frank et al (2014) e Reynaldo e Gamero (2015), indicando como causa para essa elevada variabilidade a presença de apenas um helicóide no mecanismo dosador.

No mecanismo Dosador B não houve significância para regressão linear (Figura 1 a 4), indicando que o ângulo de inclinação longitudinal não influencia a vazão dos fertilizantes sólidos avaliados. Para este dosador de fertilizante sólido a superioridade está atrelada a este trabalhar com dois helicóides em sentidos opostos, gerando uma maior uniformidade de distribuição.

Figura 1 - Vazão de fertilizante UNI (5-20-20) Unifertil a partir de mecanismos dosadores de fertilizantes em função do grau de inclinação longitudinal do mecanismo dosador de fertilizante. Área Experimental, UNICRUZ, Cruz Alta, RS, Brasil.

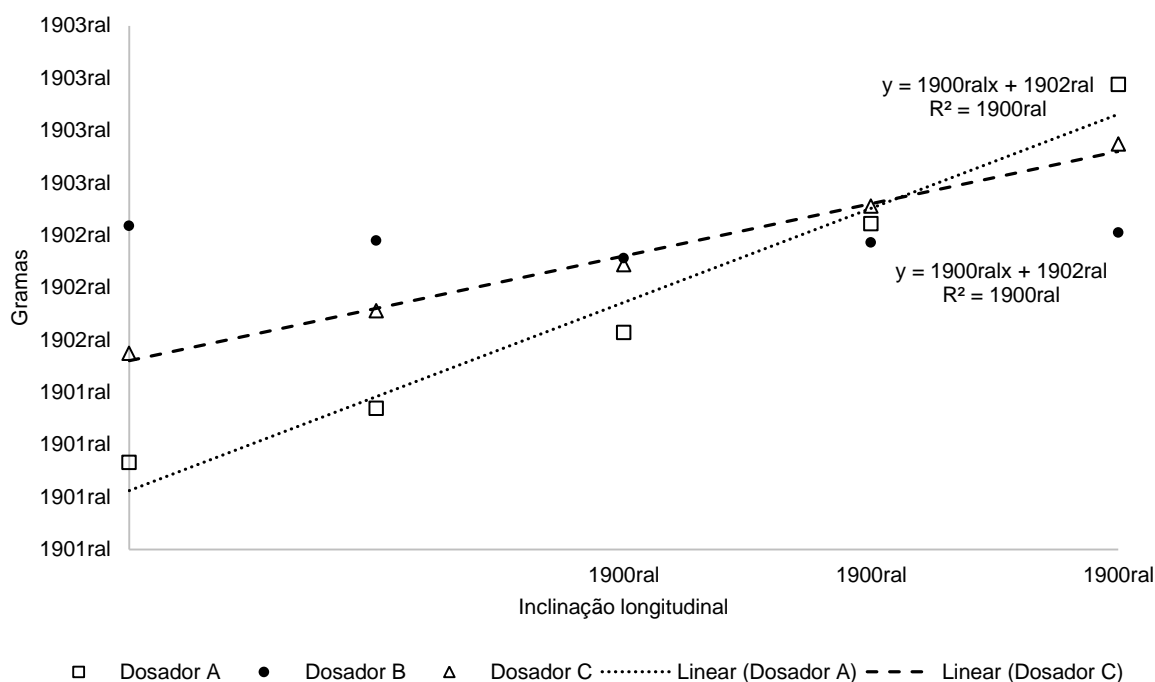


Figura 2 - Vazão de fertilizante Heringer Humics a partir de mecanismos dosadores de fertilizantes em função do grau de inclinação longitudinal do mecanismo dosador de fertilizante. Área Experimental, UNICRUZ, Cruz Alta, RS, Brasil.

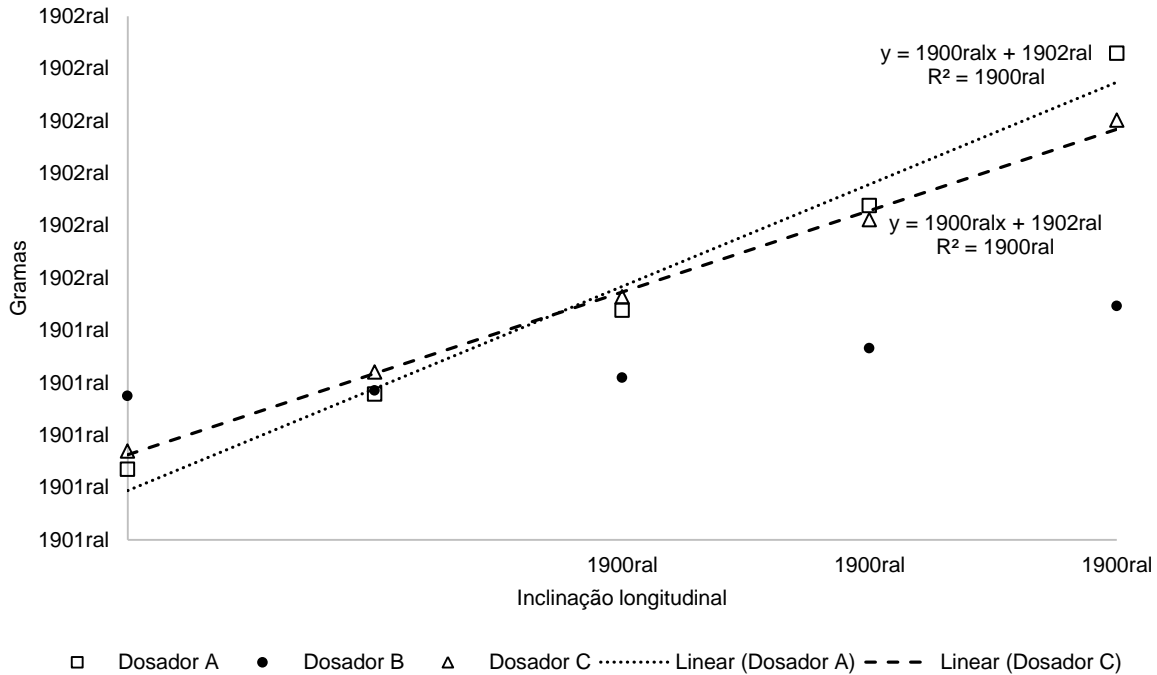


Figura 3 - Vazão de fertilizante Organomineral Adubasul a partir de mecanismos dosadores de fertilizantes em função do grau de inclinação longitudinal do mecanismo dosador de fertilizante. Área Experimental, UNICRUZ, Cruz Alta, RS, Brasil.

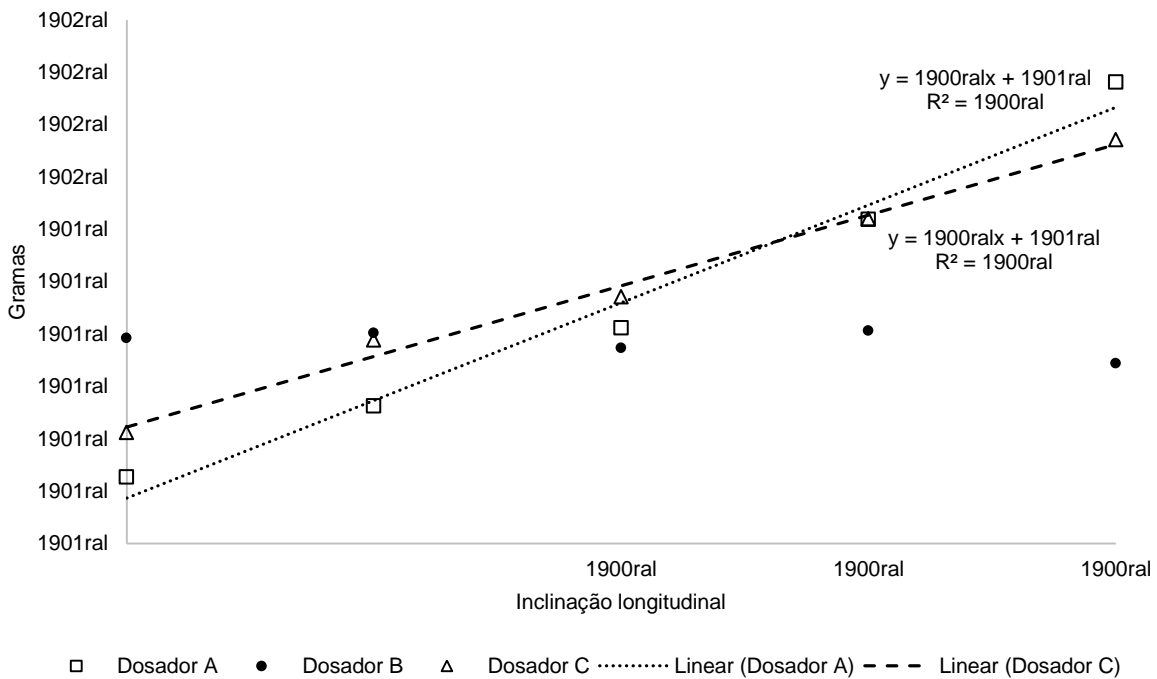
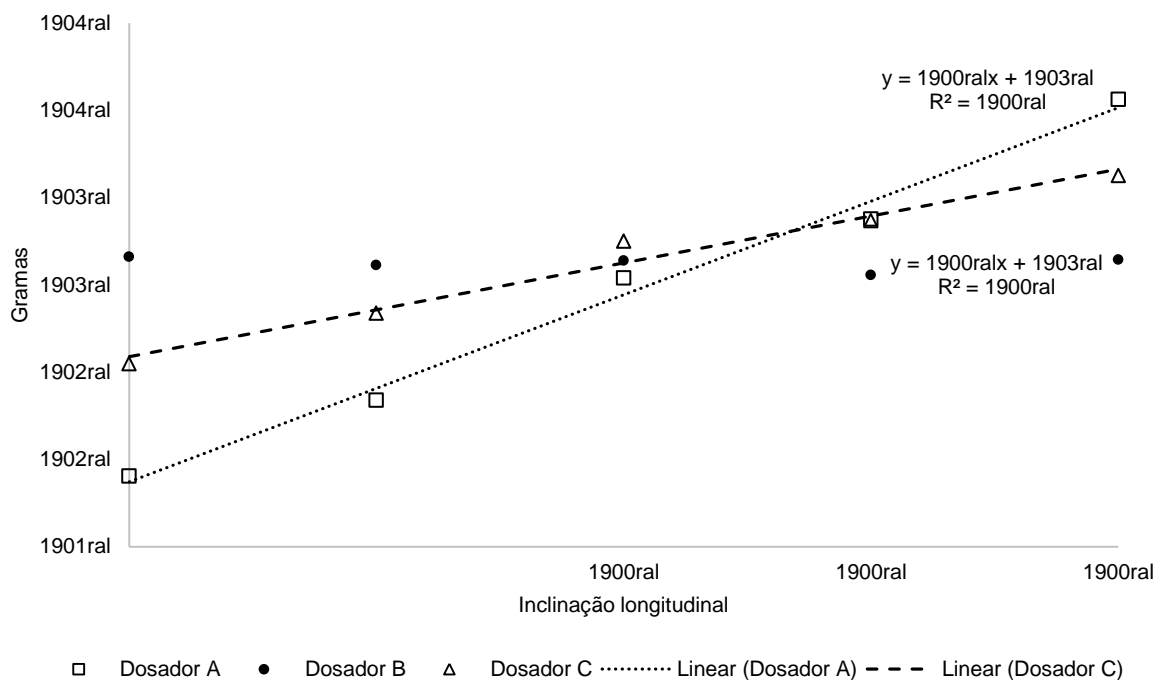


Figura 4 - Vazão de fertilizante Yara Mila a partir de mecanismos dosadores de fertilizantes em função do grau de inclinação longitudinal do mecanismo dosador de fertilizante. Área Experimental, UNICRUZ, Cruz Alta, RS, Brasil.



## 4 CONCLUSÃO

O mecanismo dosador de fertilizante sólido ToPlanting apresenta maior uniformidade de distribuição que os mecanismos dosadores modelo Prometer e Auto-Lub AP NG.

Nos mecanismos dosadores modelo Prometer e Auto-Lub AP NG o ângulo de inclinação longitudinal influencia na vazão dos fertilizantes sólidos avaliados.

No mecanismo dosador modelo ToPlanting o ângulo de inclinação longitudinal não influencia a vazão dos fertilizantes sólidos avaliados.

## REFERÊNCIAS

ALTMANN, A. S. et al. Metodologia para avaliação dos mecanismos dosadores de fertilizantes em semeadoras-adubadoras. In: **SIMPÓSIO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO**, 14. 2010, Santa Maria, RS. Simpósio de Ensino, Pesquisa e Extensão – SEPE. Santa Maria, RS: Centro Universitário Franciscano, 2010. 16-17 p.

BALASTREIRE, L.A. **Máquinas Agrícolas**. 2 ed. São Paulo: Manole, 2005. 310 p.

BONOTTO, G. J. **Desempenho de dosadores de fertilizantes de semeadoras-adubadoras em linhas**. Santa Maria: UFSM, 2012. 97p. Dissertação Mestrado.

FRANCK, C. J. et al. Modelos estatísticos para seleção de dosadores helicoidais com diferentes

dispositivos de descarga de fertilizante. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, v. 19, n. 5, p. 512-518, 2015.

GARCIA, A. P. **Desenvolvimento de um sistema de controle eletromecânico para dosador de fertilizantes** / Angel Pontin Garcia. - Campinas, SP: [s.n.], 2007.

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**, v. 2, n. 1, p. 171-182, 2001.

OLIVEIRA, M. L. et al. Desempenho de uma semeadora-adubadora para plantio direto, em dois solos com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, p. 1455-1463, 2000.

REYNALDO, É. F.; GAMERO, C. A. Avaliação de mecanismos dosadores de fertilizantes helicoidais em ângulos de nivelamento longitudinal e transversal. **Energia na Agricultura**, v. 30, n. 2, p. 125-136, 2015.

## PLANTABILIDADE DE MILHO SUBMETIDA A DIFERENTES COEFICIENTES DE VARIAÇÃO NA LINHA DE SEMEADURA

### *Maize plantability submitted to different coefficients of variation in the sowing line*

Fagner Augusto Rontani <sup>1</sup>, Antônio Luis Santi <sup>2</sup>, Diekson Ruy Orsolin da Silva <sup>3</sup>, Tassiana Dacás <sup>4</sup>,  
Tairon Thiel <sup>5</sup>, Fábio Miguel Knapp <sup>6</sup>, Isaura Luiza Donati Linck <sup>7</sup>

<sup>1,3,4,5,6,7</sup> Universidade Federal de Santa Maria, RS, Linha Faguêense, 98400-000, Frederico Westphalen – RS,  
Brasil, [fagner\\_rontani@outlook.com](mailto:fagner_rontani@outlook.com), [dieksonros@hotmail.com](mailto:dieksonros@hotmail.com), [tassinadacas@hotmail.com](mailto:tassinadacas@hotmail.com),  
[taironthiel@hotmail.com](mailto:taironthiel@hotmail.com), [fabio.knapp@hotmail.com](mailto:fabio.knapp@hotmail.com), [izauralinck@hotmail.com.br](mailto:izauralinck@hotmail.com.br)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Santa Maria, RS, Linha Sete de Setembro, 98400-000, Frederico Westphalen –  
RS, Brasil, [santi\\_pratica@yahoo.com.br](mailto:santi_pratica@yahoo.com.br)

### RESUMO

A distribuição eficiente e uniforme das sementes de milho é um fator que está relacionado diretamente com a produtividade, pois dependendo do híbrido, fertilidade do solo e até mesmo a disponibilidade hídrica do período de cultivo são parâmetros importantes para a escolha da densidade de semeadura e estande final de plantas. Assim, o trabalho teve como objetivo avaliar a produtividade da cultura do milho submetido a diferentes populações e variações na distribuição longitudinal das sementes de milho na linha de semeadura. O delineamento experimental foi blocos casualizados, com quatro repetições. O arranjo fatorial foi 2 x 5, sendo duas populações de milho (55000 e 75000 plantas por hectare) e cinco coeficiente de variação de distribuição de sementes (0, 25, 50, 75 e 100 %). As duas populações testadas tiveram diminuição na produtividade de acordo com o aumento do CV (%), porém não houve diferença estatística entre os tratamentos. Conclui-se que a variação na distribuição longitudinal teve influência direta na produtividade e que se faz necessária a realização de mais trabalhos nessa linha de estudo.

**Palavras-chave:** *Zea mays*. qualidade de estande. produtividade.

### ABSTRACT

The efficient and uniform distribution of corn seeds is a factor that is directly related to productivity, because depending on the hybrid, soil fertility and even the water availability of the cultivation period are important parameters for the selection of seeding density and final plant stand. Thus, the objective of this work was to evaluate the maize crop productivity submitted to different populations and variations in the longitudinal distribution of maize seeds in the sowing line. The experimental design was randomized blocks, with four replications. The factorial arrangement was 2 x 5, with two maize populations (55,000 and 75,000 plants per hectare) and five seeds distribution coefficient (0, 25, 50, 75 and 100%). The two populations tested had a decrease in productivity according to the increase in Coefficient of Variation – CV (%), but there was no statistical difference between the treatments. It is concluded that the variation in the longitudinal distribution had a direct influence on productivity and that it is necessary to perform more work in this line of study.

**Keywords:** *Zea mays*. Stand quality. Productivity.

## 1 INTRODUÇÃO

A redução do espaçamento entre fileiras é uma prática muito adotada pelos agricultores nos últimos anos com o objetivo de aproveitar melhor a área e os recursos naturais (SIMIONATO, 2014). Quanto mais se diminui o espaçamento entre linha e aumenta a densidade de plantas na mesma área, mais difícil se torna a obtenção de um arranjo espacial onde não se tenha competição intraespecífica.

As diferentes formas de distribuição de sementes nas linhas e entrelinhas irão determinar qual foi o tipo de arranjo escolhido, porém o melhor arranjo é aquele que proporcionar uma distribuição mais uniforme, possibilitando um melhor aproveitamento dos recursos como água, luz e nutrientes (ARGENTA, 2001).

O contrário também é válido, pois Sangoi et al., (2012) destacou que irregularidades na

plantabilidade do milho em linha de semeadura irá proporcionar uma diminuição no aproveitamento de nutrientes, água e luz, e com isso aumentando o número de plantas com colmo frágeis, dominadas e que produzirão espigas pequenas.

Áreas onde o estande de planta apresenta uma maior ocorrência de sementes duplas terá como consequência maior competição por água, nutrientes e luz entre as plantas de interesse e com isso uma diminuição na produtividade. Kurachi et al., (1989) destacaram em trabalho que a distribuição longitudinal de sementes é uma das características que mais contribui para o estande ideal de plantas e o reflexo disso é uma produtividade estável. Logo o coeficiente de variação (CV%) e a porcentagem de ocorrência de espaçamentos aceitáveis são os dois principais parâmetros para esse tipo de avaliação.

Segundo Mundstock (1977, apud ARGENTA, 2001, p. 1075) o objetivo do produtor, o nível de tecnologia, a época de semeadura e a duração da estação de crescimento na região do cultivo são alguns dos principais fatores que influenciam na escolha do arranjo espacial das plantas de milho.

Há poucos estudos que relatam a influência de uma má distribuição longitudinal na linha de semeadura e quais resultados essas distribuições irão demonstrar no potencial produtivo da cultura do milho. Partindo desta necessidade, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a produtividade da cultura do milho submetido a diferentes populações e variações na distribuição longitudinal das sementes na linha de semeadura do milho.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

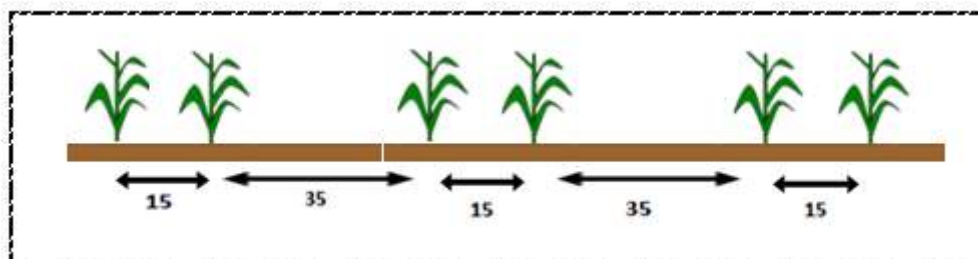
O experimento foi realizado em uma área experimental na Universidade Federal de Santa Maria, campus de Frederico Westphalen, RS, Brasil. A área experimental utilizada para a realização do trabalho está localizada geograficamente na latitude 27°23' 53.59" Sul e longitude de 53°25' 33.75" Oeste, ha 480 metros do nível do mar, na região norte do Estado do Rio Grande do Sul. O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2013).

As médias de temperatura e precipitação anuais da região estão entre 19,2 °C e 1880 mm, o clima da região está classificado por Köppen-Geiger como Cfa ou subtropical úmido com verão quente.

O delineamento experimental foi blocos casualizados com quatro repetições. O arranjo experimental foi fatorial 2 X 5, em que o fator A corresponde à população de plantas ha<sup>-1</sup>: 55.000 e 75.000; e o fator B corresponde ao coeficiente de variação (CV %) na distribuição longitudinal das sementes na linha de semeadura: 0, 25, 50, 75 e 100 %, essas (%) foram escolhidas com o objetivo de terem diferenças constantes e o mais parecido possível com a realidade do agricultor.

A semeadura do milho foi realizada no dia 14 de outubro sobre a cobertura de aveia branca (*Avena sativa L.*), previamente dessecada com glyphosate (960 g i.a. ha<sup>-1</sup>). A semeadura foi realizada manualmente, contudo foram feitas linhas com uma semeadora de seis linhas espaçadas 0,45 m entre linha. As sementes foram alocadas nos sulcos manualmente de acordo com cada CV % desejado, com o objetivo de depositar as sementes nas distâncias conhecidas e calculadas, Figura 1.

Figure 2 – Exemplo da deposição das sementes de acordo com o CV % no sulco de semeadura por meio de uma linha demarcada.



Para a adubação de base do milho foi utilizado 375 kg ha<sup>-1</sup> da formulação de NPK 12-30-19 e 300 kg há<sup>-1</sup> de nitrogênio (ureia), e parceladas em duas aplicações iguais nos estádios V3 e V6, seguindo o manual de calagem e adubação (SBCS, 2016), no híbrido triplo Semilla S-8044. A cultivar é um híbrido triplo utilizado tanto para a produção de grãos como também de silagem de porte baixo e ciclo precoce, sendo utilizado nas populações de 65.000 a 75.000 plantas por hectare em toda região sul.

No manejo de plantas daninhas foi aplicado atrazina+simazina (4000+4000 g i.a. ha<sup>-1</sup>) em pré e pós emergência da cultura. Para o controle de pragas foram realizadas três aplicações de zeta-cipermetrina na dose de 53 g i.a. ha<sup>-1</sup> e duas aplicações de acefato na dose de 750 g i.a. ha<sup>-1</sup>.

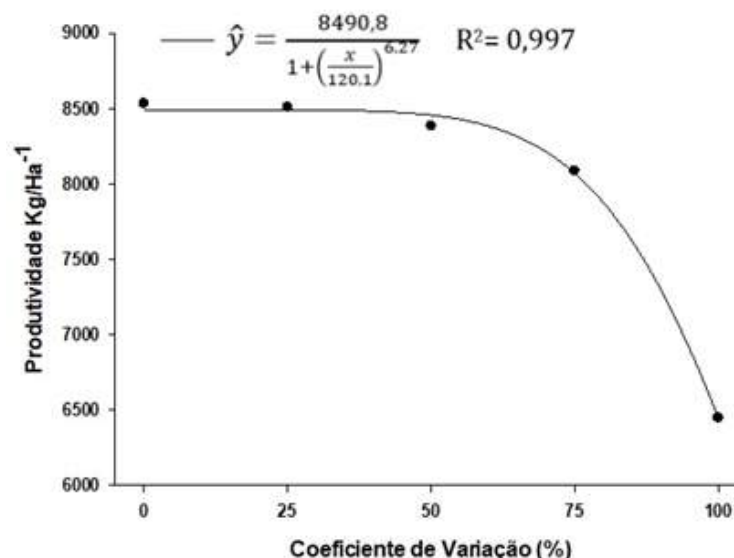
A colheita do milho foi realizada manualmente aos 145 dias após a emergência, das seis linhas úteis de cada parcela duas externas foram deixadas como bordadura e nas quatro linhas centrais foram colhidas as plantas necessárias para a avaliação em uma área útil de 7,2 m<sup>2</sup> por parcela. As espigas foram debulhadas e pesadas para avaliar a produtividade, após a pesagem o peso de cada tratamento foi corrigido para a umidade de 13 %. Após a tabulação dos dados, foi realizada a análise de variância (ANOVA) pelo teste F, e em seguida foi realizada a análise de regressão por meio do *software* estatístico GENES® (CRUZ, 2013).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No experimento realizado não houve interação entre os fatores testados, população de planta e coeficiente de variação. Notamos que de acordo como aumento da irregularidade de distribuição de plantas (CV%), a produtividade foi reduzida para ambas as populações, porém não havendo diferença significativa entre as populações de plantas.

Os resultados da produtividade do milho foram expressos graficamente nas Figuras 2 e 3, para melhor visualizar o comportamento da produtividade de cada população testada e o comportamento do CV%. Na população de 55.000 plantas houve uma diminuição acentuada a partir do CV de 75%, demonstrando que em populações menores a diminuição da produtividade em relação ao erro de distribuição de sementes diminui em menores proporções. Porém a partir de 75 % de variação na semeadura a produtividade teve uma grande perda. Ao testar o uso de um bioestimulante e variabilidade espacial na distribuição de plantas de milho Kolling et al., (2016), notaram que o rendimento de grãos foi afetado principalmente pela distribuição das plantas, onde conforme aumentou o coeficiente de variação da distribuição diminuiu o rendimento de grãos.

Figura 2 – Efeito do coeficiente de variação da distribuição de sementes na linha de semeadura na produtividade de milho na população de 55.000 plantas.



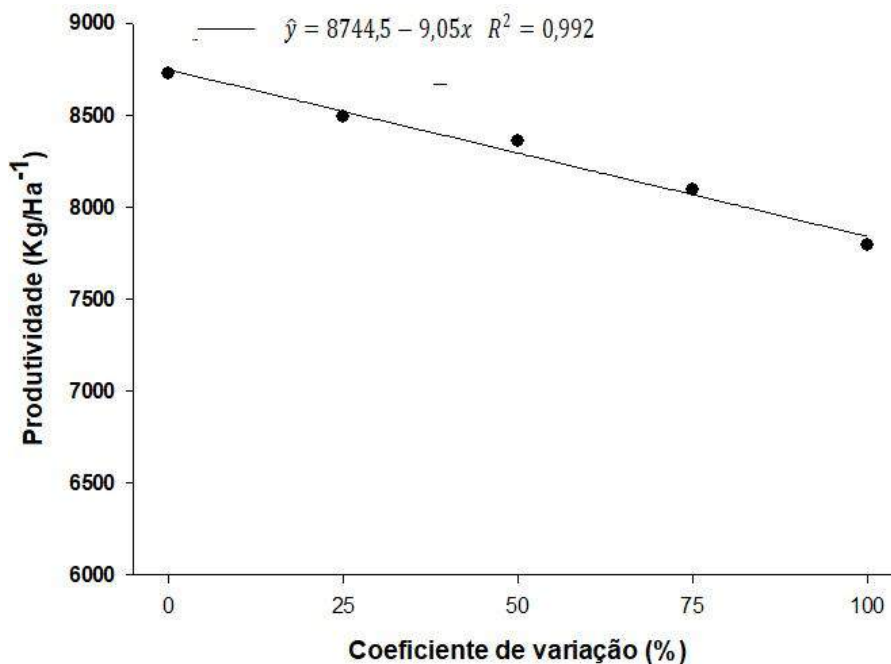


Quando testado a população de 75.000 plantas por hectare, Figura 3, a produtividade diminuiu gradativamente 90,5 kg ha<sup>-1</sup> para cada 10 % de aumento no CV causando e diminuição de 886,5 kg ha<sup>-1</sup> quando a distribuição de sementes teve um CV de 100%, demonstrando uma menor perda total de produtividade comparada com a população de 55.000 plantas.

A variação na distribuição é uma situação real de campo que ocorre devido a semeaduras desreguladas ou até mesmo velocidades de semeaduras excessivas, visto que o aumento da velocidade de deslocamento da ocasiona uma diminuição nos espaçamentos aceitáveis em sementes para a cultura do milho (DIAS, 2009).

Diferentes sistemas de dosagem em semeaduras podem ocasionar variações na distribuição longitudinal de sementes, logo, dependendo do arranjo que ocorrer a produtividade poderá estar sendo interferido e com isso diminuindo a mesma, como foi o caso analisado por Horbe (2015), onde o autor notou que com o uso de diferentes sistemas de distribuição de sementes houve uma redução de 16 % no coeficiente de variação na distribuição longitudinal de plantas ocasionando um aumento de 6,8 a 12,5 % na produtividade do milho, demonstrando uma relação da produtividade com o CV das sementes na linha de semeadura. Esses resultados também foram atribuídos a quantidade de plantas dominadas e com isso influenciando a produtividade.

Figura 3 – Efeito do coeficiente de variação da distribuição de sementes na linha de semeadura na produtividade de milho na população de 55.000 plantas.



Em um trabalho realizado por Sangoi., et al (2012), os autores notaram que ao repetir o experimento por dois anos seguidos ocorreu uma diminuição proporcional na produtividade, onde de acordo com o aumento da desuniformidade espacial a produtividade diminuía, pois no primeiro ano para cada 10 % de incremento no CV a produtividade diminuía 83 kg há<sup>-1</sup>, já no segundo ano essa diminuição de produtividade ficou em torno de 64 kg há<sup>-1</sup> para cada 10 % de aumento no CV, demonstrando uma relação da desuniformidade da distribuição espacial de plantas com a produtividade do milho.

## 4 CONCLUSÃO

Para ambas as populações houve uma diminuição na produtividade do milho conforme o

aumento do CV %, porém não ocorreu diferença estatística entre os tratamentos.

A variação na distribuição longitudinal teve influência na produtividade, mas não demonstrando diferença estatística, logo se faz necessária a realização de mais trabalhos nessa linha de estudo.

## REFERÊNCIAS

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; SANGOI, L. **Arranjo de plantas de milho**: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.6, p.1075-1084, 2001.

CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum*. v.35, n.3, p.271-276, 2013.

DIAS, V. O. et al. Distribuição de sementes de milho e soja em função da velocidade e densidade de semeadura. Departamento de Engenharia Rural, Centro de Ciências Rurais (CCR), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). 2009.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Brasília, 2013. 353 p.

MUNDSTOCK, C.M. Densidade de semeadura no milho para o Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS/ASCAR, 1977<sup>a</sup>. 35p.

KOLLING, D. F.; et al. Tratamento de sementes de bioestimulante ao milho submetido a diferentes variabilidades na distribuição espacial das plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.46, n.2, p.248-253, fev, 2016.

KURACHI, S. A. H.; **Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras**: tratamento de dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. *Bragantia*, Campinas, 48(2): 249-262, 1989.

SANGOI, L.; et al. Variabilidade na distribuição espacial de plantas na linha e rendimento de grãos de milho. **Revista brasileira de Milho e Sorgo**, v 11, n.3 p. 268-277, 2012.

SIMIONATO, U. R.; Redução do espaçamento entre fileiras na produtividade de duas cultivares de soja sob diferentes densidades de semeadura. In: IX Jornada Acadêmica da Embrapa Soja. Resumos expandidos – 7, 2014, Londrina, PR. Anais (on-line). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/105824/1/JORN.2014.pdf>. Acesso em 15 Set 2017.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – **SBCS**. Núcleo Regional. Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11.ed. RS/SC, 2016. 375p.

HORBE, T. A. N. **Distribuição espacial de plantas na fileira e sua relação com a produtividade da cultura de milho**. 2015. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015

## PROGRESSO DA FROTA BRASILEIRA DE TRATORES COM ATÉ 20 ANOS DE USO, DESDE A INSTALAÇÃO DA INDÚSTRIA LOCAL

### *Progress of Brazilian tractors fleet up to 20 year of usage, since local industry installation*

Sabrina Dalla Corte Bellochio<sup>1</sup>, Francieli de Vargas<sup>2</sup>, Marília Boff de Oliveira<sup>3</sup>, Airton dos Santos Alonço<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Avenida Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, [bellochiosabrinad@hotmail.com](mailto:bellochiosabrinad@hotmail.com), [devargasfrancieli@gmail.com](mailto:devargasfrancieli@gmail.com), [marilia.boffdeoliveira@gmail.com](mailto:marilia.boffdeoliveira@gmail.com), [airtonalonco@gmail.com](mailto:airtonalonco@gmail.com)

### RESUMO

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de grãos, o que torna a agricultura fundamental para o desenvolvimento econômico e social do país. Desta forma, desde que os primeiros tratores foram produzidos através da indústria local, em 1960, a mecanização agrícola brasileira foi fomentada, permitindo ampliar as áreas cultivadas ou a escala de produção. Assim, as atividades agrícolas, passaram a incorporar novas técnicas e equipamentos mais produtivos, tendo foco principal a eficiência operacional. O objetivo deste estudo foi calcular e demonstrar a evolução anual da composição da frota brasileira de tratores, por faixas de tempo de uso, desde a instalação da indústria de tratores no país até o ano de 2016, considerando uma vida útil de 20 anos. Para esta composição, foram utilizados os dados anuais de vendas de tratores agrícolas no país, divulgados pela ANFAVEA. A análise demonstrou que as vendas acompanham os ciclos econômicos, apresentando picos na década de 70 e de 2010. Ainda é possível observar que o Brasil apresenta aproximadamente 715 mil unidades de tratores com até 20 anos de uso e atualmente, possui a frota mais jovem dos últimos 30 anos, a qual iniciou sua renovação a partir do ano 2000, a partir de políticas de acesso ao crédito.

**Palavras-chave:** Agricultura. Frota. Anos de uso.

### ABSTRACT

Brazil is one of the world's largest grain producers, which makes agriculture an essential part of the country's economic and social development. Thus, from the 1960s, a Brazilian agricultural mechanization was fostered, allowing to expand as cultivated areas or the production scale. Then, the agricultural activities began to incorporate new techniques and equipment more productive, having a main focus to operational efficiency. This study aims to calculate and demonstrate the evolution of the Brazilian fleet tractors composition, by time of use, from the installation of the tractor industry in the country until the year 2016, considering a lifetime of 20 years. For this composition, was used the Brazilian annual sales data of agricultural tractors, published by ANFAVEA. The analysis has demonstrated that sales accompanied the economic cycles, with peaks in the 70's and 2010. It is still possible to observe that Brazil presents almost 715 thousand tractors and current, has a newest fleet of the last 30 years, which began its renovation from the year 2000, by access to credit policies.

**Keywords:** Agriculture. Fleet. Usage.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o Brasil é um dos maiores produtores de soja do mundo (ESPÍNDOLA e CUNHA, 2015). Este fato ocorreu com o aumento da área cultivada, desbravamento de fronteiras agrícolas, implantação de novas tecnologias e práticas de cultivo, além da otimização do processo produtivo agrícola e de linhas de financiamento facilitado, ocorridos com maior intensidade a partir da década de 70.

A mecanização agrícola brasileira avançou na produção de tratores em 1960, com as primeiras unidades nacionais, por meio de incentivos à instalação de empresas estrangeiras no país, seguido da proibição da importação de tratores (NETO, 1985). Silva Junior (2017) relata que no período de 1995 a 2012, os investimentos privados em pesquisa agrícola aumentaram

700% no Brasil. O setor público teve papel importante neste processo, pois fomentou este desenvolvimento através de incentivos econômicos, por meio de isenções fiscais, crédito subsidiado e da capitalização de empresas.

À medida que as áreas agrícolas aumentaram, foi se introduzindo a atividade mecanizada. Devido a este fato, o mercado de máquinas se desenvolveu proporcionalmente, a fim de suprir a demanda interna do país (CASTRO, 2004). Com isso, os fabricantes vêm desenvolvendo novas tecnologias de monitoramento das atividades, da produtividade, da manutenção das máquinas, a fim de traçar um planejamento detalhado e buscar eficiência operacional. Assim, estas inovações tecnológicas, demandam uma renovação da frota de tratores. Além disso, com a abertura de novas fronteiras agrícolas e com o desenvolvimento da agricultura extensiva, é possível notar o aumento da demanda por tratores com maior potência e automação, em busca de maior rendimento operacional e da redução dos custos de produção (FERREIRA FILHO e FELIPE, 2007; VIAN et al., 2013).

Atualmente, os tratores de rodas representam mais de 80% do total das vendas internas de máquinas agrícolas e rodoviárias no Brasil. Estas ocorrem predominantemente nas regiões Sul e Sudeste, onde juntas, são responsáveis por mais de 70%. Destaca-se que o estado de São Paulo, apresentou a aquisição de 24% das unidades vendidas no ano de 2016 e de 22% entre os meses de janeiro a julho de 2017 (ANFAVEA, 2017).

A indústria de tratores é uma das principais fornecedoras de bens de capital para a agricultura, formando um dos pilares da modernização agrícola (SOBRAL, 2010). Neste contexto, é de suma importância identificar e interpretar o avanço do desenvolvimento e uso dos tratores. Estes são amplamente empregados nas áreas agrícolas, e sua gestão e utilização são fatores que influenciam nos resultados produtivos e financeiros, ou seja, a intensificação de uso (quantidade de horas trabalhadas), reflete-se diretamente nos custos operacionais. Os custos variáveis decorrem, principalmente, em função do consumo de combustível, de óleos e de lubrificantes, também por trocas de filtros, de pneus e por reparos. A diferença no custo global de utilização e manutenção de tratores com menos de 5 anos e com mais de 20 anos é superior a 20%, segundo relatório espanhol MAPAMA (2006).

A proposta deste estudo é de realizar o cálculo e de demonstrar a evolução anual da composição da frota brasileira de tratores, com até 20 anos de uso. Para isso, foram consideradas 4 faixas de tempo de uso e compreendido o período desde a instalação da indústria de tratores no país até o ano de 2016.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada por meio da coleta de dados anuais referentes a vendas de tratores agrícolas de rodas no Brasil, os quais foram obtidos pelo site da Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) e referem-se às empresas associadas a esta entidade. O foco do estudo foi analisar os dados referentes à vendas no mercado interno, portanto, não foram consideradas as informações de produção e exportação de tratores.

Para a determinação da frota em cada ano, foi considerada uma vida útil de 20 anos do produto, desde o ano de sua venda. Esta composição foi realizada através de uma planilha eletrônica, no formato Microsoft Excel<sup>®</sup>, com a soma das unidades vendidas no período de 1960 a 2016, e concomitantemente, dividida em quatro faixas de tempo de uso a considerar, sendo estas: de 0 a 5 anos, 6 a 10 anos; 11 a 15 anos e 16 a 20 anos. Exemplo: Referente a composição, a partir de 1980 as primeiras unidades vendidas em 1960, completaram 20 anos da data da venda, assim, estas não foram mais consideradas no cálculo dos anos subsequentes.

Com a divisão por faixas, é possível analisar em cada ano, a composição da frota por tempo de uso, suas variações e evolução ao longo do tempo. Assim, o total de tratores que compõem a frota em determinado ano, está com sua composição representada em 4 faixas de tempo, desde o ano de sua venda até 20 anos posteriores. Esta composição foi analisada e será discutida quanto ao seu progresso neste período.

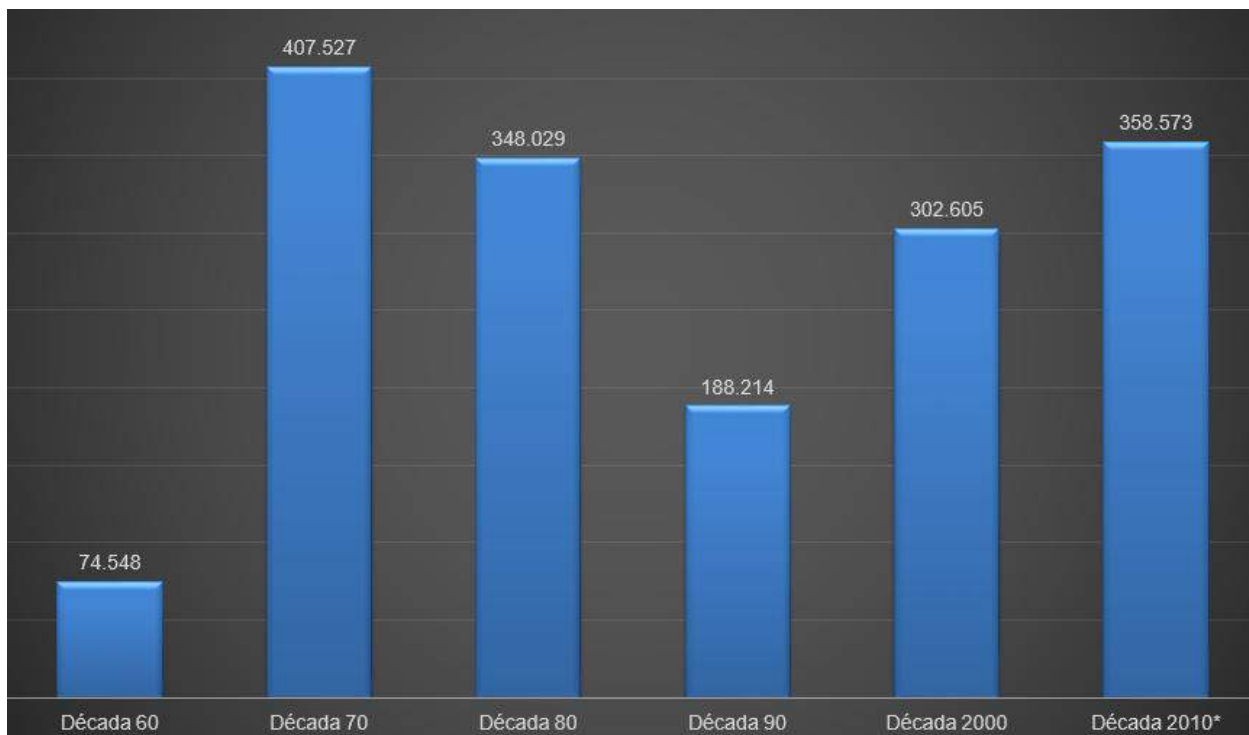
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os registros de vendas de tratores no país, conforme ANFAVEA (2017), iniciaram no ano de 1960, com 47 unidades, pelo advento da instalação da indústria local. Contudo, o pico de vendas da década foi de 11.535, em 1964, sendo que a média anual tangeu 7.455 unidades. Na década de 70 ocorreu o auge da comercialização, apresentando a média de 40.753 unidades anuais. Neste período, destaca-se o ano de 1976 com a venda expressiva de 62.700 tratores. Este marco comercial foi superado somente 37 anos após, no ano de 2013, onde os números voltaram a demonstrar tendência positiva, depois de um período de declínio das vendas.

As décadas subsequentes de 80 e 90, não superaram os números apontados na década anterior. Estas apresentaram redução progressiva na quantidade de tratores comercializados, sendo, respectivamente de 348.029 e 188.214 unidades vendidas. Já na primeira década do século 21, o ano de 2009 apresentou o maior número de tratores negociados, com 45.437 unidades, representando a retomada crescente das vendas, culminando em 2013 com 65.089 tratores. Esta evolução das vendas de tratores, que compuseram o estudo da frota nacional, está representada, na Figura 01.

No entanto, a década de 1970 apresentou um desenvolvimento significativo do setor agrário, pois foi impulsionada por políticas de crédito facilitado e direcionadas à elevação do nível tecnológico do setor agrícola (NOGUEIRA, 2001). Entretanto, segundo Teixeira (2005), as vendas internas de tratores desde 1985, indicam que estas acompanham os ciclos econômicos do país e que nas décadas de 1980 e 1990, ocorreu uma redução dos incentivos agrícolas via crédito rural. A disponibilidade de crédito, segundo Melo et al. (2012), além do aumento da faixa de potência e da adoção do sistema de plantio direto, se relacionam com a evolução das vendas de tratores no Brasil. Estes fatores, explicam as oscilações das vendas ao longo das décadas, as quais estão apresentadas na Figura 01.

Figura 01 - Total acumulado, por década, de tratores vendidos no Brasil



\*dados até o ano de 2016.

Fonte: Adaptado de ANFAVEA, 2017.

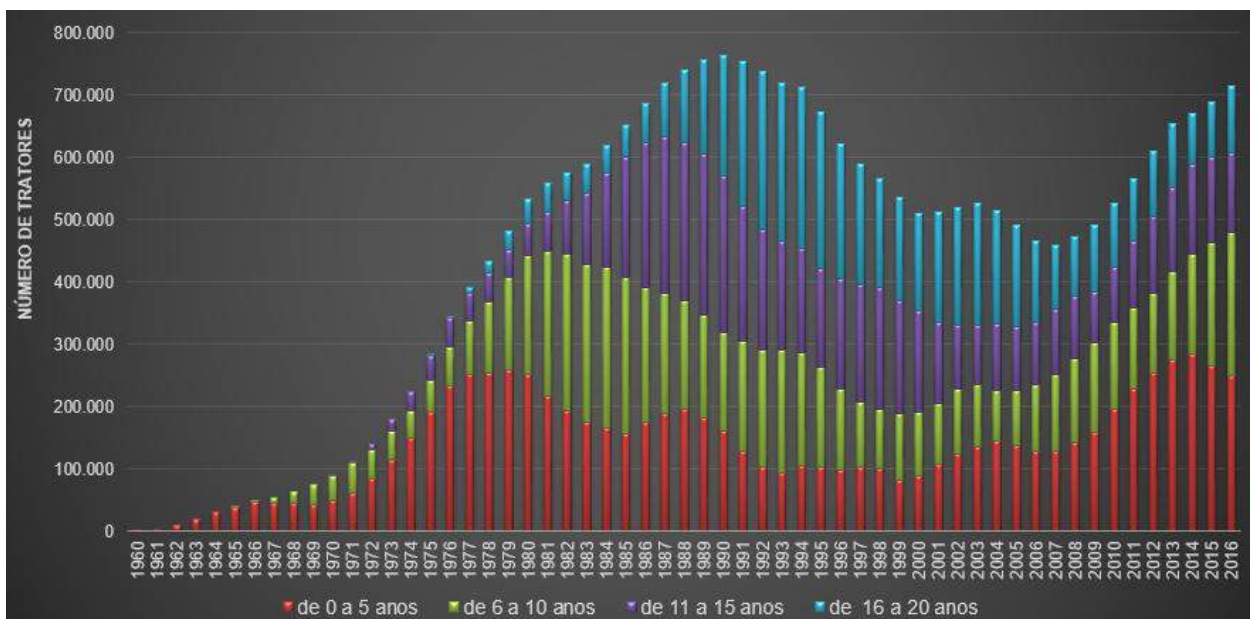
Através da análise dos dados de vendas ao longo dos anos, realizou-se o cálculo da frota brasileira de tratores agrícolas, onde sua composição pode ser observada na Figura 02. Nos últimos 40 anos, esta apresentou um aumento de 208%. Ressalta-se que o período compreendido entre 1987 e 1993 foi o que apresentou os maiores números, sendo que atualmente a frota de tratores com até 20 anos de uso é constituída por 715.109 unidades.

Os tratores entre 0 e 10 anos de utilização correspondiam a 478.724 unidades em 2016, o que equivale a praticamente dois terços da frota total calculada. No mesmo ano, a faixa de 11 a 15 anos representava 129.660 unidades e a de 16 a 20 com 106.725, segundo a Figura 02.

A análise da composição da frota, indica que o período compreendido entre os anos de 1989 e 2005 é o que apresenta a maior quantidade de tratores com tempo de uso de 11 a 20 anos, sendo superior a metade da frota. A partir deste período, este expressa um decréscimo contínuo ao longo dos anos, chegando a representar 33% do total no ano de 2015 e de 2016. Nestes anos, o Brasil apresentou a composição da frota de tratores mais nova dos últimos 30 anos, constituída por 67% do total com tratores na faixa de 0 a 10 anos de uso.

Quanto a frota, Teixeira (2005) indicou para o ano de 1985, um total de 551 mil unidades e em 1998 um conjunto de 460 mil unidades. Estes dados são respectivamente 15% e 19% menores dos que os apresentados na Figura 2. Este autor destaca que a frota brasileira se apresentava distante de países como Canadá e Estados Unidos, que respectivamente apresentavam suas frotas com 711 mil e com 4,8 milhões de tratores.

Figura 02 - Evolução da frota brasileira de tratores agrícolas, em unidades e por faixas de tempo de uso.



Fonte: Autores.

O crescimento da faixa de tratores com até 10 anos de uso, que teve início no ano 2000 até 2016, observadas na Figura 2, pode ser relacionado, para grandes propriedades, com os estudos de Molin et al. (2015). Este destaca que a agricultura de precisão foi impulsionada no Brasil a partir do ano 2000, com o foco de abordar a desuniformidade das áreas no espaço e no tempo, a partir do uso de inovações tecnológicas de máquinas e equipamentos. Além disso, os crescentes usos de novas tecnologias, bem como o aumento de potência, demandam a renovação da frota de tratores, pois os equipamentos apresentam incompatibilidade na conexão com mecanismos presentes nas máquinas antigas.

Neste período, visando a modernização da frota agrícola, a agricultura brasileira foi

fomentada por linhas de crédito governamentais especiais através do programa MODERFROTA (BRANDÃO et al., 2006; VIAN et al., 2013). Além disso, a partir de 2008, a modernização da agricultura familiar tem ocorrido principalmente pela compra de maquinário agrícola, através do lançamento do Programa Mais Alimentos (NORBERTO et al., 2015). Assim, a renovação da frota foi propiciada pelo crescimento na venda de tratores, que conferiu um maior conteúdo tecnológico, direcionando as atividades agrícolas do país a incorporar novas técnicas e equipamentos mais produtivos (TEIXEIRA, 2005).

## 4 CONCLUSÃO

A indústria brasileira de tratores foi fomentada a partir da década de 60, com um número anual de unidades produzidas que acompanharam os ciclos econômicos. Porém, com o passar dos anos, a frota foi envelhecendo, sendo possível notar, que a partir de 1989 mais da metade dos tratores apresentavam tempo de uso superior a 10 anos. A partir disso, linhas de crédito especiais fomentaram a modernização da frota e a compatibilidade com novas tecnologias para maior eficiência operacional e redução de custos da produção agrícola. Desta forma, o Brasil apresentou no ano de 2016 a composição de frota mais nova dos últimos 30 anos, composta por dois terços do total dos tratores, com até 10 anos de uso.

## REFERÊNCIAS

ANFAVEA. Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores. 2017. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/estat%c3%adsticas.html>. Acesso em: 10 ago. 2017.

BRANDÃO, A. S. P.; REZENDE, G. C. de; MARQUES, R. W. da C. Crescimento agrícola no período 1999/2004: a explosão da soja e da pecuária bovina e seu impacto sobre o meio ambiente. **Revista Economia Aplicada**, v. 10, n. 2, p. 249-266, abril/jun. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ecoa/v10n2/a06v10n2.pdf>. Acesso em: 22 abril 2017.

CASTRO, B. H. R. **Estratégias de Inovação: um estudo na indústria de máquinas e implementos agrícolas no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Administração). Instituto COPPEAD de Administração da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro. 125 p., set. 2004. Disponível em: [http://www.coppead.ufrj.br/upload/publicacoes/Bernardo\\_Castro.pdf](http://www.coppead.ufrj.br/upload/publicacoes/Bernardo_Castro.pdf). Acesso em: 11 maio 2017.

ESPÍNDOLA, C. J.; CUNHA, R. C. C. A dinâmica geoeconômica recente da cadeia produtiva da soja no Brasil e no mundo. **GeoTextos**, v. 11 n. 1, p. 217- 238, jul. 2015.

FERREIRA FILHO, J. B.; FELIPE, F. I. Crescimento da produção agrícola e o consumo de tratores de rodas no Brasil entre 1996 – 2005. **Anais... XLV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e sociologia Rural**. 2007. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/downloads/88756.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2017.

MELO, H. M. de; NAGAOKA, A. K.; VIEIRA, F. C. Influência do crédito agrícola e das novas tendências tecnológicas na comercialização de tratores de rodas no Brasil. **Revista de Ciências Agroveterinárias – Lajes**, v. 11, n. 1, p. 70-76, 2012.

MAPAMA. Ministério da Agricultura e Pesca, Alimentação e Meio Ambiente. Espanha, 2006. **Análisis del parque nacional de tractores agrícolas 2005 - 2006**. Disponível em: [http://www.mapama.gob.es/es/agricultura/temas/medios-de-produccion/parque\\_tractores\\_tcm7-1122.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/agricultura/temas/medios-de-produccion/parque_tractores_tcm7-1122.pdf). Acesso em: 19 jun. 2017.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de precisão**. 1. ed., São Paulo, SP. Oficina de Textos, 2015.

NETO, J. A. A. Indústria de máquinas agrícolas no Brasil - Origens e evolução. **Revista Administração Empresarial**, v. 25, n. 3, p. 57-69, 1985. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rae/v25n3/v25n3a05.pdf>. Acesso em: 15 maio 2017.

NOGUEIRA, A. C. L. Mecanização na agricultura brasileira: uma visão prospectiva. **Caderno de Pesquisas em Administração**, São Paulo, v. 8, n. 4, p. 77-87, 2001.

NORBERTO, L. M. A.; MACHADO, A. L. T.; REIS, A. V. dos; GOMES, M. C.; FERREIRA, M. F. Desenvolvimento da metodologia multicritério como modelo na seleção de tratores de quatro rodas. **Revista de la Facultad de Agronomía**, La Plata, v. 114, n. 2, p. 265-270, 2015. Disponível em: <http://163.10.24.65/revista/index.php/revagro/article/view/132/283>. Acesso em: 15 maio 2017.

SILVA JUNIOR, J. J. **Transformações da agricultura e pesquisa agrícola no Brasil**. 2017. 189 f. Tese (Doutorado em Ciências Econômicas) - Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2017.

SOBRAL, G. R. **A evolução na indústria de tratores agrícolas no Brasil: Estrutura de mercado e competitividade no período de 1994 - 2008**. 2010. 61 F. Monografia (Bacharel em Ciências Econômicas) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2010.

TEIXEIRA, J. C. Modernização da agricultura no Brasil: impactos econômicos, sociais e ambientais. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, Seção Três Lagoas, Três Lagoas, MS, v. 2, n. 2, p. 22-42, 2005.

VIAN, C. E. de F.; ANDRADE JÚNIOR, A. M.; BARICELO, L. G.; SILVA, R. P. Origens, Evolução e Tendências da Indústria de Máquinas Agrícolas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, SP, v. 51, n. 4, p. 719-744, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/resr/v51n4/a06v51n4.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2017.



# QUALIDADE DE SEMEADURA DE UMA SEMEADORA PNEUMÁTICA EM FUNÇÃO DA DECLIVIDADE DO TERRENO

*Sowing quality of a pneumatic seeder in the function of the terrain slope*

Rafael De Graaf Corrêa <sup>1</sup>, Luan Pereira de Oliveira <sup>2</sup>, Danilo Tedesco de Oliveira <sup>3</sup>, Marco Antonio Vrech de Souza <sup>4</sup>, Matheus Anaan de Paula Borba <sup>5</sup>, Cristiano Zerbato <sup>6</sup>  
<sup>1,2,3,4,5,6</sup> UNESP – FCAV, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n 14884-900 - Jaboticabal, SP, Brasil, [rafadegraaf@gmail.com](mailto:rafadegraaf@gmail.com), [luanoliveirax@gmail.com](mailto:luanoliveirax@gmail.com), [danielotedesco@outlook.com](mailto:danielotedesco@outlook.com), [marcovrech@hotmail.com](mailto:marcovrech@hotmail.com), [matheusborba@gmail.com](mailto:matheusborba@gmail.com), [cristianozerbato@gmail.com](mailto:cristianozerbato@gmail.com)

## RESUMO

A qualidade do processo de semeadura se caracteriza principalmente pela uniformidade nos espaçamentos entre as sementes depositadas. Esse parte da premissa que a declividade do terreno influencia negativamente na deposição de sementes, e conseqüentemente na qualidade da operação. Objetivou-se por meio desse trabalho avaliar por meio do controle estatístico de processo o efeito do aumento da declividade do terreno sobre uma semeadora pneumática com sistema de dosagem de sementes eletro-hidráulico sobre a distribuição longitudinal de sementes. No experimento utilizou-se uma semeadora pneumática com dosagem de sementes por mecanismo eletro-hidráulico. Observa-se nas cartas de controle que nas 4 linhas da semeadora os piores resultados foram encontrados quando a semeadora estava na declividade de -23%, onde o dosador estava posicionado de forma inclinada, fazendo com que as sementes se acumulassem do lado contrário do disco. A declividade do terreno influencia na distribuição longitudinal de sementes realizada pelo disco dosador.

**Palavras-chave:** Semeadura. Dosador. Controle estatístico de processo.

## ABSTRACT

The quality of the sowing process is characterized mainly by the uniformity in the spacings between the deposited seeds. This part of the premise that the declivity of the terrain negatively influences the seed deposition, and consequently the quality of the operation. The objective of this work was to evaluate, by means of statistical process control, the effect of increasing the slope of the ground on a pneumatic seed drill with an electro-hydraulic seed dosing system on the longitudinal distribution of seeds. In the experiment, a pneumatic seeder with seed dosage was used by electrohydraulic mechanism. It is observed in the control charts that in the 4 rows of the sowing machine the worst results were found when sowing was in the slope of -23%, where the doser was positioned in an inclined way, causing the seeds to accumulate on the opposite side of the disc. The slope of the terrain influences the longitudinal distribution of seeds by the metering disc.

**Keywords:** Sowing. Doser. Statistical process control.

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura no Brasil é responsável pela maior parte do produto interno bruto nacional, por isso é de grande importância que essa atividade aconteça com excelência, tendo como meta o mínimo de perdas possível ao longo do processo, meta essa que pode ser alcançada ao buscar o máximo de precisão e eficiência nas operações mecanizadas.

A operação mecanizada de maior importância quando se fala em agricultura é a semeadura, pois os problemas ocorridos nessa etapa só são percebidos após a emergência da cultura, trazendo perdas significativas na sua produção (MODOLO et al. 2010). Por isso, a qualidade dessa operação deve ser prezada e os fatores que causam sua redução devem ser manipulados a fim de obter o melhor custo-benefício.

A máquina responsável pela operação de semeadura é chamada de semeadora, e sua função é depositar no solo sementes de diferentes culturas, com espaçamento, densidade, e profundidade pré-definidos, de forma a maximizar o potencial de desenvolvimento das plantas e garantir a qualidade da operação.

A qualidade na operação de semeadoras se caracteriza principalmente pela uniformidade na distribuição longitudinal de sementes, que de acordo com SANGOI et al. (2012) pode ser quantificada pela porcentagem de espaçamentos falhos, duplos, e normais além de medidas como coeficiente de variação dos espaçamentos obtidos e o estande de sementes depositado pela semeadora. De acordo com VIAN et al. (2016) a variabilidade nos espaçamentos entre sementes acarreta em prejuízos na produtividade da lavoura devido às variações na distribuição de plantas ao longo da linha de semeadura.

Entre os diversos fatores que ocasionam irregularidades na distribuição longitudinal de sementes podemos citar a inclinação transversal da semeadora, causada pela declividade do terreno em locais onde se efetua semeadura em nível. Ao estudar esse fator, Corrêa e Pinotti (2017) utilizando uma semeadora pneumática no mesmo local onde foi realizado o experimento, constataram por meio do teste de médias que a declividade do terreno combinada à algumas velocidades reduziram o percentual de espaçamentos admissíveis.

Para qualificar uma semeadora COELHO (1996), e WEIRICH NETO et al. (2015) determinou que semeadoras pneumáticas devem apresentar 90% dos espaçamentos dentro da faixa dos aceitáveis, porém a alta variabilidade e o ambiente hostil onde são realizadas as operações agrícolas costumam comprometer os processos e impedir que essa meta seja alcançada. De acordo com SILVA et al. (2013), o controle estatístico de processos (CEP) é uma alternativa para elevar a qualidade de operações mecanizadas no setor agrícola, atuando como uma análise de dados, que visa o melhor gerenciamento da operação, para enfim reduzir o nível de variabilidade inerente à mesma. Para VOLTARELLI et al. (2015), o CEP é uma ferramenta que permite verificar a estabilidade de processos agrícolas, e identificar se a causa da instabilidade no processo é aleatória ou especial, com o objetivo de corrigir e otimizar o processo.

Esse estudo parte da premissa que a declividade do terreno influencia negativamente na deposição de sementes, e conseqüentemente na qualidade da operação. Objetivou-se por meio desse trabalho avaliar o efeito do aumento da declividade do terreno sobre a distribuição longitudinal de sementes.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no campus experimental da Fatec "Shunji Nishimura", localizada na cidade de Pompeia-SP. O solo onde foi realizado o experimento é classificado como Argiloso Vermelho Amarelo distrófico arênico (Embrapa 1999). Para a implantação do experimento utilizou-se uma semeadora adubadora pantográfica Jumil modelo 3090 PD (Figura 1) equipada com sete unidades semeadoras, com o espaçamento entre as linhas de 0,5 m.

Figura 1 – Conjunto utilizado no experimento.



Fonte: autores.

A semeadura ocorreu no mês de outubro de 2015, em sistema de plantio direto, com solo friável, e em terreno plano. A semeadora foi regulada para depositar 3 sementes de milho por metro, totalizando uma população de 60 mil plantas  $ha^{-1}$ . O vácuo do dosador pneumático foi regulado na posição 3 do dosador utilizado, operando à 6  $km\ h^{-1}$ . A unidade da semeadora responsável pelo fechamento do sulco foi retirada, possibilitando a aferição dos espaços entre as sementes sem movimentar grandes volumes de solo, evitando assim, retirar a semente da posição deixada pela semeadora (Figura 2).

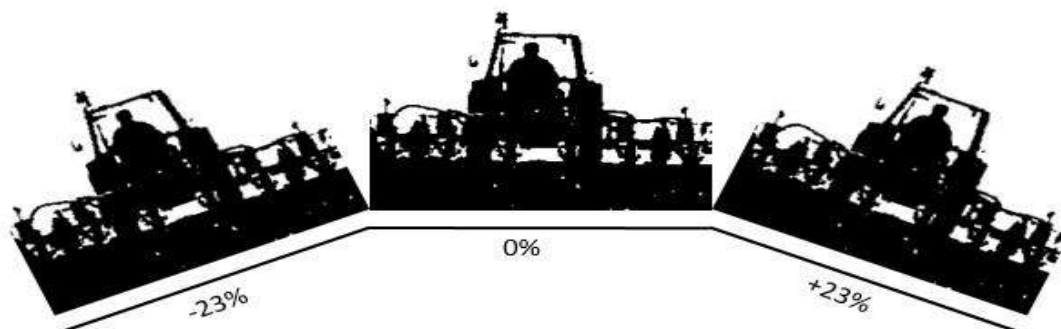
Figura 2 – Unidade semeadora sem mecanismo cobridor de sulco.



Fonte: Autores.

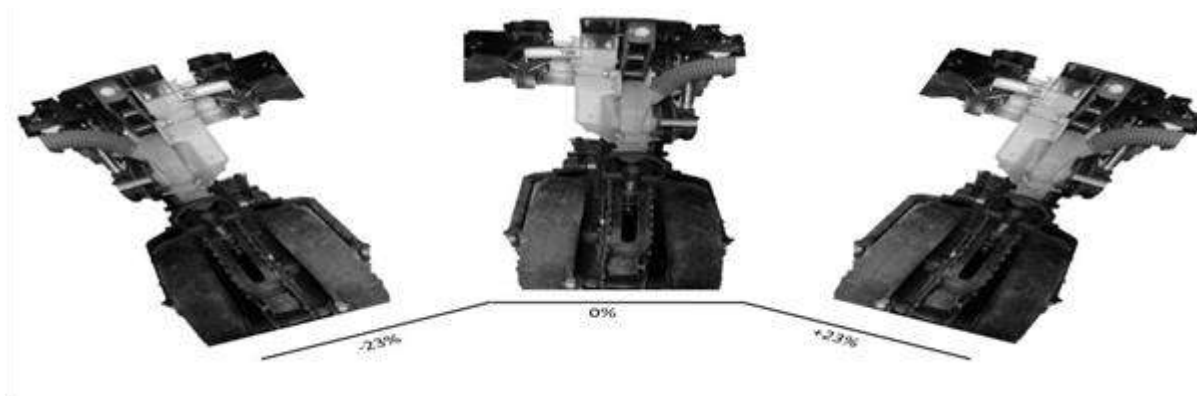
Os tratamentos foram 3 declividades de terreno, sendo elas: -23%, 0%, 23% (Figura 3), em faixas, com o intuito de verificar a influência da declividade do terreno de acordo com o lado em que o dosador está inclinado (Figura 4). Foram avaliados 3 pontos amostrais por tratamento, e em cada ponto foram coletadas 18 amostras de espaçamento, totalizando 54 amostras por tratamento, foram avaliadas as 4 linhas centrais da semeadora. A medição dos espaços foi realizada com auxílio de uma régua de madeira, com precisão centimétrica, que era utilizada após localizar todas as sementes que compunham a área amostrada.

Figura 3 – Inclinação transversal da semeadora sobre o terreno.



Fonte: Autores.

Figura 4 – inclinação do dosador em função da declividade do terreno.



Fonte: Autores.

Os espaçamentos normais, falhos e duplos foram determinados de acordo com a metodologia proposta por KURACHI et al. (1989), que classifica os espaçamentos da seguinte forma: “duplos” (D):  $\leq 0,5$  vez o Xref, “normais” (A):  $0,5 < Xref \leq 1,5$ , e “falhos” (F):  $> 1,5$  vez o Xref, em que Xref é o valor do espaçamento de referência calculado de acordo com a regulagem da semeadora-adubadora para a operação. Assim, os limites específicos utilizados nas cartas de controle definidos foram: “Limite específico superior” = 0,499 m ; “Limite específico inferior” = 0,166 m; e “Média teórica” = 0,333 m.

Para análise dos dados, inicialmente será realizada estatística descritiva, teste de normalidade de Ryan-Joiner, para observar o comportamento geral dos dados, e posteriormente foram geradas cartas de controle de valores individuais, com o objetivo de demonstrar os espaçamentos falhos, duplos, e normais, assim como a variabilidade na distribuição de sementes em cada uma das linhas da semeadora que foram avaliadas.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A estatística descritiva, exposta na Tabela 1, apresenta o comportamento dos dados em cada um dos tratamentos. Nela pode-se verificar que os dados apresentam tendência à normalidade com base nos valores de média e mediana, que são próximos uns dos outros. Além disso essa tendência se comprova por meio do teste de Ryan-Joiner, que classificou os dados como simétricos. De acordo com o comportamento dos dados observa-se também valores máximos de espaçamentos obtidos superiores nos tratamentos de declividade, e valores mínimos inferiores nos mesmos tratamentos, indicando maior amplitude nos dados coletados.

Tabela 1 – Estatística descritiva para os valores referentes á espaçamento entre sementes.

	<b>-23%</b>	<b>0%</b>	<b>23%</b>
<b>Média</b>	32,96	33,18	34,12
<b>Mediana</b>	33,00	33,50	34,00
<b>Desvio Padrão</b>	8,12	4,87	6,90
<b>Mínimo</b>	13,00	18,00	15,00
<b>Máximo</b>	67,00	50,00	67,00
<b>1º Quartil</b>	29,00	30,00	30,00
<b>3ª Quartil</b>	37,00	36,00	37,00
<b>CV(%)</b>	24,64	14,69	20,24
<b>Variância</b>	65,99	23,76	47,72
<b>Ryan-Joiner</b>	0,983 <sup>n</sup>	0,991 <sup>n</sup>	0,959 <sup>n</sup>

Ainda na Tabela 1 observa-se o coeficiente de variação para cada tratamento. O tratamento que apresentou menor CV(%) foi o de terreno plano, conforme era esperado, seguido pelo tratamento de 23%, onde os furos do disco dosador ficavam inclinados para cima, e por fim, com pior resultado -23%, onde os furos do disco dosador ficavam inclinados para baixo. No entanto, os valores de todos os tratamentos estão baixos, já que de acordo com GUEDES et al. (2015) coeficientes de variação acima de 50% são considerados altos. Ainda do ponto de vista agrônomo, os resultados foram mais satisfatórios do que os encontrados por MELO et al. (2013), que ao trabalhar com uma semeadora pneumática à 7 Km h<sup>-1</sup> obteve cv médio de 53,9%.

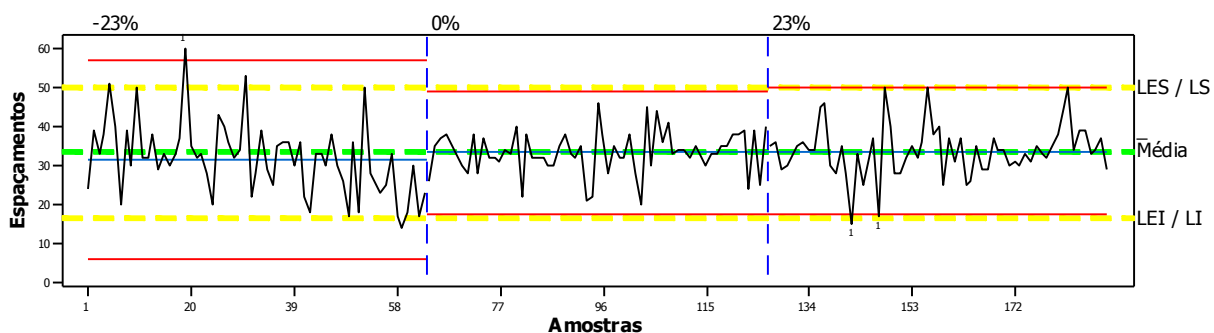
Observa-se nas cartas de controle (Figura 5) que nas 4 linhas da semeadora os piores resultados, onde a variabilidade, expressa pelas linhas vermelhas nos gráficos, dos dados é maior, foram encontrados quando a semeadora estava na declividade de -23%, onde o dosador estava para o mesmo lado da inclinação do terreno, fazendo com que o acúmulo de sementes do lado contrário ao disco dosador atrapalhasse a fixação da semente no disco pneumático, por não estar em contato com ele, aumentando os espaçamentos falhos. No entanto esse ponto representa menos de 5% dos espaçamentos observados, estando dentro da meta de 90% de espaçamentos aceitáveis, proposta por MELO et al. (2013) e, WEIRICH NETO et al. (2015).

Operando sobre o terreno com 23% de declividade, o dosador apresentou algumas instabilidades, porém ainda menores que na declividade negativa. Esses resultados podem ser explicados pelo fato de que mesmo o dosador estando com os furos posicionados para cima, com as sementes acumuladas mais próximas do disco dosador, facilitando a fixação das sementes nos furos do dosador, o mecanismo de raspagem da semente trabalhou de forma eficiente para impedir que fossem dosadas mais de uma semente por vez, fazendo com que poucos espaçamentos tenham classificados como duplos.

Em terreno plano, os resultados foram satisfatórios em todas as linhas da máquina, além do mais a variabilidade exposta pelos limites superiores e inferiores de controle foi relativamente baixa, estando em quase todas as situações próximas ou dentro dos limites específicos de controle que tem como base a metodologia de KURACHI (1989). Essa informação expressa que a qualidade da semeadura em terreno plano nessa velocidade pode ser considerada ótima, não apresentando nenhum espaçamento fora dos limites específicos de controle.

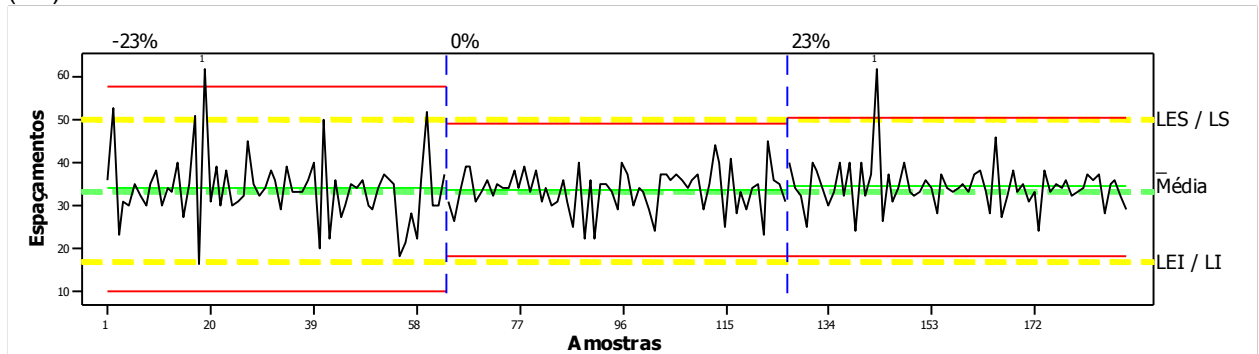
Figura 5 – Cartas de controle de valores individuais ( A ) = linha 1, ( B ) = linha 2, ( C ) = linha 3, e ( D ) = linha 4. Linhas vermelhas: Limites estatísticos de controle, Linhas amarelas: Limites específicos de controle; Linha verde: espaçamento médio teórico; e Linha azul: média obtida.

( A )

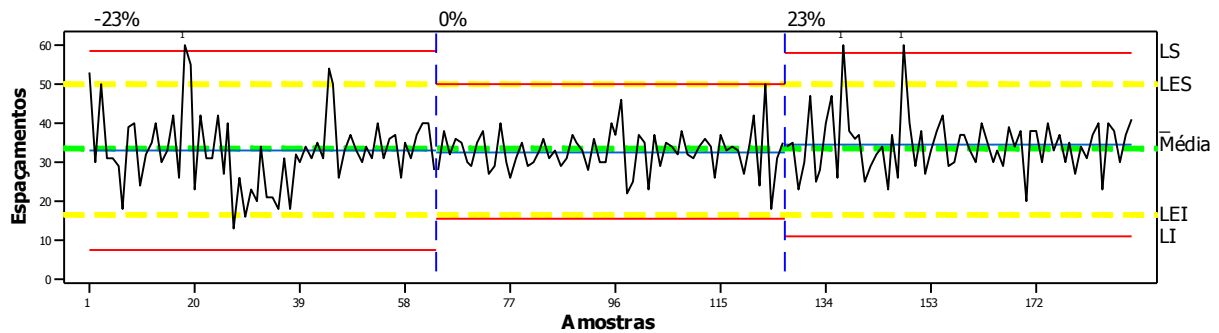


Continua na próxima página

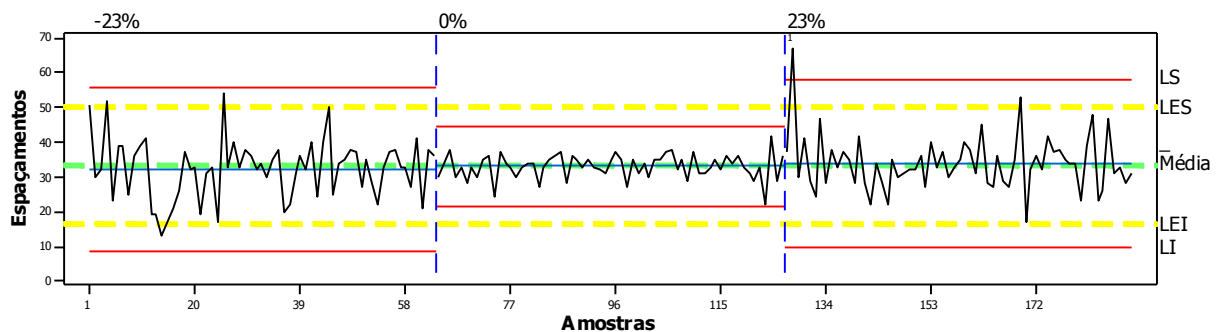
(B)



(C)



(D)



## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A declividade do terreno influencia na distribuição longitudinal de sementes pois altera a posição da massa de sementes no interior do mecanismo dosador, prejudicando a ação de seleção de sementes realizada pelo disco dosador.

## REFERÊNCIAS

COELHO, J. L. D. Ensaio e certificação de máquinas para a semeadura. In: MIALHE, L.G. Máquinas agrícolas: ensaio e certificação. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários "Luiz de Queiroz". p.55-70, 1996.

CORRÊA, R. D. G.; PINOTTI, E. B. Avaliação da distribuição longitudinal de sementes de milho em diferentes declividades e velocidades de trabalho. **FaSci-Tech – Periódico Eletrônico da FATEC-São Caetano do Sul**, São Caetano do Sul, v.1, n. 12, Abr. 2017, p. 32 a 47.

GUEDES, T.; MARTINS, A.B.T. e ACORSI, C.R.L. Estatística descritiva. Disponível em: <[http://www.uspleste.usp.br/rvicente/Estatistica\\_Descritiva.pdf](http://www.uspleste.usp.br/rvicente/Estatistica_Descritiva.pdf)>. Acesso em: 7 maio. 2015.

KURACHI, S.A.H. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamentos de dados de ensaio e regularidade de distribuição longitudinal de semente, 1989. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v48n2/11.pdf>>. Acesso em: 24 mai. 2015.

Melo, R. P.; Albiero, D.; Monteiro L. A.; Souza, F. H.; Silva, J. G. Qualidade na distribuição de sementes de milho em semeadoras em um solo cearense **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 1, p. 94-101, jan-mar, 2013 Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE

MELO, R.P.; ALBIERO, D.; MONTEIRO, L.A.; SOUZA, F.H.; SILVA, J.G. Qualidade na distribuição de sementes de milho em semeadoras em um solo cearense. **Revista Ciência Agrônômica**, v.44, n.1, p.94-101, 2013.

MODOLO, A. J.; TROGELLO, E.; NUNES, A. L.; FERNANDES, H. C.; SILVEIRA, J. C. M. DA; DAMBRÓS, M. P. Efeito de cargas aplicadas e profundidades de semeadura no desenvolvimento da cultura do feijão em sistema plantio direto. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 34, n. 3, p. 739-745, 2010.

SANGOI, L.; SCHMITT, A.; VIEIRA, J.; PICOLI, G.J.; SOUZA, C.A.; CASA, R.T.; SCHENATTO, D.E.; GIORDANI, W.; BONIATTI, C.M.; MACHADO, G.C.; HORN, D. Variabilidade na distribuição espacial de plantas na linha e rendimento de grãos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.11, n.3, p.268-277, 2012.

SILVA, R. P.; CASSIA, M. T.; VOLTARELLI, M. A.; COMPAGNON, A. M.; FURLANI, C. E. A. Qualidade da colheita mecanizada de feijão em dois sistemas de preparo do solo. *Revista Ciência Agrônômica*, v. 44, n. 1, p.61-69, 2013.

VIAN, A.L.; SANTI, A.L.; AMADO, T.J.C.; CHERUBIN, M.R.; SIMON, D.H.; DAMIAN, J.M.; BREDEMEIER, C. Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e sua correlação com variáveis explicativas de planta. **Ciência Rural**, v.46, n.3, p 464-471, 2016.

VOLTARELLI, M.A.; SILVA, R.P.; CASSIA, M.A; ORTIZ, D.F.; TORRES, L.S. Quality of performance of the operation of sugarcane mechanized planting in day and night shifts. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.3, p.528-541, 2015.

WEIRICH NETO, P.H.; FORNARI, A.J.; JUSTINO, A.; GARCIA, L.C. Qualidade na semeadura do milho. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.1, p.171-179, 2015.

## QUALIDADE DE SEMEADURA DE UMA SEMEADORA PNEUMÁTICA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO

*Sowing quality of a pneumatic seeder in the function of the operation speed*

Rafael De Graaf Corrêa <sup>1</sup>, Marco Antonio Vrech de Souza <sup>2</sup>, Luan Pereira de Oliveira <sup>3</sup>,  
Danilo Tedesco de Oliveira <sup>4</sup>, Túlio Marchi Bunhola <sup>5</sup>, Carlos Eduardo Angeli Furlani <sup>6</sup>  
<sup>1,2,3,4,6</sup> UNESP – FCAV, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n 14884-900 - Jaboticabal, SP, Brasil,  
**rafadegraaf@gmail.com, marcovrech@hotmail.com, luanoliveirax@gmail.com,**  
**danilotedesco@outlook.com, furlani@fcav.unesp.br**  
<sup>5</sup> FAFRAM, Ituverava, SP, Brasil, **bunhola@gmail.com**

### RESUMO

A semeadura é uma das etapas mais importantes no processo agrícola, e a variabilidade nessa fase é prejudicial ao desenvolvimento das lavouras. Objetivou-se por meio desse trabalho avaliar por meio do controle estatístico de processo o efeito do aumento da velocidade de deslocamento de uma semeadora com sistema de dosagem de sementes eletro-hidráulico sobre a distribuição longitudinal de sementes. No experimento utilizou-se uma semeadora pneumática com dosagem de sementes por mecanismo eletro-hidráulico com auxílio de GNSS para detecção da velocidade de deslocamento. O experimento foi em faixas, coletando-se um total de 54 amostras de espaçamento entre sementes. Observou-se que o aumento da velocidade de 6 para 9 Km h<sup>-1</sup> não foi prejudicial à qualidade do processo de semeadura, que deve obter 90% dos espaçamentos dentro dos limites que os caracterizam como aceitáveis, no entanto ao elevar a velocidade para 12 Km h<sup>-1</sup> o processo apresentou alta instabilidade com poucos espaçamentos aceitáveis, inviabilizando a utilização de tal velocidade. Recomenda-se semear à 9 Km h<sup>-1</sup> pois mantém a mesma qualidade de deposição de sementes que a velocidade de 6 Km h<sup>-1</sup> mas com aumento de 50% no rendimento operacional.

**Palavras-chave:** Semeadura. Qualidade. Carta de controle.

### ABSTRACT

Sowing is one of the most important stages in the agricultural process, and the variability at this stage is detrimental to the development of the crops. The objective of this study was to evaluate by means of statistical process control the effect of increasing the speed of movement of a seeder With electrohydraulic seed dosage system on the longitudinal distribution of seeds. In the experiment a pneumatic seeder with seed dosage was used by electrohydraulic mechanism with the aid of GNSS to detect the displacement velocity. The experiment was carried out in bands, collecting a total of 54 seed spacing samples. It was observed that increasing the speed from 6 to 9 Km h<sup>-1</sup> was not detrimental to the quality of the sowing process, which should obtain 90% Of the spacings within the limits that characterize them as acceptable, however, when raising the speed to 12 Km h<sup>-1</sup> the process presented high instability with few acceptable spacings, making the use of such speed impossible. It is recommended to seed at 9 Km h<sup>-1</sup> because it maintains the same quality of seed distribution as the speed of 6 Km h<sup>-1</sup> but with a 50% increase in the operational yield.

**Keywords:** Sowing. Quality. Control Charts.

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura é uma das principais atividades econômicas brasileira, que é conhecido popularmente como o sequeiro do mundo, e devido ao seu grande potencial no setor agrícola acredita-se que ele será o responsável por suprir a demanda mundial de alimentos e energia sustentável nas próximas décadas. Porém, para que isso aconteça o processo produtivo deverá passar por uma série de evoluções para aumentar a eficiência na produção de alimentos sem comprometer a lucratividade da atividade. Entre os fatores que devem ser aprimorados para que possamos atingir a excelência na produção mundial de alimentos e energia, podemos citar a mecanização agrícola, que desde já é responsável por tornar possível a agricultura em grande escala, mas que ainda é uma das principais fontes de perdas no processo de produção.



Entre as operações mecanizadas a mais importante é a semeadura, responsável pelo estabelecimento da cultura em campo, e onde qualquer falha poderá acarretar em perdas na produção que perdurarão até o fim do ciclo da cultura. O equipamento responsável por essa operação é a semeadora, a qual MACHADO et al. (2005) define como a máquina agrícola responsável por depositar no solo sementes de diferentes culturas, com o espaçamento, densidade, e profundidade recomendados para o desenvolvimento da cultura.

Entre os fatores qualitativos da operação de semeadoras cita-se a uniformidade na distribuição longitudinal de sementes, que é avaliada pelo percentual de espaçamentos normais, falhos, e duplos (SANGOI et al., 2012), além do coeficiente de variação dos espaçamentos, que indica a variabilidade na distribuição de sementes, e o estande de sementes depositado no sulco de semeadura. A variabilidade na distribuição de sementes acarreta em alterações na produtividade da lavoura, devido a variação na população e distribuição de plantas ao longo da linha de semeadura (VIAN et al., 2016).

A variabilidade na distribuição das sementes pode ser ocasionada por diversos fatores, entre eles a velocidade de deslocamento da máquina, que é estudada por diversos autores (CORRÊA e PINOTTI, 2017; ALONÇO et al. 2015; FURLANI et al., 2008) , por ser um parâmetro que tem o poder de elevar o rendimento operacional da máquina, mas que também resulta em decréscimos no percentual de espaçamentos normais.

ALONÇO et al. (2015), estudando as velocidades de 5; 7,5; e 10 Km h<sup>-1</sup>, concluiu que a velocidade tem relação inversamente proporcional com a porcentagem de espaçamentos normais, e conseqüentemente diretamente proporcional a espaçamentos falhos e duplos. REYNALDO et al. (2016) concluíram que com o incremento da velocidade aumentou-se também os espaçamentos não normais na distribuição de sementes, reduzindo a produtividade, eles também chegaram a conclusão que a melhor velocidade de operação foi a de 4 Km h<sup>-1</sup>.

De acordo com WEIRICH NETO et al. (2015), o processo de semeadura deve ter como objetivo atingir ao menos 90% de espaçamentos normais na distribuição longitudinal de sementes, no entanto, devido a alta variabilidade nas condições em que ocorre as operações agrícolas essa meta dificilmente é alcançada. Uma ferramenta que tem se mostrado eficiente na análise da variabilidade nas operações agrícolas é o controle estatístico de processos (CEP), que permite verificar a estabilidade de operações agrícolas, e indica se a causa que está impedindo que o processo se mantenha dentro dos limites estabelecidos é aleatória ou especial (VOLTARELLI et al., 2015).

Esse trabalho parte da premissa que a evolução das semeadoras e a inclusão de tecnologias de agricultura de precisão e mecanismos dosadores possibilitam o aumento da velocidade nas operações mecanizadas mantendo a qualidade a qualidade na distribuição longitudinal das sementes, e aumentando o rendimento operacional. Objetivou-se por meio desse trabalho avaliar por meio do controle estatístico de processo o efeito do aumento da velocidade de deslocamento de uma semeadora com sistema de dosagem de sementes eletro-hidráulico sobre a distribuição longitudinal de sementes.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no campus experimental da Fatec "Shunji Nishimura", localizada na cidade de Pompeia-SP. O solo onde foi realizado o experimento é classificado como Argiloso Vermelho Amarelo distrófico arênico (Embrapa 1999). Para a implantação do experimento utilizou-se uma semeadora adubadora pantográfica Jumil modelo 3090 PD (Figura 1) equipada com sete unidades semeadoras, com o espaçamento entre as linhas de 0,5 m. Esta máquina possui mecanismo dosador pneumático equipado com disco metálico Jumil nº 3005 com 30 furos de 5 milímetros cada, movido por um sistema eletro-hidráulico que altera a rotação do eixo dosador de sementes de acordo com alterações na velocidade de deslocamento da máquina, que é detectada por um sistema GNSS instalado ao trator que traciona a semeadora. A semeadora foi tracionada por um trator Valtra BM125, 4x2 TDA, com 88 KW de potência nominal.

Figura 1 – Conjunto utilizado no experimento.



Fonte: autores.

A semeadura ocorreu no mês de outubro de 2015, em sistema de plantio direto, com solo em ponto de friagem, e em terreno plano. A semeadora foi regulada para depositar 3 sementes por metro, totalizando uma população de 60 mil plantas  $ha^{-1}$ , com o vácuo do dosador pneumático regulado na posição 3 do dosador, operando em 3 velocidades, 6; 9; e 12  $Km h^{-1}$ . A unidade da semeadora responsável pelo fechamento do sulco de semeadora foi retirada, possibilitando a aferição dos espaços entre as sementes sem movimentar grandes volumes de solo, e assim evitando retirar a semente da posição deixada pela semeadora (Figura 2).

Figura 2 – unidade semeadora sem mecanismo cobridor de sulco.



Fonte: Autores.

Foram avaliados 3 pontos amostrais por tratamento, e em cada ponto foram coletadas 18 amostras de espaçamento, totalizando 54 amostras por tratamento, foram avaliadas as 4 linhas centrais da semeadora. A medição dos espaços foi realizada com auxílio de uma régua de madeira, com precisão centimétrica, que era utilizada após localizar todas as sementes que compunham a área amostrada.

Os espaçamentos normais, falhos e duplos foram determinados de acordo com a metodologia proposta por KURACHI et al. (1989), que classifica os espaçamentos da seguinte forma: “duplos” (D):  $\leq 0,5$  vez o Xref, “normais” (A):  $0,5 < Xref \leq 1,5$ , e “falhos” (F):  $> 1,5$  vez o Xref, em que Xref é o valor do espaçamento de referência calculado de acordo com a regulagem da semeadora-adubadora para a operação. Assim, os limites específicos utilizados nas cartas de controle definidos foram: “Limite específico superior” = 0,499 m ; “Limite específico inferior” = 0,166 m; e “Média teórica” = 0,333 m.

Para análise dos dados, inicialmente será realizada estatística descritiva, para observar o comportamento geral dos dados, e posteriormente serão geradas cartas de controle de valores individuais, que terão o objetivo de demonstrar os espaçamentos falhos, duplos, e normais, assim como a variabilidade na distribuição de sementes em cada uma das linhas da semeadora que foram avaliadas.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A estatística descritiva (Tabela 1) mostra que em todas as linhas da semeadora a média dos espaçamentos estiveram próximos à mediana, um indicador prévio de normalidade dos dados. Entretanto, outras medidas estudadas, como desvio padrão, mínimo, máximo, variância, e cv (%) apresentaram grande variação ao longo das linhas da semeadora. Em medidas como mínimo e máximo é comum esse tipo de variável apresentar esse comportamento, já que elas são pontos extremos no conjunto de dados, e podem ter baixo índice de ocorrência, fazendo com que ela não deve ser utilizada para analisar o conjunto como um todo. Analisando o 1º e 3º quartil observa-se que a grande maioria dos dados estão dentro dos limites aceitáveis de controle. O cv (%) pode ser considerado relativamente alto em algumas linhas da máquina, no entanto, esses resultados corroboram com Santos et al. (2011), que encontrou valores elevados de cv (%) mesmo em velocidades de operação mais baixas. De acordo com o teste de Ryan-Joiner os dados tendem à normalidade, o que os tornam aptos a serem submetidos a demais análises estatísticas.

Tabela 1 – Estatística descritiva.

	L1	L2	L3	L4
<b>Média</b>	36.46	34.77	36.15	34.66
<b>Mediana</b>	35.00	35.00	37.00	34.50
<b>Desvio Padrão</b>	10.51	13.73	7.22	8.96
<b>Mínimo</b>	8.00	8.00	2.00	5.00
<b>Máximo</b>	76.00	78.00	55.00	80.00
<b>1º Quartil</b>	30.00	29.00	32.00	30.00
<b>3ª Quartil</b>	42.00	38.00	41.00	38.00
<b>CV(%)</b>	28.83	39.49	19.99	25.85
<b>Variância</b>	110.57	188.52	52.25	80.32
<b>Ryan-Joiner</b>	0.983 <sup>n</sup>	0.966 <sup>n</sup>	0.988 <sup>n</sup>	0.955 <sup>n</sup>

Ao observar as cartas de controle de valores individuais observa-se menor variabilidade no processo de semeadura nas velocidades de 6 e 9 Km h<sup>-1</sup>, entretanto houve variação nas amplitudes de controle entre as linhas da semeadora. Na velocidade de 6 Km h<sup>-1</sup> houveram pontos fora dos limites específicos de controle somente na linha 2 (Figura 3 B), no entanto esse ponto representa menos de 5% dos espaçamentos observados, estando dentro da meta de 90%

de espaçamentos aceitáveis, proposta por MELO et al. (2013) e, WEIRICH NETO et al. (2015).

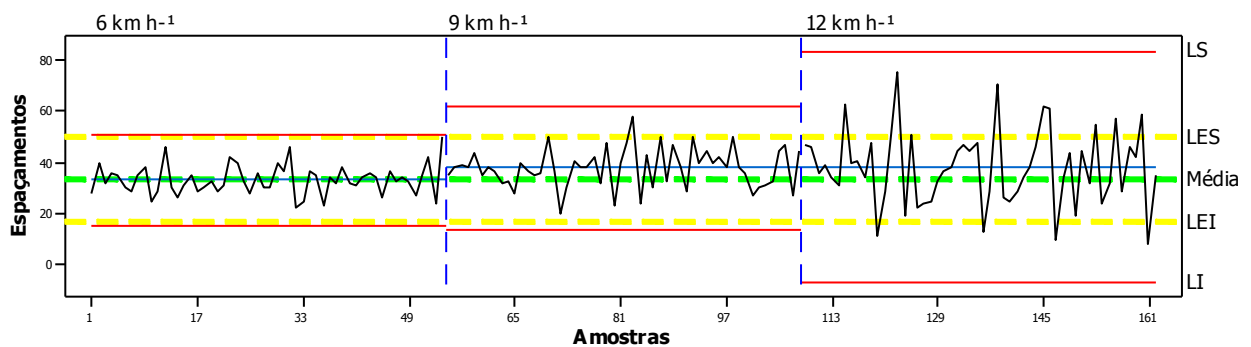
Operando à  $9 \text{ Km h}^{-1}$  a semeadura ainda se manteve dentro da meta apresentando poucos pontos que ultrapassam os limites específicos de controle. No entanto em algumas linhas da semeadora a variabilidade nos dados aumentou ligeiramente em relação ao tratamento citado anteriormente. Nessa velocidade a média dos espaçamentos obtidos foi superior à média teórica, o que significa que o equipamento que tem dosagem com auxílio de GNSS não foi capaz de dosar adequadamente as sementes em velocidades mais elevadas, o que causa um estande de plantas inferior ao desejado.

Na velocidade mais elevada os resultados foram insatisfatórios em praticamente todas as linhas da semeadora, com ênfase ao fato de que a maior parte dos espaçamentos estiveram fora dos limites específicos de controle, sendo esses espaçamentos classificados como falhos ( quando acima do LES) e duplos ( quando abaixo do LEI). De forma geral, os resultados estão de acordo com a teoria exposta por grande parte dos autores quando estudam velocidade na semeadura, de que o aumento da velocidade de deslocamento da semeadora eleva os índices de espaçamentos falhos e duplos na semeadura (LIU et al., 2004; CANOVA et al., 2007; MELLO et al., 2007).

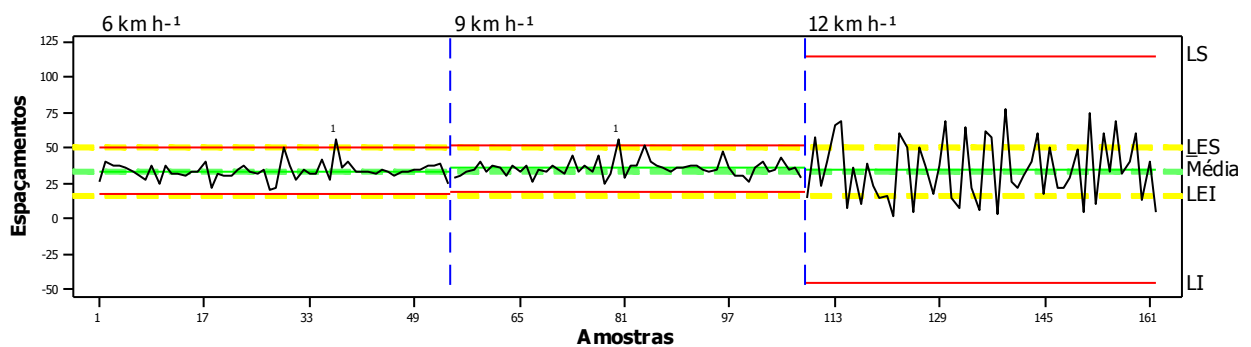
No entanto, os resultados apresentados pela semeadora em estudo foram mais satisfatórios que em demais trabalhos, visto que operando à  $9 \text{ Km h}^{-1}$  a qualidade da semeadura se manteve elevada, com mais de 90% dos espaçamentos concentrados na classe de aceitáveis, e demonstrando que a evolução das semeadoras e a inclusão de novas tecnologias tem proporcionado aumento na qualidade do processo de semeadura. MELO et al. (2013) observou em estudo que um semeadora pneumático operando a  $7 \text{ Km h}^{-1}$  apresentou 55,4% de espaçamentos normais, enquanto à  $4 \text{ Km h}^{-1}$  apresentou 64,0%. Ambos os resultados podem ser considerados inadequados ao levar em consideração que semeadoras pneumáticas devem ter percentual de espaçamentos aceitáveis acima de 90% para que a qualidade de sua semeadura seja classificada como ótima.

Figura 3 – Cartas de controle de valores individuais ( A ) = linha 1, ( B ) = linha 2, ( C ) = linha 3, e ( D ) = linha 4. Linhas vermelhas: Limites estatísticos de controle, Linhas amarelas: Limites específicos de controle; Linha verde: espaçamento médio teórico; e Linha azul: média obtida.

( A )

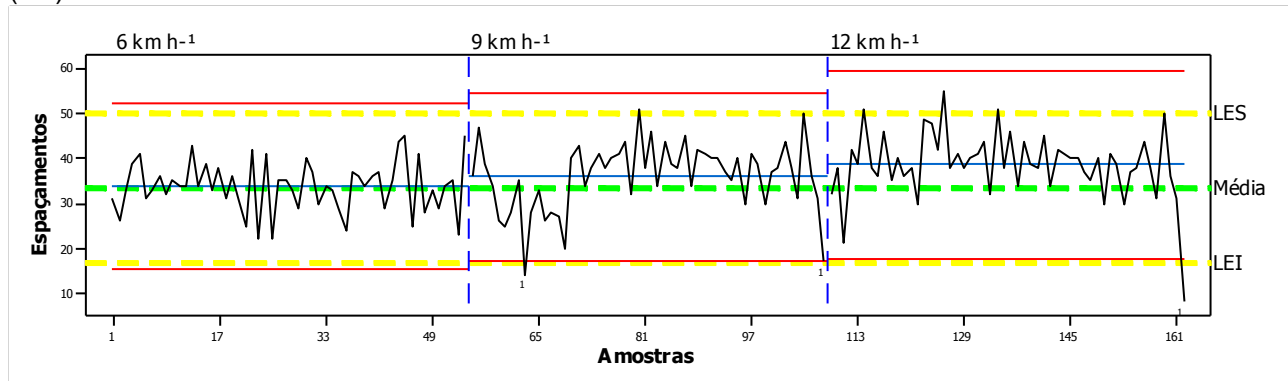


( B )

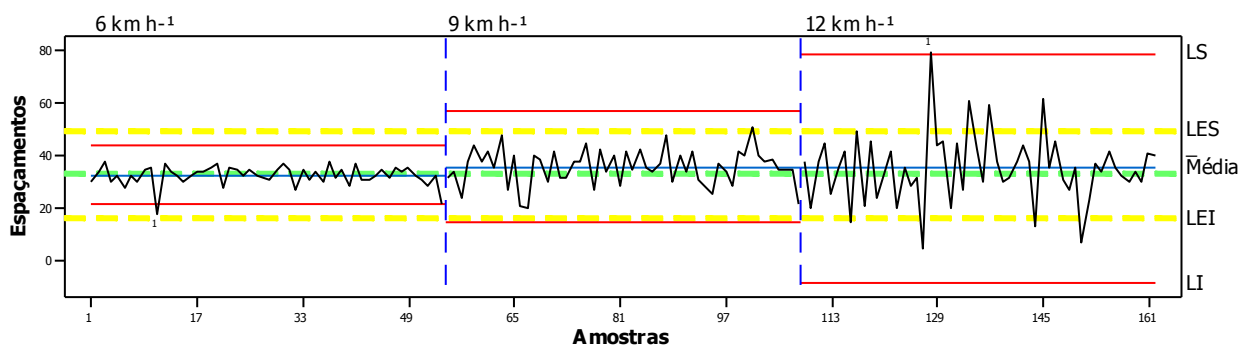


Continua na próxima página

(C)



(D)



## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aumento da velocidade de 6 para 9 Km h<sup>-1</sup> não representou prejuízos significativos à qualidade de semeadura, no entanto, à 12 Km h<sup>-1</sup> o qualidade do processo foi prejudicada, com altos índices de espaçamentos falhos e duplos, tornando essa velocidade de operação inadequada para a semeadura. Recomenda-se em função da qualidade na distribuição de sementes e do rendimento operacional semear à cerca de 9 Km h<sup>-1</sup>, já que o rendimento aumenta cerca de 50% em relação à velocidade de 6 Km h<sup>-1</sup>.

## REFERÊNCIAS

MACHADO, A.L.T.; REIS, A.V.; MORAES, M.B.; ALONÇO, A.S. Máquinas para semeadura e adubação. **Máquinas para preparo do solo, semeadura, adubação e tratamentos culturais**. 2.ed. Pelotas: UFPEL, 2005. p.101-190.

SANGOI, L.; SCHMITT, A.; VIEIRA, J.; PICOLI, G.J.; SOUZA, C.A.; CASA, R.T.; SCHENATTO, D.E.; GIORDANI, W.; BONIATTI, C.M.; MACHADO, G.C.; HORN, D. Variabilidade na distribuição espacial de plantas na linha e rendimento de grãos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.11, n.3, p.268-277, 2012.

VIAN, A.L.; SANTI, A.L.; AMADO, T.J.C.; CHERUBIN, M.R.; SIMON, D.H.; DAMIAN, J.M.; BREDEMEIER, C. Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e sua correlação com variáveis explicativas de planta. **Ciência Rural**, v.46, n.3, p 464-471, 2016.

ALONÇO, A.S.; SILVEIRA, H.A.T.; CARDINAL, K.M.; RIST, G.P. Distribuição longitudinal de sementes de algodão e girassol com diferentes velocidades e inclinações em dosadores

pneumáticos. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.16, n.2, p.63-70, 2015.

FURLANI, C.E.A.; SILVA, R.P.; CARVALHO FILHO, A.; CORTEZ, J.W.; GROTTA, D.C.C. Semeadora-adubadora: exigências em função do preparo do solo, da pressão de inflação do pneu e da velocidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.345-352, 2008.

CORRÊA, R. D. G.; PINOTTI, E. B. Avaliação da distribuição longitudinal de sementes de milho em diferentes declividades e velocidades de trabalho. **FaSci-Tech – Periódico Eletrônico da FATEC-São Caetano do Sul**, São Caetano do Sul, v.1, n. 12, Abr. 2017, p. 32 a 47.

WEIRICH NETO, P.H.; FORNARI, A.J.; JUSTINO, A.; GARCIA, L.C. Qualidade na semeadura do milho. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.1, p.171-179, 2015.

VOLTARELLI, M.A.; SILVA, R.P.; CASSIA, M.A; ORTIZ, D.F.; TORRES, L.S. Quality of performance of the operation of sugarcane mechanized planting in day and night shifts. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.3, p.528-541, 2015.

REYNALDO, E.F.; MACHADO, T.M.; TAUBINGER, L.; QUADROS, D. Influência da velocidade de deslocamento na distribuição de sementes e produtividade de soja. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.24, n.1, p.63-67, 2016.

SANTOS, A.J.M; GAMERO, C.A.; OLIVEIRA, R.B.; VILLEN, A.C. Análise espacial da distribuição longitudinal de sementes de milho em uma semeadora-adubadora de precisão. **Bioscience Journal**, v.27, n.1, p.16-23, 2011.

MELO, R.P.; ALBIERO, D.; MONTEIRO, L.A.; SOUZA, F.H.; SILVA, J.G. Qualidade na distribuição de sementes de milho em semeadoras em um solo cearense. **Revista Ciência Agrônômica**, v.44, n.1, p.94-101, 2013.

WEIRICH NETO, P.H.; FORNARI, A.J.; JUSTINO, A.; GARCIA, L.C. Qualidade na semeadura do milho. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.1, p.171-179, 2015.

LIU, W. et al. Impact of planter type, planting speed, and tillage on stand uniformity and yield of corn. **Agronomy Journal**, n.96, p.1668-1672, 2004.

CANOVA, R. et al. Distribuição de sementes por uma semeadoraadubadora em função de alterações mecanismo dosador e de diferentes velocidades de deslocamento. **Engenharia na Agricultura**, v.15, n.3, p.299-306, 2007.

MELLO, A.J.R. et al. Produtividade de híbridos de milho em função da velocidade de semeadura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.2, p.479-486, 2007. Disponível em: . Doi: 10.1590/S0100-6916200700030001

KURACHI, S.A.H. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamentos de dados de ensaio e regularidade de distribuição longitudinal de semente,1989. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v48n2/11.pdf>>. Acesso em: 24 mai. 2015.

## QUALIDADE DO CORTE DE BASE UMA COLHEDORA MULTILINHAS DE CANA-DE-AÇÚCAR EM RELAÇÃO À DECLIVIDADE DO TERRENO

*Basal cut quality of a multi-row sugar cane harvester in relation to the  
slope of the terrain*

Luan Pereira de Oliveira<sup>1</sup>, Danilo Tedesco de Oliveira<sup>2</sup>, Artur Sverzut da Silva Tufi<sup>3</sup>, Rafael  
De Graaf Correa<sup>4</sup>, Leonardo Bernache<sup>5</sup>, Marco Antonio Vrech de Souza<sup>6</sup>, Rouverson  
Pereira da Silva<sup>7</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6,7</sup> UNESP – FCAV, Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n 14884-900 – Jaboticabal,  
SP, Brasil, [luanoliveirax@gmail.com](mailto:luanoliveirax@gmail.com); [rafadegraad@gmail.com](mailto:rafadegraad@gmail.com); [arturtufi@hotmail.com](mailto:arturtufi@hotmail.com);  
[arturtufi@hotmail.com](mailto:arturtufi@hotmail.com); [danielotedesco@outlook.com](mailto:danielotedesco@outlook.com); [leonardobernacheobj@hotmail.com](mailto:leonardobernacheobj@hotmail.com);  
[marcovrech@hotmail.com](mailto:marcovrech@hotmail.com); [rouverson@fcav.br](mailto:rouverson@fcav.br)

### RESUMO

O aumento constante na mecanização para a colheita de cana-de-açúcar deve-se em maior parte as leis ambientais que proíbem a queima dos canaviais em áreas mecanizáveis e não mecanizáveis. Um dos maiores problemas da colheita mecanizada da cana são os danos e abalos causados ao canavial, estes são provenientes do sistema de corte basal das colhedoras, que na maioria das vezes não consegue acompanhar de maneira satisfatória a declividade do terreno, fazendo com que o processo de colheita apresente muita variação e pior qualidade no processo. Diante disso, objetivou-se por meio deste trabalho avaliar a qualidade do corte de base de uma colhedora multilinhas em relação a declividade do terreno. Foram utilizadas ferramentas de controle estatístico de processo (CEP) e gerados mapas interpolados IDW. Os indicadores de qualidade foram os índices de danos e abalos às soqueiras em relação à declividade do terreno. Concluiu-se com os resultados obtidos que a declividade influenciou para a variabilidade de corte nos indicadores de qualidade danos, abalos às soqueiras.

**Palavras-chave:** Colheita mecanizada. Danos e abalos às soqueiras.

### ABSTRACT

The constant increasement in mechanization for the sugar cane harvest is due in large part to the environmental laws that prohibit the burning of the cane fields in mechanizable and non-mechanizable areas. One of the major problems of mechanized harvesting of sugarcane is the damages and shaking caused to the sugarcane ratoon, these come from the system of basal cut of the harvesters, that in the majority of the times it is not able to follow satisfactorily the slope of the ground, causing in the harvesting process a lot of variation and worse quality in the process. Therefore, the objective with this work was to evaluate the damages and shocks of a mulled harvester's rams in relation to the slope of the terrain. Statistical process control (CEP) tools were used and IDW interpolated maps were generated. The indicators of quality were the indices of damages and strikes to the rams in relation to the slope of the terrain. It was concluded with the results that the slope influenced for the variability of cut in the indicators of quality damages and ratoon shaking.

**Keywords:** Mechanized harversting. Damage and ratoon shaking.

## 1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar sendo matéria prima para uma commodity de grande importância para o Brasil, que é o açúcar deve apresentar altas produtividades em suas safras para suprir as demandas internas e externas deste produto. Além do açúcar, o Etanol que é proveniente da cana, também é um produto de grande importância para a economia nacional.

Em termos de produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol, o País produziu, na safra 2015/2016, cerca de 665 milhões de toneladas de cana-de açúcar, e desse montante foram gerados 33,5 milhões de toneladas de açúcar e 30,5 bilhões de litros de etanol (CONAB, 2016).

A colheita mecanizada está em constante crescimento no Brasil, principalmente na região sudeste que é onde a cultura da cana-de-açúcar se demonstra mais expressiva com a maior

concentração de canaviais do país. Com a vigência da lei que proíbe as queimas no ano de 2016, 95% da colheita de cana na região sudeste já era efetuada de forma mecanizada (BELARDO, 2016).

O aumento da colheita mecanizada no Brasil foi refletido na diminuição da produtividade e da longevidade dos canaviais. De acordo com Cassia et al., (2014), os maiores causadores de danos e abalos nos colmos remanescentes no solo, são os componentes do corte basal, pois quanto mais desgastados, maior será seu impacto no colmo.

Os principais fatores que afetam a colheita de cana-de-açúcar podem ser as condições ambientais, agrônômicas, técnicas e no gerenciamento da operação da colhedora, esses fatores podem comprometer a qualidade da matéria prima, a produtividade e a longevidade do canavial, bem como a vida útil da colhedora (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

De acordo com Montgomery (2004), a qualidade de um processo é inversamente proporcional à variabilidade do mesmo, então partindo do pressuposto de que a declividade influencia para a qualidade do corte basal, objetivou-se por meio deste trabalho avaliar a qualidade do corte de base de uma colhedora multilinhas em diferentes declividades de um terreno.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma área agrícola na região de Guariba – SP, Brasil, nas proximidades das coordenadas geográficas: 21° 15' 17" S, 48° 19' 20" W, com altitude média de 605 metros. A variedade de cana-de-açúcar cultivada foi a CTC 14 com produtividade média esperada da área colhida de 110 t ha<sup>-1</sup>. A colheita da cana-de-açúcar foi realizada por meio de uma colhedora CASE IH A8800 – *Multi-Row*, motor Cummins Case IH C9 com 263 kW (358 cv) de potência nominal, rodados de esteiras, transmissão hidrostática, operando durante o experimento com velocidade média de 1,5 km h<sup>-1</sup>, colhendo duas linhas simultaneamente (linha a e linha b), durante os períodos diurno e noturno. O mecanismo de corte basal dessa máquina é composto por 2 discos que apresentam 12 facas em suas extremidades, totalizando 24 facas, sendo utilizadas nesse trabalho facas normais sem revestimento.

O delineamento estatístico utilizado foi o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com coleta de amostras ao longo do tempo de operação, seguindo-se as premissas do CEP (Controle Estatístico de Processo).


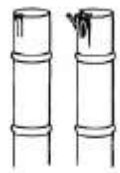
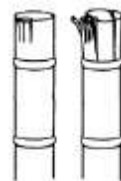
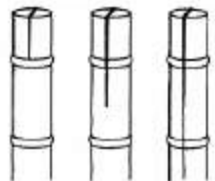
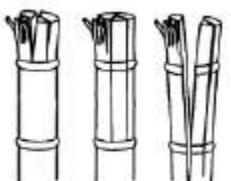

Juntamente a coleta de dados no campo, foram coletados pontos com receptor GNSS que utiliza a frequência L1 de marca e modelo Garmin 60CSX, e foram gerados mapas interpolados pela ponderação do inverso da distância (IDW) por meio do software Surfer 9<sup>®</sup>.

As variáveis analisadas foram os danos e abalos às soqueiras nos lados direito e esquerdo da colhedora.

A avaliação de danos às soqueiras (Tabela 1) foi realizada de modo visual no qual três avaliadores indicaram os níveis de danos causados pela colhedora. Os danos causados à soqueira de cana-de-açúcar foram classificados considerando-se três níveis, e contabilizados por meio de pesos atribuídos a cada tipo de danos existentes: Sem dano (SD = 0), Dano Periférico (DP = 0,33) e Dano Fragmentado (FR = 1,0). Após a identificação e a contagem dos tipos de danos existentes em cada colmo das soqueiras avaliadas, propôs-se o cálculo do índice de danos, atribuindo-se pesos para cada classificação, de acordo com a metodologia adaptada de TOLEDO (2012).



Tabela 1 - Classificação dos danos causados aos colmos após a colheita mecanizada de mudas.

Classificação	Limite Inferior	Limite Superior	Peso
Sem danos (SD)			0,00 a 0,33
Danos periféricos (DP)			0,34 a 0,66
Danos fragmentados (FR)			0,67 a 1,00

Fonte: Adaptado de Kroes (1997)

Já a avaliação de abalos (Tabela 2) foi efetuada de forma manual, onde cada avaliador aplicou uma força no colmo e verificou o índice de abalos. Os abalos causados às soqueiras também foram avaliados de acordo com metodologia adaptada de TOLEDO, (2012) no qual por meio da aplicação de força manual provocada pelo avaliador, verifica-se a mobilização direta das soqueiras no solo. Classificando e contabilizando-os também por meio de pesos, abalo alto (AA = 1,0), abalo médio (AM = 0,33) e abalo baixo (AB = 0). De acordo com a mobilidade da soqueira provocada pela força aplicada, quanto maior a mobilização, maior é o abalo das soqueiras.

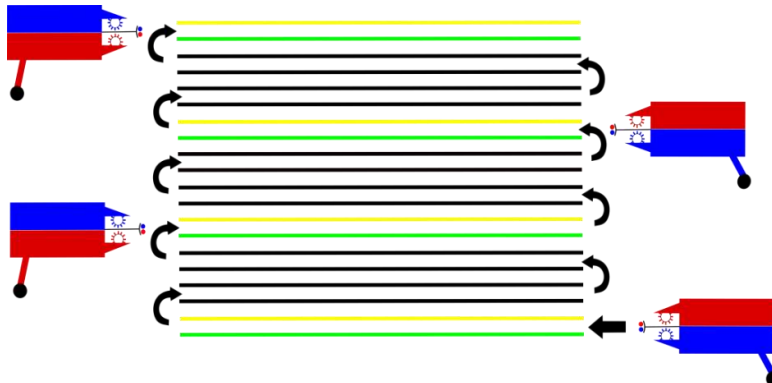
Tabela 2 - Classificação dos abalos aos colmos após a colheita mecanizada de mudas.

Classificação	Abalo
Baixo (B)	Toco bem solto e sem resistência à força aplicada
Médio (M)	Toco firme e bastante resistente à força aplicada
Alto (A)	Toco com resistência intermediária a força aplicada

Fonte: (CASSIA e SILVA, 2015)

Os pontos foram coletados após a passagem da colhedora a cada 100 m de distância, sendo coletados 5 pontos considerando-se sempre o lado esquerdo e direito da colhedora. Foram coletados 10 pontos por passada da colhedora, totalizando 40 pontos por talhão (Figura 1).

Figura 1 - Distribuição dos lados da colhedora de acordo com as manobras



Legenda: Vermelho: Lado direito; Azul: Lado esquerdo.

A estatística descritiva foi gerada por meio do software Minitab® calculando a média, desvio padrão, coeficiente de variação, coeficientes de assimetria e curtose. Foram também geradas no software Minitab® cartas de controle para valores individuais que permitem verificar a uniformidade ou variabilidade de um processo (COMPAGNON et al., 2012). As cartas de controle são gráficos que ilustram o aspecto a ser estudado, com amostras coletadas ao longo do tempo e espaço (Voltarelli et al. 2013). As cartas apresentam o limite superior de controle (LSC) e o limite inferior de controle (LIC), que são utilizados para análise dos dados presentes nas cartas. Para este trabalho foram inseridos limite superior e inferior específico de controle (LSEC) e (LIEC) para uma melhor avaliação dos dados nas cartas de controle.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os danos e abalos (Tabela 3) pode-se observar por meio dos dados obtidos que as médias dos valores de danos e abalos apresentaram-se acima dos limites específicos de controle (entre 0 e 0,33). Apesar do elevado coeficiente de variação, o desvio padrão manteve-se relativamente baixo, mostrando que ambos os processos ficaram dentro do limite aceitável de qualidade. Pimentel-Gomes e Garcia (2002) classificam coeficiente de variação como muito alto (>30%); alto (entre 21 e 30%); médio (11 a 20%) e baixo (<10%).

Ainda para o indicador de qualidade danos às soqueiras observa-se que o coeficiente de assimetria para os lados esquerdo e direito da colhedora estão muito próximos de zero indicando curvas mais acentuadas a direita e esquerda (assimetria positiva e negativa). Observa-se também que os coeficientes de curtose foram menores que zero indicando uma distribuição mesocúrtica da curva.

O coeficiente de assimetria para o indicador de qualidade abalos às soqueiras manteve-se acima de zero para ambos os lados da colhedora indicando uma assimetria positiva dos dados. O coeficiente de curtose para o lado esquerdo da colhedora apresentou valores acima de zero, indicando uma curva leptocúrtica e o lado direito, valores negativos formando uma curva de distribuição platicúrtica em relação a curva de distribuição normal. Para Leon et al. (2005), a análise de comportamento de dados dos parâmetro de operação quando associada a parâmetros de avaliação estatística descritiva, serve de visão geral sobre o comportamento das variáveis, sendo possível detectar possíveis falhas.

Tabela 3 - Indicadores de qualidade para Danos e Abalos dos lados direito e esquerdo da colhedora Case IH Multi-Row A8800 em relação a declividade

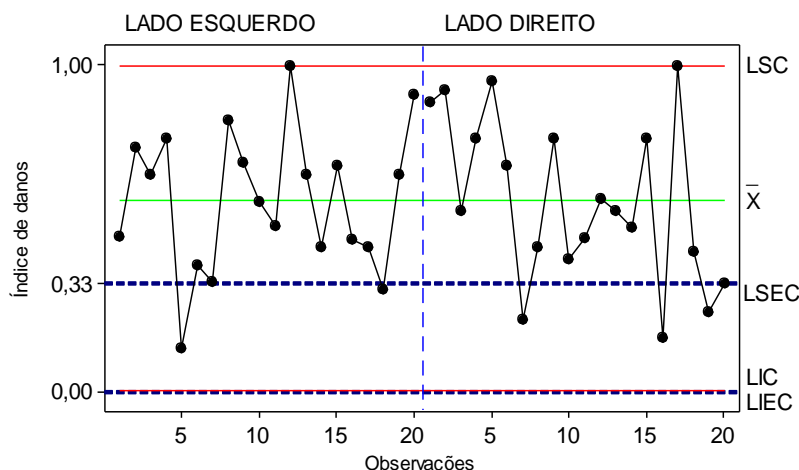
Indicadores de Qualidade	Lado da Colhedora	$\bar{X}$	$\Sigma$	CV	Cs	Ck
Dano	LD	0,59	0,25	43,44	0,06	-1,06
	LE	0,59	0,22	37,09	-0,08	-0,28
Abalo	LD	0,44	0,13	31,40	0,11	-1,19
	LE	0,40	0,16	40,53	0,74	1,45

Legenda:  $\bar{X}$  - média geral;  $\sigma$  - desvio padrão; CV (%) - Coeficiente de variação; Cs - Coeficiente de assimetria; Ck - Coeficiente de curtose.

Os índices de dano tanto para o lado direito, quanto para o lado esquerdo da colhedora na carta de controle de valores individuais (Figura 2), não apresentaram pontos fora de controle, porém, observa-se que o lado esquerdo da colhedora apresentou menos pontos dentro dos limites específicos de controle (entre 0 e 0,33) em relação ao lado direito, indicando que em relação à declividade, o lado direito apresentou menores valores de danos às soqueiras. Entretanto, tanto o lado direito quanto o esquerdo apresentaram pelo menos um ponto igual ao limite superior de controle. Estes danos acima do limite superior específico de controle (LSEC) são considerados danos periféricos e fragmentados, os quais podem acarretar diminuição da rebrota, produtividade e conseqüentemente longevidade do canavial. Silva et al., (2008) indicaram que quando há predominância de danos periféricos e fragmentados ocorre o oposto do esperado na colheita.

Apesar dos pontos ficarem dentro dos limites superior e inferior de controle (LSC e LIC) a maioria dos pontos ficaram acima do limite superior específico (LSEC) caracterizando o canavial com um índice de danos periféricos a fragmentados (Toledo, 2013).

Figura 2 - Carta de controle de valores individuais para danos às soqueiras

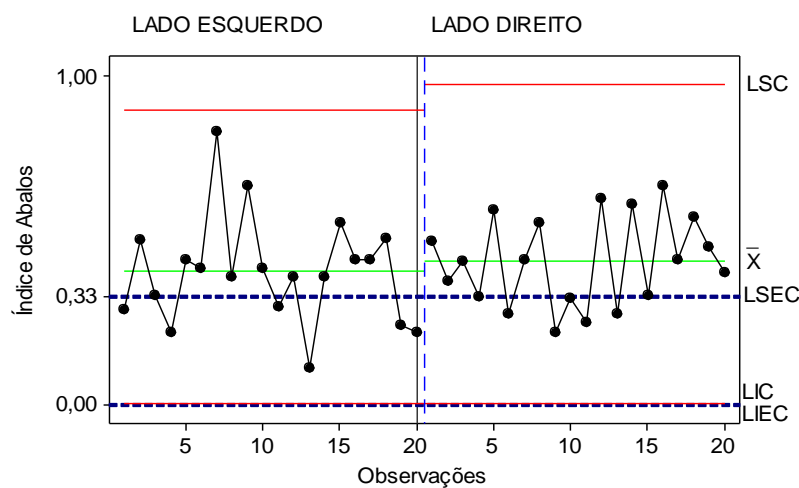


Legenda: LSC: Limite superior de controle;  $\bar{X}$ : Média; LSEC: Limite superior específico de controle; LIC: Limite inferior de controle; LIEC: Limite inferior específico de controle.

Para abalos as soqueiras (Figura 3), o processo manteve-se estável por não apresentar nenhum ponto fora de controle na carta de controle de valores individuais, porém observou-se que

o lado esquerdo da colhedora apresentou menor variabilidade e consequentemente melhor qualidade do processo em relação ao lado direito da colhedora. Nota-se na carta de controle, que a maioria dos valores de abalo para os dois lados da colhedora estão acima dos limites específicos de controle estipulados, indicando que em relação à declividade os abalos apresentaram muitos índices acima do limite aceitável. Salvi et al. (2007), afirma que o elevado índice de abalos às soqueiras pode ser atribuído ao mecanismo de corte basal da máquina, que não é capaz de acompanhar a declividade do terreno de modo que possa causar abalos ao longo da colheita, ocasionando uma situação de um canavial com falhas e menor produtividade nos anos seguintes.

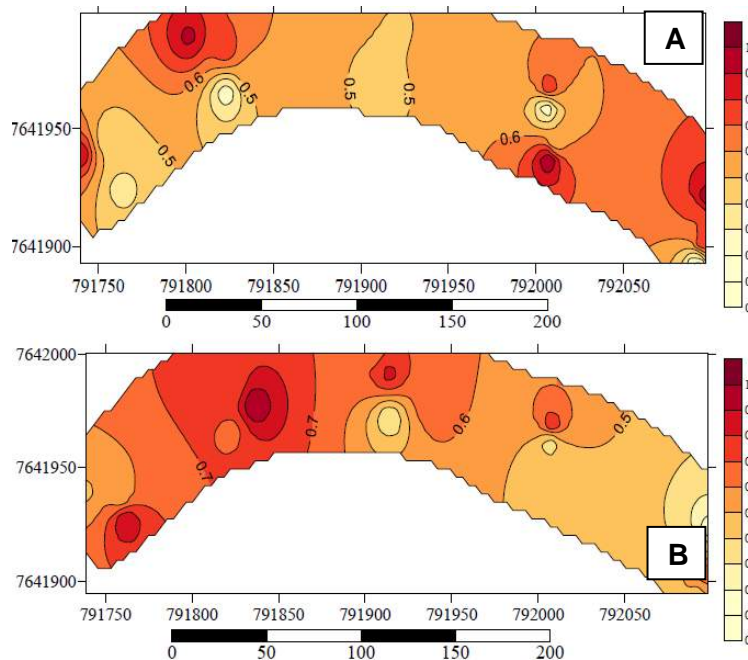
Figura 3: Carta de controle de valores individuais para abalos às soqueiras



Legenda: LSC: Limite superior de controle;  $\bar{X}$ : Média; LSEC: Limite superior específico de controle; LIC: Limite inferior de controle; LIEC: Limite inferior específico de controle.

A figura 4 demonstra o mapa de isolinhas gerado por meio dos pontos coletados com GPS que os danos causados às soqueiras pelos lados direito e esquerdo da colhedora apresentaram valores parecidos para ambos os lados da colhedora, porém, nota-se que como foi expresso na carta de controle de valores individuais para danos, o lado esquerdo da colhedora apresentou maiores valores acima dos limites específicos de controle, o que também é expresso no mapa. Noronha et al., (2011) afirmam que mesmo com níveis dentro dos limites superior e inferior de controle, a maioria dos pontos estando acima dos limites específicos de controle, apresentam índices de risco ao canavial, situação que pede atenção ao processo de colheita, afim de evitar queda nas produtividades futuras.

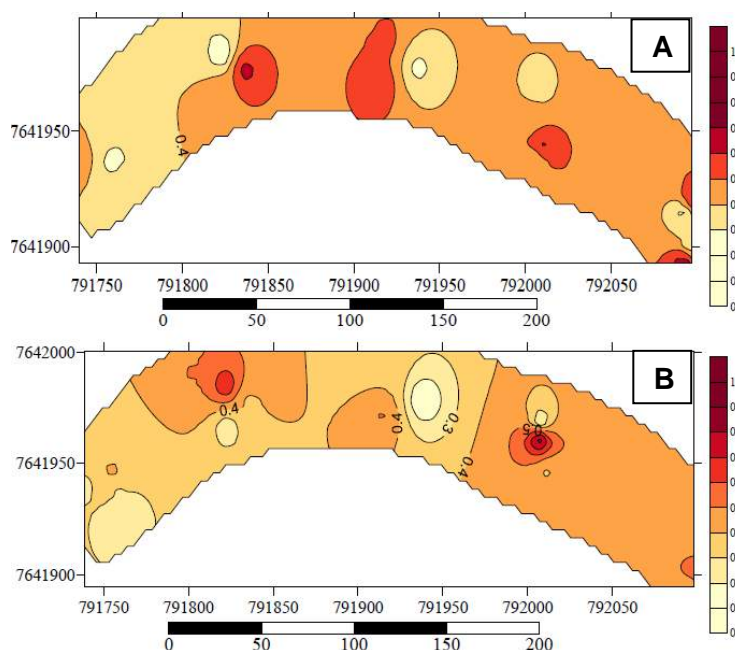
Figura 4 - Mapa do talhão interpolado para danos às soqueiras.



Legenda: A: Lado direito da colhedora; B: Lado esquerdo da colhedora.

Os abalos às soqueiras expressos no mapa de isolinhas (Figura 5), demonstram que o lado direito da colhedora apresentou maior variabilidade dos níveis de abalo os maiores índices de abalo foram encontrados no lado esquerdo da colhedora inferindo assim, para o lado direito uma menor qualidade do processo em relação ao lado esquerdo confirmando o que foi expresso pela carta de controle de valores individuais para abalos. Salvi et al. (2007), afirmam que o elevado índice de abalos às soqueiras pode ser atribuído ao mecanismo de corte basal da máquina, que não é capaz de acompanhar a declividade do terreno de modo que possa causar abalos ao longo da colheita, ocasionando uma situação de um canalial com falhas e menor produtividade nos anos seguintes.

Figura 5 - Mapa do talhão interpolado para abalos às soqueiras.



Legenda: A: Lado direito da colhedora; B: Lado esquerdo da colhedora.

## 4 CONCLUSÕES

Conclui-se por meio dos resultados observados que a declividade do terreno possui influência na qualidade do corte de base de uma colhedora multilinhas de cana-de-açúcar nos indicadores de qualidade danos e abalos às soqueiras

## REFERÊNCIAS

- BELARDO, Guilherme de Castro. **Avaliação do desempenho de colhedoras multilinhas de cana-de-açúcar em três espaçamentos**. 2016. 173 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal., Jaboticabal, 2016.
- CASSIA, M. T.; SILVA, R. P.; PAIXÃO, C. S. S.; BERTONHA, R. S.; CAVICHIOLI, F. A. **Desgaste das facas do corte basal na qualidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 44, n.6, p. 987-993, 2014.
- CASSIA M. T.; SILVA R. P. **Avaliação da colheita mecanizada – Avaliação da qualidade do corte de base**. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. 608 p.
- COMPAGNON, A.M; SILVA, R. P.; CASSIA, M. T.; GRAAT, D.; VOLTARELLI, M. A. **Comparação entre métodos de perdas na colheita mecanizada de soja**. Scientia Agropecuária, v. 3, n. 3, 2012.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Brasília, dez. 2016. Terceiro Levantamento. Online. Disponível em:<[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_12\\_27\\_16\\_30\\_01\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_3o\\_lev\\_-16-17.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_12_27_16_30_01_boletim_cana_portugues_3o_lev_-16-17.pdf)>. Acesso em 10 jul. 2017.
- KROES, S. **The cutting of sugarcane**. 1997. 356 f. PhD Thesis, University of Southern Queensland, Toowoomba, 1997.
- LÉON, A.; RUBIO, G.; SERNA, G. Autoregressive conditional volatility skewness and kurtosis. **Quarterly Review of Economics Finance**, Philadelphia, v. 45, n. 4, p. 599–618, 2005.
- MONTGOMERY, DOUGLAS. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**, Livros Técnicos e Científicos, 4ª Ed., S.P., Brasil, 2004.
- NORONHA, R. H. F.; SILVA, R. P.; CHIODEROLI, C. A.; SANTOS, E. P.; CASSIA, M. T. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 931-938, 2011.
- PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.
- RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar**: colheita, energia e ambiente Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2009, 333 p.
- SALVI, J. V. MATOS M. A.; MILAN. M. Avaliação do desempenho de dispositivo de corte basal de colhedora de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.1, p.201-209, 2007.
- TOLEDO, A. **Qualidade do corte basal na colheita mecanizada de cana-de-açúcar**. 2012. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Área de concentração em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2012.

TOLEDO, A.; SILVA, R. P.; FURLANI, C. E. A. Quality of cut and basecutter blade configuration for the mechanized harvest of green sugarcane. **Scientia Agricola**, v. 70, n.6, p. 384-389, 2013.

VOLTARELLI, M.A.; SILVA, R.P.; ROSALEN, D.L.; ZERBATO, C.; CASSIA, M.T. Quality of performance of the operation of sugarcane mechanized planting in day and night shifts. **Australian Journal of Crop Science**, v. 7, n. 9, p. 1396-1406, 2013. Disponível em: <[http://www.cropj.com/voltareli\\_7\\_9\\_2013\\_1396\\_1406.pdf](http://www.cropj.com/voltareli_7_9_2013_1396_1406.pdf)> Acesso em: 22 jul 2017

## RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DO SOLO NO SISTEMA DE TRÁFEGO CONTROLADO DE MÁQUINAS NA CULTURA DA SOJA

### *Resistance of soil penetration in the controlled traffic system of machinery in soybean culture*

Darlan Preuss<sup>1</sup>, Telmo Jorge Carneiro Amado<sup>2</sup>, Tiago De Gregori Teixeira<sup>3</sup>, Luan Pierre Pott<sup>4</sup>, Emanuel Roggia<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Aluno de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria CEP:97150970 – RS, Brasil, [darlanpreuss@hotmail.com](mailto:darlanpreuss@hotmail.com)

<sup>2</sup> Professor, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, CEP:97105900 – RS, Brasil, [florestatel@hotmail.com](mailto:florestatel@hotmail.com)

<sup>3</sup> Doutorando em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, CEP: 97105900 – RS, Brasil, [t18t@hotmail.com](mailto:t18t@hotmail.com)

<sup>4</sup> Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000, 97105-900, Santa Maria – RS, Brasil, [luanpierrepott@hotmail.com](mailto:luanpierrepott@hotmail.com)

<sup>5</sup> Aluno de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria CEP:97150970 – RS, Brasil, [emanuelroggia21@gmail.com](mailto:emanuelroggia21@gmail.com)

## RESUMO

A relação do peso das máquinas e o constante tráfego das mesmas na lavoura vem ocasionando o fenômeno da compactação das camadas do solo. Uma das maneiras de proporcionar uma melhoria desse problema é utilização do sistema de tráfego controlado. O tráfego controlado de máquinas permite a circulação ou trânsito de máquinas seja direcionado em linhas/locais pré-definidos, restringindo a compactação em locais específicos. Este estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar as modificações ocorridas pelo tráfego controlado de máquinas na resistência do solo à penetração e na produtividade da soja. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico Típico. Os tratamentos investigados são: Tráfego mínimo, Tráfego Médio e Tráfego Máximo de máquinas na lavoura. Foi observado pequeno aumento na resistência a penetração do solo nas avaliações no florescimento da cultura e após a colheita relacionado ao aprofundamento das camadas do solo. A produtividade analisada no experimento não foi influenciada pelo tráfego controlado de máquinas agrícolas nos tratamentos de tráfego mínimo e médio, mas para o tráfego máximo teve uma redução da produtividade. A produtividade média geral da área manejada com tráfego controlado foi superior à média de soja do Estado do Rio Grande do Sul na safra 2016/17.

**Palavras-chave:** Compactação do solo. Peso de máquinas. Agricultura de precisão.

## ABSTRACT

The relation of the weight of the machines and the constant traffic of the same ones in the farming have been causing the phenomenon of the compactation of the layers of the soil. One of the ways to provide an improvement of this problem is to use the controlled traffic system. The controlled traffic of machines allows the circulation or traffic of machines to be directed in pre-defined lines / places, restricting the compaction in specific places. This study was conducted with the objective of evaluating the changes occurred by controlled traffic of machines in soil resistance to penetration and soybean yield. The soil of the site is classified as Typical Red Dystrophic Latosol. The treatments investigated are: Minimum traffic, Medium traffic and Maximum traffic of machines in the field. It was observed a small increase in resistance to soil penetration in the evaluations on the flowering of the crop and after harvest related to the deepening of the soil layers. The productivity analyzed in the experiment was not influenced by the controlled traffic of agricultural machines in the treatments of minimum and medium traffic, but for the maximum traffic it had a reduction of the productivity. The general average productivity of the area managed with controlled traffic was higher than the average soybean of the State of Rio Grande do Sul in the 2016/17 harvest.

**Keywords:** Soil compaction. Weight of machines. Precision agriculture



## 1 INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia na agricultura, ocorreu nas últimas décadas a evolução das máquinas agrícolas utilizadas a campo. O uso de tecnologia embarcada foi um dos benefícios, além de proporcionar maior conforto aos operadores, uma maior precisão e qualidade nas operações de manejo do solo. Mas, juntamente com todos esses benefícios, teve o acompanhamento do tamanho, peso e da tensão imposta por essas máquinas agrícolas no solo.

A relação entre o peso das máquinas agrícolas e seu aumento intensivo de tráfego na lavoura, vem causando problemas graves de compactação de certas camadas do solo. As quais ações são prejudiciais ao crescimento radicular da planta, menor assimilação de nutrientes, menos reserva de água no sistema e a diminuição da produtividade das culturas, principalmente que há ocorrência de déficit hídricos.

A compactação altera as propriedades físicas do solo podendo causar redução no comprimento do sistema radicular, dificuldades de absorção de água e nutrientes, como consequência do aumento da resistência mecânica que as raízes têm que vencer para crescer (SANTOS et al., 2005). A germinação de uma cultura é influenciada diretamente pela umidade, temperatura e a aeração do solo, entretanto esses fatores primordiais são afetados pelo estado de compactação do solo ao redor da semente. (MODOLO et al., 2011).

Com a compactação do solo causado pelo peso e uso intensificado de máquinas agrícolas surge o sistema de tráfego controlado. O qual tem como objetivo de organizar o tráfego de máquinas na lavoura e fazer com que a circulação ou trânsito de máquinas seja direcionado em linhas/locais pré-definidos, restringindo a compactação em locais específicos. O sistema de tráfego controlado é para a prevenção e o confinamento da compactação do solo em locais específicos, sendo uma das maneiras de melhor evitar as perdas de produtividade causadas pelo excesso de tráfego de máquinas dentro da lavoura (CHAMEN, 2011).

Uma das formas de avaliação da compactação do solo sob o sistema de tráfego controlado é a utilização de equipamentos que são capazes de fazer leituras da resistência a penetração (RP) do solo. A RP tem sido adotada como indicativo da compactação do solo, por apresentar relações diretas com o desenvolvimento das plantas e por ser mais eficiente na identificação de estados de compactação comparada à densidade do solo (SILVA et al., 2003). A resistência do solo a penetração (RSP) reflete a variação da coesão entre as partículas sólidas do solo, sendo dependente do teor de água e da textura do solo (REICHERT et al., 2007).

Neste contexto o objetivo do trabalho foi determinar a relação da resistência a penetração (RP) do solo a campo e sua produtividade final, utilizando o sistema de tráfego controlado de máquinas na cultura da soja na safra 2016/17.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma área comercial no município de Carazinho – RS. O local tem as coordenadas geográficas zona 22J 336043 m E, e 6875204m S e 600 m de altitude, totalizando uma área cultivada de 89 ha. O solo é classificado como um Latossolo Vermelho Distrófico Típico (EMBRAPA, 2006), com teores de argila variando de 25 a 40 % na camada de 0,00-0,40 m. Segundo Köppen o clima da região é classificado como subtropical úmido (Cfa). O manejo utilizado é o Sistema de Plantio Direto (SPD) por 17 anos.

As avaliações de resistência à penetração foram feitas com equipamentos eletrônicos que fazem os registros através de uma célula de carga. Foram utilizados dois equipamentos semelhantes da marca Falker 1020 e Falker SoloTrack, utilizaram o cone tipo 2 (diâmetro de 12,83mm) conforme a norma ASAE S.313.3. A configuração dos equipamentos foi utilizada para registrar leituras a cada 0,01m, chegando até a profundidade total de 0,40m. As avaliações ocorreram na safra de soja 2016/17, em duas épocas distintas no florescimento e na colheita. Em janeiro de 2017, no florescimento, foram realizadas avaliações de resistência a penetração, enquanto no período da colheita, março de 2017, realizou-se a colheita manual e após a

passagem da colheitadeira foi realizado com segunda avaliação de RP.

A cultivar de soja utilizada foi a Pioneer 95R51, semeado na 1ª semana de novembro e população estabelecida de 7 plantas por metro linear. No florescimento foram realizadas 122 avaliações de resistência a penetração em diferentes locais, totalizando 4880 determinações de pontos. Já no período da colheita foram avaliados 30 locais, totalizando 1200 determinações. Essas avaliações registradas de 0,01 em 0,01m foram agrupadas para compor a média em 4 camadas (0,00 – 0,10; 0,10 – 0,20; 0,20 – 0,30; 0,30-0,40m). Para determinação da produtividade da soja, foi coletado manualmente 3,0 m lineares para cada local. O espaçamento utilizado entre linhas foi de 0,34m, totalizando em cada parcela avaliada 1,02m<sup>2</sup>, após a debulha manual, foram pesadas, transformada a umidade a 13% e convertida a produtividade em kg ha<sup>-1</sup>.

Os tratamentos avaliados são baseados na intensidade de tráfego dos implementos agrícolas sobre a superfície, diferenciando-se em 3 três no total. O tráfego mínimo (Tmin) é caracterizado por não existir contato dos rodados sobre a superfície do solo durante a safra. Já o tratamento tráfego médio (Tmed) apresenta contato dos pneus em dois momentos, na semeadura (trator) e na colheita (colheitadeira). O terceiro tratamento, tráfego máximo (Tmax), apresenta o tráfego médio com o incremento das passadas do pulverizador, o qual adiciona passadas e causa amassamento a cultura em avaliação.

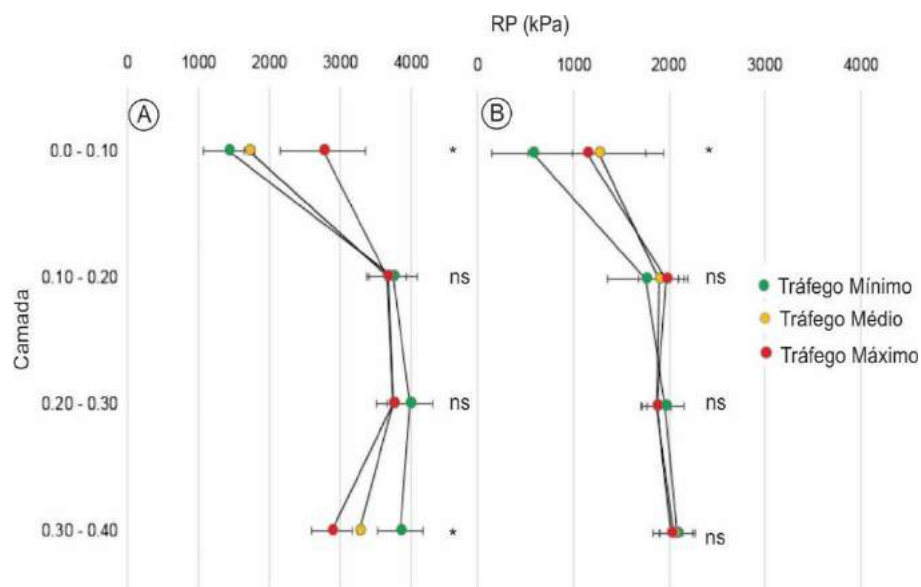
A análise estatística da resistência a penetração do solo e produtividade da soja foi realizada com base na análise variância pelo teste F para cada camada; quando o efeito foi significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, com base na diferença mínima significativa (5 %) pelo software estatístico InfoStat versão 2016 (DI RIENZO et al., 2016).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Resistencia a Penetração do solo

O resultado apresentado na Figura 1 sobre Resistência a Penetração (RP) do solo no florescimento (A) e após a colheita da soja (B), mostra que na camada de 0,0-0,10m houve diferença estatística entre as avaliações A e B, para os tratamentos de Tmin, Tmed e Tmax.

Figura 1. Resistência a penetração do solo. Carazinho, RS.



Avaliações realizadas no florescimento da soja (A) e após a colheita mecânica (B). Médias com ns não são significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Já as camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,30m não houve diferenças estatísticas entre as avaliações nos tratamentos. Na camada de 0,30-0,40m mostrou que houve diferença estatística na RP no florescimento da cultura da soja para os três tratamentos, mas o resultado encontrado na avaliação final da colheita da soja não foi significativo para a mesma camada de solo.

A umidade do solo no florescimento apresentou 19, 20, 19 e 22%, enquanto na colheita 26, 25, 26 e 27% para as camadas de 0,00 – 0,10; 0,10 – 0,20; 0,20 – 0,30; 0,30-0,40m respectivamente. Essa diferença de umidade nas duas avaliações foi suficiente para reduzir pela metade as leituras, nota-se principalmente nas camadas de 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,30m que tinham valores próximos 4000 kPa e na segunda avaliação os valores estão próximos a 2000 kPa. Girardello et al. (2014) em uma área de aproximadamente 50 ha e dois períodos de avaliação teve esse resultado. De um modo geral, o experimento mostra que houve um decréscimo da RP na avaliação após a colheita em relação a avaliação no florescimento da cultura. Outro fator obtido no estudo é que o problema da compactação do solo está nas camadas mais profundas, como mostra as leituras de RP. De acordo com Arshad et al. (1996) a resistência a penetração do solo entre os valores de 2000 Kpa – 4000 kpa são caracterizados como críticos ao crescimento radicular de culturas anuais. Foram observados, em um Latossolo Vermelho com 330 g kg<sup>-1</sup> de argila, o decréscimo de 32 % na produtividade da soja a partir de uma RP de 2240 Kpa. Beutler et al. (2006).

### 3.2 Produtividade da soja e sua relação com a Resistência a penetração do solo

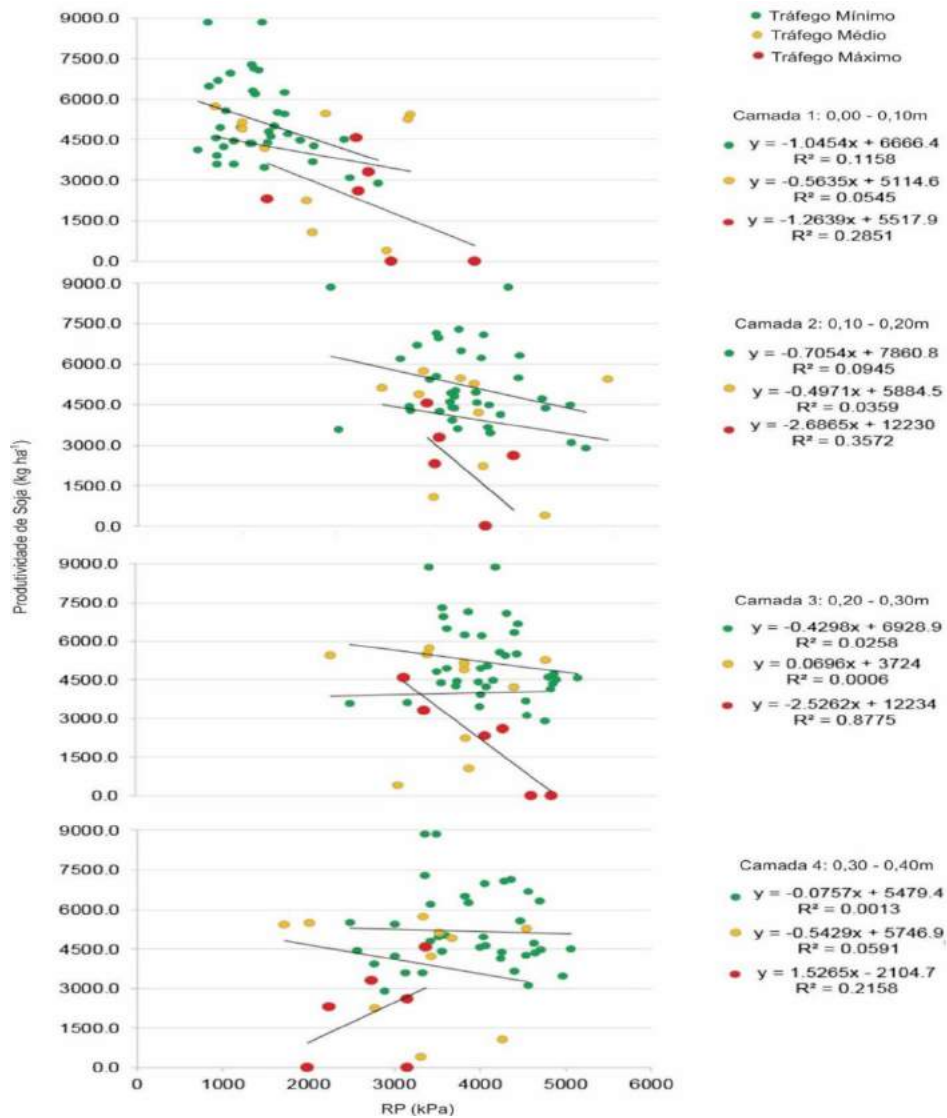
De acordo com Bengough et al (2006), o crescimento radicular da planta e sua produtividade de grãos são diretamente afetadas pela compactação do solo e o tempo que as plantas estão expostas a esse estresse. Outro fator que pode afetar o crescimento e produtividade da soja é a precipitação anual. O excesso de precipitação na fase vegetativa pode diminuir o crescimento da planta, devido à falta de oxigênio no sistema solo-planta. Por outro lado, a baixa precipitação, junto com a compactação, ocorre a diminuição da infiltração e armazenamento de água (TORMENA et al., 2007), o que relaciona com o decréscimo da produtividade final.

A produtividade da soja e sua relação com RP do solo foi avaliada em dois momentos distintos: primeiro no estágio de florescimento da cultura (R1) e a segunda avaliação no final da safra. A Figura 2 compreende as avaliações feitas no estágio de florescimento da soja, onde foi possível observar que as melhores produtividades foram no sistema de tráfego mínimo e possuindo melhor correlação com a RP da camada superficial (0,00-0,10m). Outro fator que é observado nas camadas de 0,10-0,30m houve um aumento da resistência a penetração do solo, e ocorrendo melhor correlação da produtividade principalmente no Tmax. O tratamento que obteve as menores produtividades foi o tráfego máximo de máquinas, em contrapartida sua resistência a penetração do solo na camada de 0,30-0,40m (2000-3000 Kpa) foi menor em relação aos demais camadas avaliadas, mostrando que a camada mais profunda analisada não está afetada pelo tráfego dos implementos. A melhor correlação entre os tratamentos e profundidades avaliadas foi o Tmax para a camada 2 (0,10-0,20m), apresentando um  $r^2=0.35$ , já os outros tratamentos e camadas tiveram uma grande dispersão dos seus pontos.

Já na avaliação de RP após a colheita, Figura 3, observou-se que na camada de 0,0-0,10 m teve a menor resistência a penetração (500-1500 Kpa) enquanto nas camadas de 0,10-0,40 m houve um aumento da RP (1500-2500 Kpa). Esse aumento é observado nos três tratamentos, não havendo grandes diferenças entre os mesmos. Para Botta et al. (2012) as pressões aplicadas sobre a superfície do solo são distribuídas ao longo do perfil, em função das tensões e das deformações, em maior ou menor escala, de acordo com as características físicas do solo. Em estudo realizado por Secco (2003), o estado de compactação do solo em um Latossolo Vermelho distrófico, determinou que a RP na faixa de 2650 a 3260 Kpa proporcionou decréscimos na produtividade de trigo, milho e soja de 18,3; 34,0; e 24,3 %, respectivamente. As correlações para a segunda avaliação apresentaram  $r^2$  superior, o que pode ser devido a menor quantidade de pontos observados e isso ter refletido na melhor correlação. Contudo foi observado nas camadas 1, 3 e 4  $r^2$  superior a 0,90, obtendo essas altas correlações para os distintos tratamentos avaliados

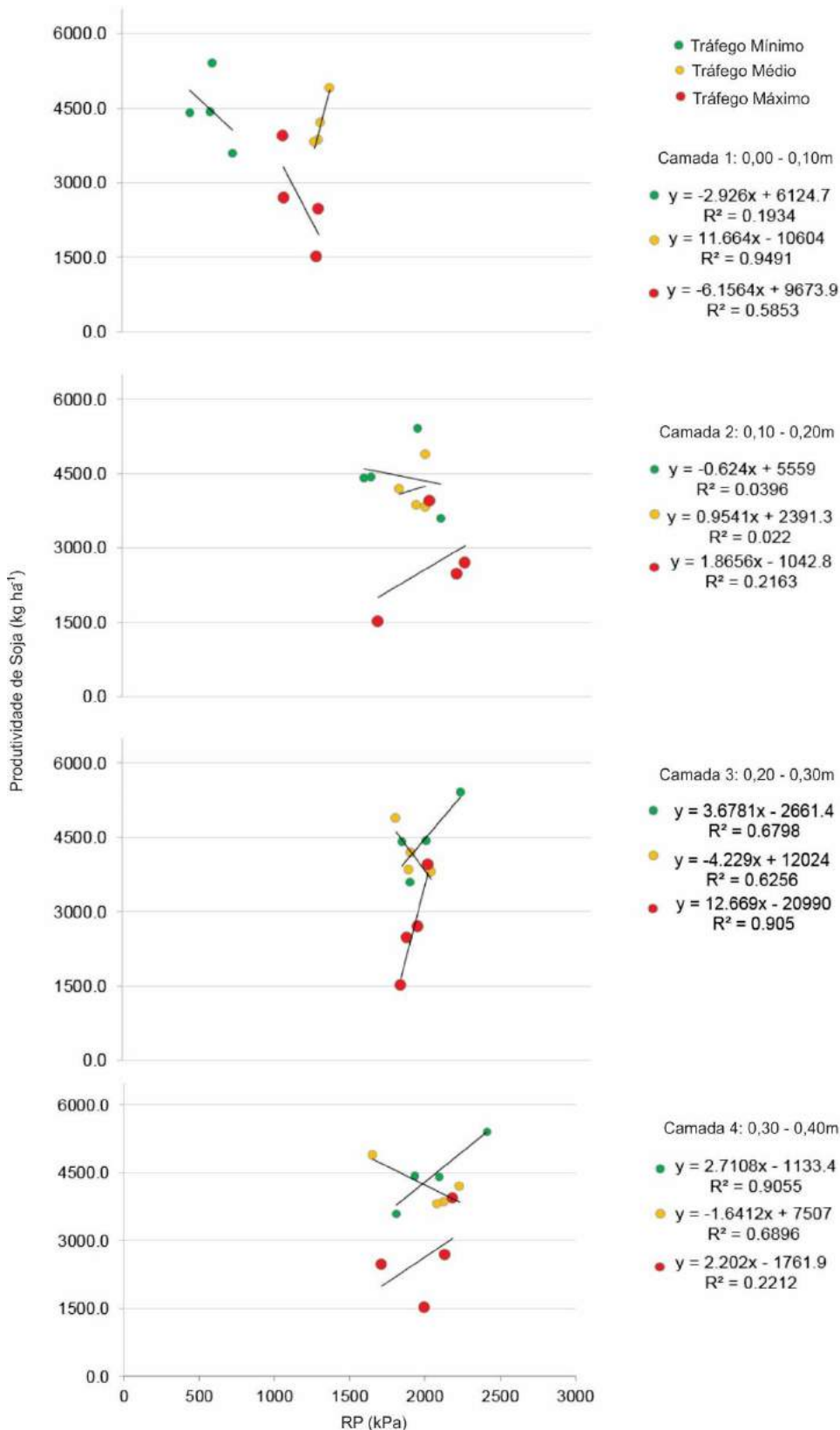
são eles na camada 1 – Tmed, camada 3 – Tmax, e camada 4 – Tmin.

Figura 2. Relações da produtividade de soja safra 2016/17 com a resistência a penetração do solo no período do florescimento. Carazinho, RS.



Avaliações realizadas no florescimento da soja.

Figura 3. Relações da produtividade de soja safra 2016/17 com a resistência a penetração do solo no final da safra. Carazinho, RS.



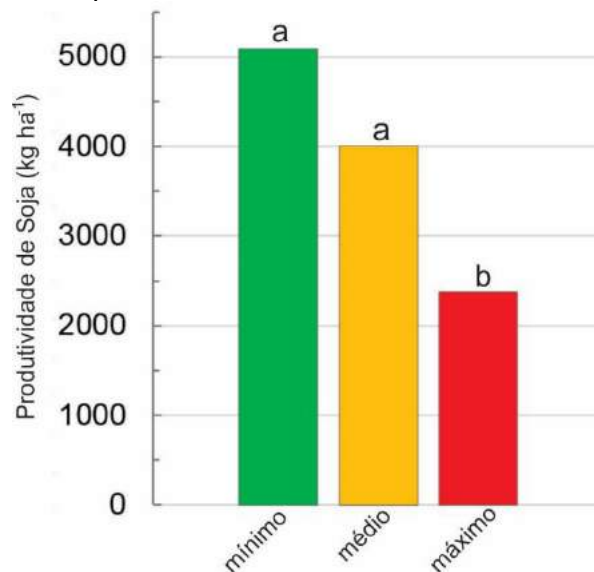
Avaliações realizadas após a colheita mecânica da soja.

### 3.2 Produtividade da cultura da soja no sistema de tráfego controlado

As produtividades avaliadas entre todos os tratamentos obtiveram a média de  $3823 \text{ kg ha}^{-1}$ , quando comparado a média do RS a produtividade é 14% superior, ou seja,  $463 \text{ kg ha}^{-1}$ . Na última safra 2016/17, segundo o 11º levantamento da safra agrícola do Brasil realizado pela CONAB (2017), o Rio Grande do Sul teve uma média de produtividade média de grãos soja de  $3360 \text{ Kg ha}^{-1}$ . Dessa forma, é possível observar que a produtividade geral obtida pela adoção do sistema de tráfego controlado na cidade de Carazinho-RS foi superior à média de produtividade do Estado do Rio Grande do Sul.

Estatisticamente os tratamentos Tmin e Tmed não diferiram (Figura 4), enquanto o Tmin foi estatisticamente inferior aos demais. As médias obtidas de  $5084 \text{ kg ha}^{-1}$  para Tmin, representa 113% maior produtividade comparado a Tmax, já Tmed ( $4008 \text{ kg ha}^{-1}$ ) é superior em 68% nessa mesma comparação ao Tmax ( $2376 \text{ kg ha}^{-1}$ ). A avaliação de produtividade do Tmax pode ter sido superestimada, para compor a colheita deste local foram coletas juntamente as linhas adjacentes a passada do pulverizador, e não somente a linha onde tinham os rastros.

Figura 4. Produtividades médias por tratamento avaliado. Carazinho, RS.



Produtividade média da soja avaliada pela colheita manual das parcelas. Médias com letras iguais não são significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

## 4 CONCLUSÕES

O tráfego controlado pode ser uma estratégia eficiente para promover redução na compactação do solo prejudicial as plantas, principalmente se for adotado por um período consecutivo de safras.

As relações entre produtividade de soja e resistência a penetração foram mais significativas quando foram observadas na avaliação após a colheita, podendo indicar para trabalhos futuros qual a melhor época de avaliação.

Esperava-se pelos tratamentos avaliados diferença estatística entre o Tmin e os demais, podendo isso ter ocorrido em virtude do pequeno período de adoção e melhorias que o tráfego controlado trará a estrutura física do solo.

## REFERÊNCIAS

- ALBA, P.J.; AMADO, T.J.C.; GIRARDELLO, V.C.; SCHOSSLER, D.S.; HORBE, T.A.N. & TRINDADE, B.S. Tráfego controlado em culturas de grãos no RS: princípios, desafios e resultados preliminares. **Revista Plantio Direto**, 112, 2011.
- ARSHAD, M.A.; LOWERY, B. & GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. Methods for assessing soil quality. Madison, **Soil Science Society of America**, 1996. p.123141.
- BENGOUGH, A. G.; BRANSBY, M. F.; HANS, J.; MCKENNA, S. J.; ROBERTS, T. J.; VALENTINE, T. A. Root responses to soil physical conditions; growth dynamics from field to cell. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, p. 437-447, 2006.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; CENTURION, M.A.P.C. & SILVA, A.P. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo Vermelho. **R. Bras. Ci. Solo**, 30:787-794, 2006.
- BOTTA, G.F.; TOLON-BECERRA, A.; TOUM, M.; BRAVO-LASTRA, X.; RIVERO, D. Agricultural traffic: Motion resistance and soil compaction in relation to tractor design and different soil conditions. **Soil Tillage Research**, v. 120, p. 92-98, 2012.
- CONAB, 11º Levantamento da Safra Brasileira de Grãos. **Companhia Nacional de Abastecimento**, V. 4, p.115-119, Agosto de 2017.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2016. **InfoStat Group**, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- GASSEN, D. Tráfego controlado como alternativa para reduzir a compactação do solo. **Revista Plantio Direto**, v. 111, p.4-10, 2011.
- MODOLO, A. J.; TROGELLO, E.; NUNES, A. L.; SILVEIRA, J. C. M.; KOLLING, E. M. Efeito da compactação do solo sobre a semente no desenvolvimento da cultura do feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá-PR, v. 33, n. 1, p. 89-95, 2011.
- REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tóp. Ciênc. Solo**, v.5, p.49-134, 2007.
- SANTOS, G. A.; SOUZA, C. A. S.; DIAS JUNIOR, M. S.; FURTINI NETO, A. E.; GUIMARÃES, P. T. G. Diferentes graus de compactação e fornecimento de fósforo influenciando no crescimento de plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivadas em solos distintos. **Ciência Agroecológica**, Lavras-MG, v. 29, n. 4, p.740-752, 2005.
- SECCO, D. Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas. Santa Maria, **Universidade Federal de Santa Maria**, 2003. 108p. (Tese de Doutorado)
- TORMENA, C. A.; ARAUJO, M. A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J. M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um latossolo vermelho distroférrico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 31, p.211-219, 2007..

## TEMPOS E MOVIMENTOS NO ARRANQUIO MECANIZADO DE AMENDOIM EM FORMATOS DE TALHÕES DISTINTOS

*Times and movements on machining archangel of peanuts in formats  
of different tiles*

Matheus Anan de Paula Borba<sup>1</sup>, Tulio Marchi Bunhola<sup>2</sup>, Danilo Tedesco de Oliveira<sup>1</sup>,  
Rafael De Graaf Corrêa<sup>1</sup>, Luan Pereira de Oliveira<sup>1</sup>, Cristiano Zerbato<sup>1</sup>, Rouverson Pereira  
da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> FCAV/UNESP, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, 14870-300, Jaboticabal – SP,  
Brasil, [matheuspborba@gmail.com](mailto:matheuspborba@gmail.com); [danielotedesco@outlook.com](mailto:danielotedesco@outlook.com); [rafadegraaf@gmail.com](mailto:rafadegraaf@gmail.com);  
[luanoliveirax@gmail.com](mailto:luanoliveirax@gmail.com); [zerbato@fcav.unesp.br](mailto:zerbato@fcav.unesp.br); [rouverson@gmail.com](mailto:rouverson@gmail.com)

<sup>2</sup> FAFRAM, Rua Domingos Nunes Macedo, s/n, 14500-000, Ituverava – SP, Brasil,  
[tuliomarchib@hotmail.com](mailto:tuliomarchib@hotmail.com)

### RESUMO

Objetivou-se neste trabalho avaliar os tempos e movimentos no arranquio mecanizado de amendoim em diferentes formatos de talhões. O experimento foi realizado no município de Jaboticabal – SP localizado nas coordenadas geodésicas latitude 21° 15' S e longitude 48° 16' WO. Em ambos os talhões, utilizou-se o conjunto mecanizado composto por um trator e arrancador-invertedor. Os talhões avaliados pertenciam à mesma propriedade, entretanto, com diferentes formatos. O talhão um assemelhava-se a um trapézio, o talhão dois a um retângulo. O delineamento experimental seguiu as premissas do controle estatístico de processos, aplicando para cada variável cartas de controle de valores individuais. Monitoraram-se os tempos e movimentos na operação de arranquio sendo divididos em: eficiência gerencial, colheita, tempo perdido e tempo de manobra; sendo calculadas por meio destes as capacidades operacionais e eficiências da operação de arranquio. O dimensionamento dos talhões teve influência na capacidade operacional. O talhão um teve melhores resultados que o talhão dois devidos menores tempos de manobra, de operação, resultando em uma melhor eficiência.

**Palavras-chave:** Arrancador-invertedor. Controle estatístico de processo. Desempenho de máquinas.

### ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the times and movements in the mechanized peanut cutter in different stands. The experiment was carried out in the municipality of Jaboticabal - SP located at latitude 21° 15' S and longitude 48° 16' WO. In both plots, the mechanized set consisting of a tractor and starter-inverter was used. The studs evaluated belonged to the same property, however, with different formats. Field 1 resembled a trapezoid, field 2 to a rectangle. The experimental design followed the assumptions of statistical process control, applying for each variable control charts of individual values. Time and movement were monitored in the ripple operation, divided into: management efficiency, harvesting, time lost and maneuver time; the operational capacities and efficiencies of the startup operation being calculated. The size of the plots had an influence on the operational capacity. Field 1 had better results than field 2 due to shorter operating times, resulting in better efficiency.

**Keywords:** Digging-inverter. Statistical process control. Machine performance.

## 1 INTRODUÇÃO

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é considerado, entre as leguminosas, uma das mais importantes culturas, juntamente com o feijão e a soja. Suas sementes proporcionam elevada rentabilidade de óleo de fácil digestão (45 a 50%), possuindo altos teores de vitaminas (GONÇALVES et al., 2004). Tem como principal diferença em relação às demais, a produção de frutos abaixo da superfície do solo e, devido a esta particularidade, a colheita realiza-se em duas fases distintas, denominadas arranquio e recolhimento (SEGATO & PENARIOL, 2007).

Com o aumento das populações e a necessidade de se produzir mais alimentos, com um



número cada vez menor de pessoas empregadas na agricultura, as operações agrícolas começaram a ser mecanizadas (Klaver et al, 2012), e a grande variedade de máquinas agrícolas disponíveis hoje, para realizar estas operações permite ao agricultor uma escolha adequada para atender a sua demanda. Porém, as características de cada modelo variam e podem interferir no desenvolvimento da cultura, interferindo negativamente ou positivamente desde a semeadura até a colheita.

Conforme descrevem CARVALHO et al. (2002), há crescente preocupação em medir a variabilidade espacial e temporal de propriedades que afetam o rendimento das culturas, com o principal objetivo de reduzir custos.

Características físicas, químicas e biológicas têm sido amplamente investigadas sob o aspecto da variabilidade espacial para a melhoria do processo produtivo agrícola. Porém, também fazem parte desse processo, as operações mecanizadas, como citam PRADO et al. (2002), que, por sua vez, representam uma fatia considerável dos custos de produção.

Estudos feitos por Linhares et al (2012) mostram que o planejamento operacional das atividades tem por objetivo estabelecer alternativas que propiciem o cumprimento das metas de produção que são determinadas pelo planejamento global, por meio do conhecimento da eficiência e do desempenho operacional das máquinas e equipamentos utilizados na colheita. A eficiência de um sistema de colheita depende, basicamente, do ambiente onde o mesmo é trabalhado, e os principais fatores a serem considerados são o clima, o terreno, a espécie vegetal, a infraestrutura, o nível de desenvolvimento, a tradição do sistema utilizado.

De acordo com Silveira, Yanai e Kurachi (2006) diversos fatores influenciam a eficiência de campo de uma máquina agrícola, tais como: o método de operação ou padrão de operação no campo, o formato e declividade das áreas, o tamanho do campo, a capacidade de campo teórica de operação, as condições da cultura e as limitações dos sistemas, razão pela qual eficiências no campo são muito variáveis.

Sendo assim, objetivou-se neste trabalho avaliar os tempos e movimentos no arranquio mecanizado do amendoim em diferentes formatos de talhões.

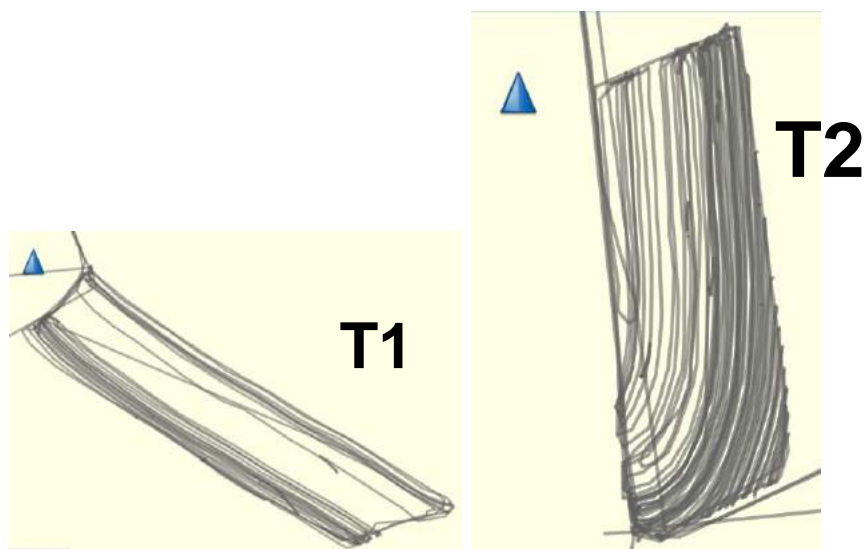
## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado nas áreas da família Revolti (Talhões 1 e 2), município de Jaboticabal - SP, localizado próximo às coordenadas geodésicas latitude 21º 15' S e longitude 48º 16' WO, com altitude e declividade médias de 560 metros e 4%, respectivamente. O solo do local é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico horizonte A moderado, textura argilosa e relevo suave ondulado, de acordo com Andrioli e Centurion (1999). O clima da região é classificado do tipo Aw, definido como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A cultivar utilizada foi a 503, sendo distribuídas na semeadura 25 sementes m<sup>-1</sup>, com espaçamento entrelinhas de 0,9m, não sendo utilizado adubação na semeadura, devido as áreas serem arrendadas.

Em ambos os talhões, utilizou-se o conjunto mecanizado composto por um trator modelo Massey Ferguson 620, 4x2 tração dianteira auxiliar (TDA), com 77,3 kW (105 cv) de potência no motor e arrancador-invertedor modelo AIA BM-2 Dumont. O conjunto se deslocou a 4,5 km h<sup>-1</sup>, operando na marcha 3ª B, com 1600 rpm de rotação no motor.

Os talhões avaliados pertenciam a mesma propriedade, entretanto, com diferentes formatos (Tabela 1). O talhão 1 assemelhava-se a um trapézio, o talhão 2 a um retângulo (Figura 1).

Figura 4. Áreas percorridas pelo conjunto mecanizado trator-arrancador-invertedor nos talhões 1 e 2.



Fonte: BaseCamp®.

Tabela 1. Características dimensionais dos talhões avaliados. Fonte: BaseCamp®.

Talhão	Formato	Área (ha)
1	Trapezoidal	3,21
2	Retangular	4,44

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 são apresentados os resultados da análise dos tempos, movimentos e de eficiência no arranquio mecanizado de amendoim. Nota-se que no talhão retangular a capacidade de campo operacional e a capacidade de campo efetiva foram maiores que no talhão trapezoidal. O formato e comprimento desse talhão permitiu uma melhor logística para execução do arranquio mecanizado de amendoim.

Ao analisar a eficiência de colheita nos talhões verifica-se diferença de 12,4%. Essa diferença pode ser explicada devido o comprimento das linhas do talhão 1 serem maiores em relação ao outro. Isso faz com que o tempo em operação seja maior, aumentando-se a eficiência da colheita. Vale ressaltar que o percentual representa o tempo em que o arrancador-invertedor encontraram-se efetivamente em operação, descontando-se os tempos de manobras, manutenção e problema frente ao tempo total.

A eficiência gerencial indica a influência dos tempos sobre a operação de colheita, na qual se pode verificar o melhor resultado para o talhão 1 (77,80%) seguido pelo talhão 2 (64,10%). Estes resultados se devem pelo maior tempo de parada do talhão1 em relação ao talhão 2.

Ao se comparar os dois talhões em relação ao tempo de manobra ( $T_m$ ), nota-se que o talhão 1 apresentou o maior valor 6,66%.

Ao comparar os dois talhões em relação ao tempo de parada, nota-se que o talhão 1 apresentou o menor valor (22,10%), enquanto que o talhão 2 apresentou valor de 35,92%. Os elevados índices nos tempos de paradas, independente do formato do talhão, está relacionada as

peculiaridades da colheita de amendoim, em comparação com outros grãos, visto que é frequente a parada do conjunto mecanizado para efetuar limpeza das facas de corte, embuchamentos causados por diversos fatores e a manutenção e limpeza dos enleiradores. Essas paradas são fundamentais para garantir um processo de arranquio de melhor qualidade, contudo, refletem negativamente nos índices de capacidade da operação.

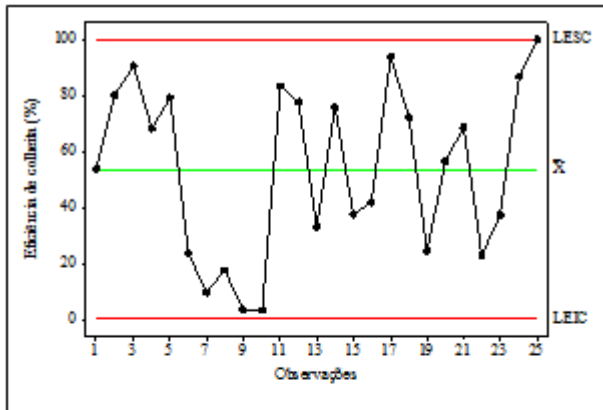
Tabela 3. Análise dos tempos, movimentos e eficiências do arranquio mecanizado de amendoim em diferentes talhões.

Variáveis	Talhões	
	Trapezoidal (1)	Retangular (2)
CcE (ha h <sup>-1</sup> )	1,22	2,97
CcO (ha h <sup>-1</sup> )	0,87	1,74
Ef (%)	71,1	58,7
Eg (%)	77,8	64,1
Tm (%)	6,66	5,37
Tp (%)	22,1	35,92

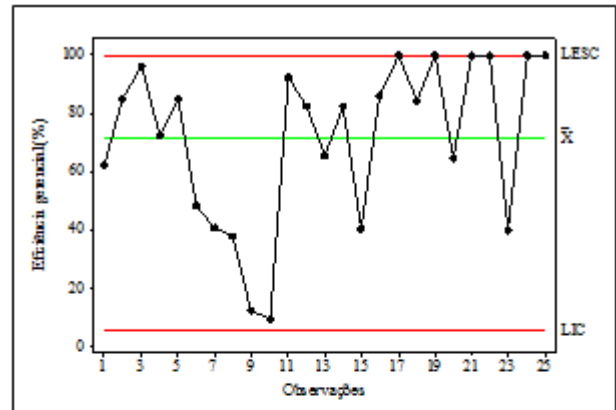
CcE – capacidade de campo efetiva; CcO – capacidade de campo operacional; Ef – eficiência de colheita; Eg – eficiência gerencial; Tm – tempo de manobra; Tp – tempo perdido.

A partir de uma análise mais conclusiva, com o auxílio do controle estatístico de processo, nota-se nas cartas de controle de valores individuais para as variáveis eficiências de colheita e gerencial, tempos de manobra e tempos perdidos do talhão 1, as figuras 2a, 2b e 2d se mostraram dentro dos limites de controle, o processo é considerado como estável. Constata-se na figura 2c, dois pontos (19 e 22) de operação fora dos limites de controle, que são inteiramente ligados ao tempo de manobras, devido a fatores ambientais, mais precisamente, carregadores estreitos.

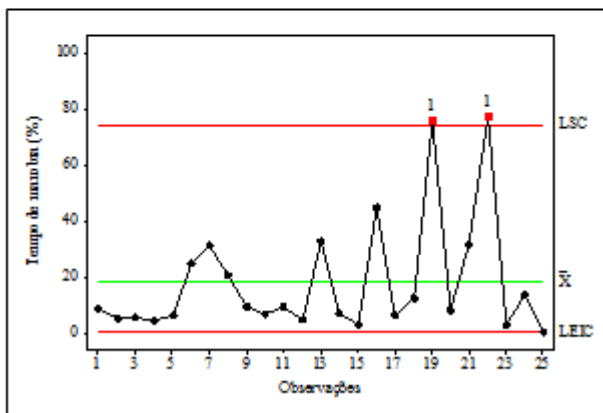
Figura 2. Cartas de controle de valores individuais do talhão 1 para: (a) Eficiência de colheita; (b) Eficiência gerencial; (c) Tempo de manobra; (d) Tempo perdido.



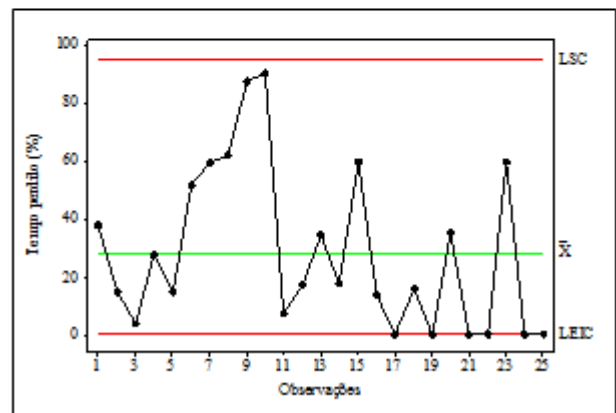
(a)



(b)



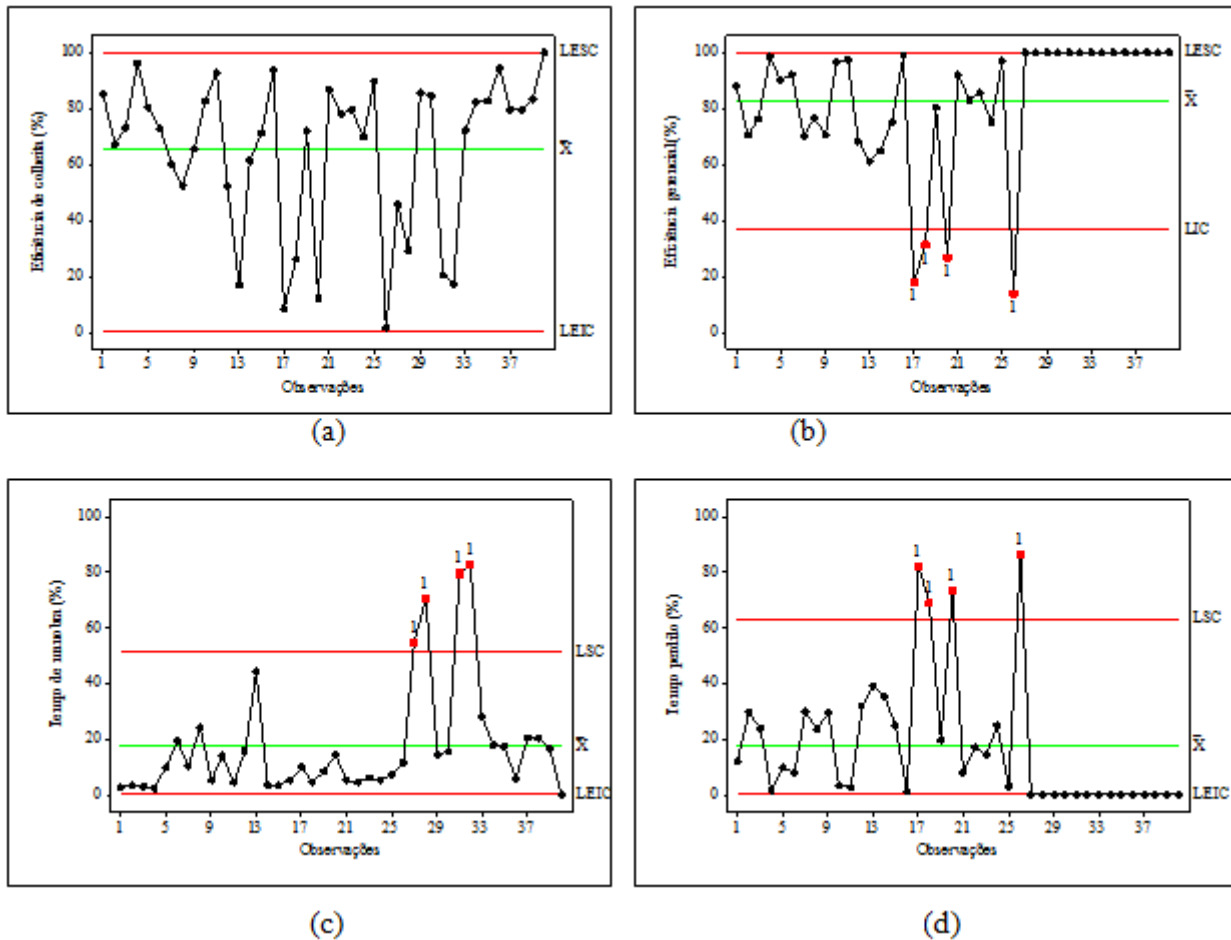
(c)



(d)

Para o talhão 2, a figura 3a a eficiência de colheita todos os pontos foram demonstrados dentro dos limites de controle, sendo considerado um processo estável e/ou dentro dos limites de controle. Nota-se na figura 3b a eficiência gerencial resultou em quatro pontos fora dos limites de controle (pontos 17, 18, 20 e 26), tendo como motivo principal ao fator máquina, sendo causado um embuchamento no equipamento. Para a figura 3c, 4 observações (pontos 28, 29, 31 e 32) encontraram-se acima do limite superior de controle, sendo explicados devido ao carreador ser estreito e no talhão a frente do que estava sendo realizado esta operação, haver outra cultura, dificultando a manobra do conjunto mecanizado. A figura 3d, teve 4 pontos acima do limite superior de controle (pontos 17, 18, 20 e 26), sendo causados para realizar a limpeza do equipamento, que por sua vez, estava “embuchada”.

Figura 3. Cartas de controle de valores individuais do talhão 1 para: (a) Eficiência de colheita; (b) Eficiência gerencial; (c) Tempo de manobra; (d) Tempo perdido.



## 4 CONCLUSÃO

Os formatos dos talhões influenciaram no desempenho da operação mecanizada de arranquio do amendoim, apresentando os melhores resultados para o talhão 1 por menores tempos de manobra, de operação, resultando em uma melhor eficiência.

O talhão 2, apresentou maior tempo de manobra devido ao carreador estreito e ao fator máquina e embuchamento.

Por meio das cartas de controle, os resultados para eficiência de arranquio e gerencial calculados apresentamos melhores resultados para o talhão 1, e também menor número de pontos fora de controle.

## REFERENCIAS

CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M.; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa**

**Agropecuária Brasileira**, Brasília v.37, n.8, p.1.151-1.159, 2002.

GONÇALVES, J. A.; PEIXOTO, C. P.; LEDO, C. A. S. Componentes de produção de amendoim em diferentes arranjos espaciais no Recôncavo Baiano. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v.8, n. 2/3, p.801- 812, 2004.

KLAVER, P. P. C; GARCIA, R. C.; JUNIOR, J. F. V.; JUNIOR, C. D. Programa computacional para a determinação da capacidade operacional de máquinas agrícolas. **Revista Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 05, n. 01, p. 52 – 58, 2012.

LINHARES, M.; SETTE JÚNIOR, C. R.; CAMPOS, F.; YAMAJI, F. M. Eficiência e desempenho operacional de máquinas. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 212-219, 2012.

PRADO, R.M.; NATALE, W.; FURLANI, C.E.A. Manejo mecanizado de atividades para implantação de culturas. Jaboticabal: **Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola**, 2002. 99 p. (Série Engenharia Agrícola)

SEGATO, S. V.; PENARIOL, A. L. A cultura do amendoim em áreas de reforma de canavial. In: Segato, S. V.; FERNANDES, C.; SENE PINTO, A. **Expansão e renovação de canavial**. Piracicaba: Editora CP 2, 2007. p.85-116.

SILVEIRA, G. M. da; YANAI, K.; KURACHI, S. A. H. Determinação da eficiência de campo de conjuntos de máquinas convencionais de preparo do solo, semeadura e cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 220-224, 2006

# VARIABILIDADE DA ALTURA DO CORTE DE BASE UMA COLHEDORA MULTILINHAS DE CANA-DE-AÇÚCAR EM RELAÇÃO À DECLIVIDADE DO TERRENO

*Variability of base cut height of a multi-row sugar cane harvester in relation to the slope of the terrain*

Luan Pereira de Oliveira<sup>1</sup>, Rafael De Graaf Correa<sup>2</sup>, Artur Sverzut da Silva Tufi<sup>3</sup>, Danilo Tedesco de Oliveira<sup>4</sup>, Leonardo Bernache<sup>5</sup>, Marco Antonio Vrech de Souza<sup>6</sup>, Matheus Anaan de Paula Borba<sup>7</sup>, Rouverson Pereira da Silva<sup>8</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6,7,8</sup> UNESP – FCAV, Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n 14884-900 – Jaboticabal, SP, Brasil, [luanoliveirax@gmail.com](mailto:luanoliveirax@gmail.com); [rafadegraad@gmail.com](mailto:rafadegraad@gmail.com); [arturtufi@hotmail.com](mailto:arturtufi@hotmail.com); [danielotedesco@outlook.com](mailto:danielotedesco@outlook.com); [leonardobernacheobj@hotmail.com](mailto:leonardobernacheobj@hotmail.com); [marcovrech@hotmail.com](mailto:marcovrech@hotmail.com); [matheuspborba@gmail.com](mailto:matheuspborba@gmail.com); [rouverson@fcav.br](mailto:rouverson@fcav.br)

## RESUMO

Um dos maiores problemas provenientes da colheita mecanizada de cana-de-açúcar são as perdas que são causadas por diversos fatores ligados ao processo. As perdas do tipo toco e pedaço fixo estão diretamente ligadas ao mecanismo de corte basal da colhedora, pois quando o mesmo não segue corretamente o perfil do solo pode causar cortes muito além da altura estipulada. Diante disso, objetivou-se por meio deste trabalho avaliar a variabilidade espacial da altura de corte de uma colhedora de duas linhas em relação à declividade do terreno. Foram gerados mapas interpolados por IDW e foram utilizadas ferramentas de Controle Estatístico de Processo (CEP), sendo avaliados pontos coletados em linhas de colheita (A e B) ao longo do tempo de operação. O indicador de qualidade avaliado foi a altura de corte considerando-se a declividade do terreno. Concluiu-se que a declividade influenciou a variabilidade do indicador de qualidade altura de corte.

**Palavras-chave:** Colheita mecanizada. Corte basal.

## ABSTRACT

One of the major problems arising from mechanized harvesting of sugarcane is the losses that are caused by several factors linked to the process. The stump and fixed piece losses are directly connected to the harvester's basal cutting mechanism, because when it does not follow the soil profile correctly it can cause cuts well beyond the cutting height stipulated by the plant. Therefore, the objective with this work was to evaluate the variability of cutting height of a two-row harvester in relation to the terrain slope. For this purpose, maps were interpolated by IDW were generated and Statistical Process Control (CEP) tools were used, and points collected in harvest lines (A and B) were evaluated throughout the operation time. The quality indicator evaluated was the cutting height in relation to the terrain slope. It was concluded that the slope influenced the variability of the cutting height quality indicator.

**Keywords:** Mechanized harvester. Basal cut.

## 1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar se destaca nos cenários nacional e internacional por ser matéria-prima de produtos necessários para o dia a dia das pessoas como o Açúcar e o Etanol. O Brasil para a safra 2016/17 contará com uma área estimada de 9,05 milhões de hectares, terá uma produção de cerca de 657,18 milhões de toneladas, com uma redução de aproximadamente 1,3% em relação à safra anterior (CONAB, 2017)

De acordo com Reis (2009), o aumento na mecanização da colheita de cana-de-açúcar ocorreu no início do século XXI com a proibição da queima do canavial antes da colheita e, com o aumento da colheita mecanizada, houve a diminuição da precisão e acurácia da altura de corte basal, que antes era efetuada manualmente. A altura do corte de base é um parâmetro importante, pois, de acordo com Cristofolletti Junior (2012), o teor de sacarose e sais minerais aumenta em direção a base do colmo. Sendo assim, quanto menor a altura de corte mais matéria prima em

forma de sacarose é enviada para a usina.

Partindo desse pressuposto, com a hipótese de que a declividade do terreno pode influenciar a variabilidade da altura de corte na colheita mecanizada de cana-de-açúcar, objetivou-se por meio deste trabalho avaliar a variabilidade da altura de corte de uma colhedora de duas linhas em relação à declividade do terreno.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma área agrícola na região de Guariba – SP, Brasil, nas proximidades das coordenadas geográficas: 21° 15' 17" S, 48° 19' 20" W, com altitude média de 605 metros. A variedade de cana-de-açúcar cultivada foi a CTC 14 com produtividade média esperada da área colhida de 110 t ha<sup>-1</sup>. A colheita da cana-de-açúcar foi realizada por meio de uma colhedora CASE IH A8800 – *Multi-Row*, motor Cummins Case IH C9 com 263 kW (358 cv) de potência nominal, rodados de esteiras, transmissão hidrostática, operando durante o experimento com velocidade média de 1,5 km h<sup>-1</sup>, colhendo duas linhas simultaneamente (linha a e linha b), durante os períodos diurno e noturno. O mecanismo de corte basal dessa máquina é composto por 2 discos que apresentam 12 facas em suas extremidades, totalizando 24 facas, sendo utilizadas nesse trabalho facas normais sem revestimento.

O delineamento utilizado seguiu as premissas do Controle Estatístico de Processo (CEP) com coleta de amostras ao longo do tempo de operação. Os pontos foram coletados após a passagem da colhedora a cada 100 m de distância, sendo coletados 5 pontos considerando-se sempre as linhas localizadas na parte superior e inferior do terreno como linhas A e B, respectivamente, independente do sentido de passada. Os pontos amostrais foram definidos por meio da utilização de armações de 0,25m<sup>2</sup> e foram coletados 10 pontos por passada colhedora sendo 5 pontos na linha A e 5 pontos na linha B, totalizando 40 pontos por talhão.

Para o cálculo da declividade do terreno entre os lados A e B de cada passada da colhedora, os dados da elevação dos pontos foram retirados do GPS Garmin 60CSX por meio do software Google Earth<sup>®</sup> e foi utilizada a equação (1):

$$D = \frac{EV}{EH} * 100 \quad (1)$$

Em que;  
EV – Elevação;  
EH – Distância entre os pontos.

A partir da equação (1) chegou-se aos valores de declividade (tabela 1).

Tabela 1 - Declividade entre as linhas A e B do talhão.

Linha	Distância entre os pontos (m)	Declividade (%)
Linha 1 (Lado B a A)	1,5	2,5
Linha 2 (Lado B a A)	1,5	2,5
Linha 3 (Lado B a A)	1,5	2,5
Linha 4 (Lado B a A)	1,5	2,5

Para a avaliação da altura de corte foi utilizada uma armação com área amostral de 0,25m<sup>2</sup>, sendo contabilizados todos os colmos presentes nesta área, para cada soqueira avaliada, tanto para a linha A quanto para a linha B do talhão. A altura do corte basal foi mensurada com o



auxílio de uma régua graduada, medindo-se a distância do solo até o ponto em que a faca atingiu o colmo, causando o corte. As medidas foram realizadas após a passagem da máquina e limpeza da área ao redor das soqueiras, e quando o corte ocorreu abaixo da superfície do solo, as alturas foram consideradas iguais à zero, ou seja, o corte foi considerado como realizado na superfície do solo.

Juntamente a coleta de dados no campo, foram coletados pontos com GPS Garmin 60CSX, com sistema de coordenadas em UTM e datum WGS84, foram gerados mapas interpolados pela ponderação do inverso da distância (IDW), ponderado ao quadrado por meio do software Surfer 9<sup>®</sup>.

Foi gerada a estatística descritiva por meio do software Minitab<sup>®</sup>, calculando a média, desvio padrão, coeficiente de variação, coeficientes de assimetria e curtose. De acordo com Guimarães (2001), o coeficiente de assimetria ( $C_s$ ) indica o afastamento da variável em relação a um valor central. Este índice serve para caracterizar como e quanto à distribuição de frequência se afasta da simetria, sendo que:  $C_s > 0$  tem-se uma distribuição assimétrica à direita; se  $C_s < 0$  a distribuição é assimétrica à esquerda; e se  $C_s = 0$  a distribuição é simétrica. O índice de curtose ( $C_k$ ) mostra a dispersão (achatamento e alongamento) da distribuição em relação a um padrão, geralmente a curva normal. Voltarelli (2013) indica que o valor de distribuição simétrica no programa Minitab<sup>®</sup> é  $C_k = 0$ . A curtose recebe a seguinte classificação:  $C_k = 0$  indica distribuição mesocúrtica, normal; se  $C_k < 0$  a distribuição é platicúrtica (achatada) e se  $C_k > 0$  a distribuição é leptocúrtica (alongada ou afilada).

As cartas de controle são gráficos que ilustram o aspecto a ser estudado, com amostras coletadas ao longo do tempo e espaço (VOLTARELLI et al., 2013). As cartas apresentam o limite superior de controle (LSC) e o limite inferior de controle (LIC), que são utilizados para análise dos dados presentes nas cartas (equações 4 e 5):

$$LSC = \bar{X} + 3. \sigma \quad (4)$$

$$LIC = \bar{X} - 3. \sigma \quad (5)$$

Em que,

LSC - limite superior de controle;

LIC - limite inferior de controle;

$\bar{X}$  - média;

$\sigma$  - desvio-padrão.

Um ponto fora dos limites de controle indica que há variação não aleatória nos resultados, variação que ocorre devido a uma causa especial e o processo é dado como instável ou também chamado de fora de controle, carecendo a investigação relacionado aos fatores 6 M's (Máquina, Mão-de-obra, Material, Meio ambiente, Medidas e Medição), em busca da possível eliminação dos pontos responsáveis por essa variação.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pode-se observar pela análise dos dados obtidos (Tabela 2), que há valores muito altos para o coeficiente de variação (CV), e desvio padrão ( $\sigma$ ) para altura de corte, mostrando que o processo não foi homogêneo e com alto grau de variação para as alturas de corte, em relação à declividade do terreno. O desvio padrão pode ser definido como a medida de dispersão que leva em consideração todos os dados, considerando os desvios dos valores em relação à média (Pimentel-Gomes e Garcia, 2002).

Para o indicador de qualidade altura de corte, verifica-se que o coeficiente de assimetria tanto do lado A quanto do lado B da linha de colheita, são maiores que zero, indicando uma distribuição assimétrica à direita (positiva). Segundo Pimentel Gomes e Garcia, (2002) valores que apresentam  $C_s > 1,0$  apresentam elevado grau de assimetria. O coeficiente de curtose também apresentou valores maiores que zero para ambos os lados da linha, indicando distribuição

leptocúrtica da curva em relação a curva de distribuição normal.

Tabela 2 - Indicadores de qualidade para altura de corte nos lados A e B da linha de corte da colhedora Case IH Multi-Row A8800 em relação à declividade.

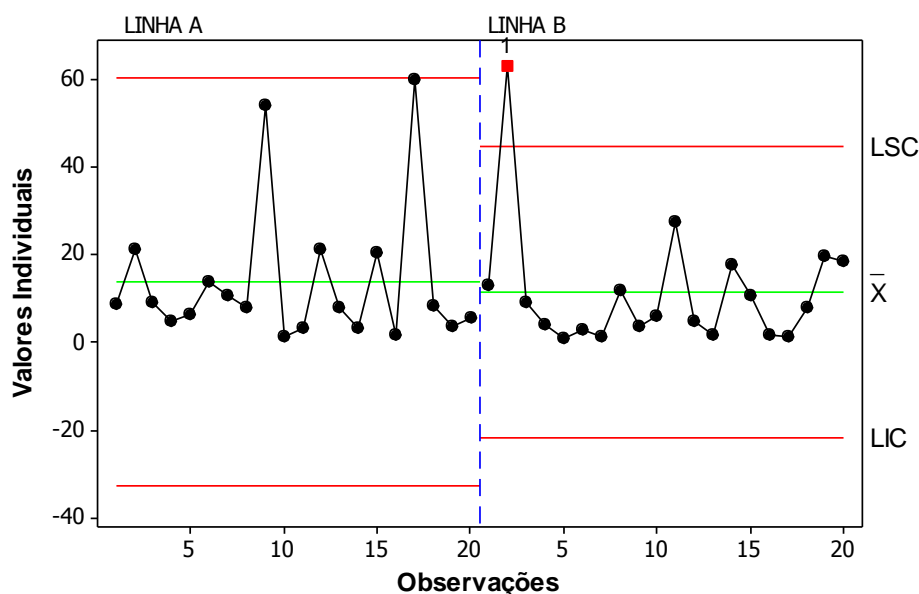
Indicadores de Qualidade	Linha de Corte	$\bar{X}$	$\Sigma$	CV	Cs	Ck
Altura de Corte	Lado A	13,8	16,0	115,75	2,22	4,45
	Lado B	11,5	14,3	124,35	2,75	9,14

$\bar{X}$  - média geral;  $\sigma$  - desvio padrão; CV (%) - Coeficiente de variação; Cs - Coeficiente de assimetria; Ck - Coeficiente de curtose.

O indicador de qualidade altura de corte (Figura 1), não apresentou nenhum ponto fora de controle do lado A das linhas, porém, no lado B das linhas, houve um ponto fora dos limites superior e inferior de controle (LSC e LIC). Esse ponto fora de controle pode estar relacionado a um dos fatores 6M's (no caso deste experimento, Meio ambiente, Mão-de-obra, Máquina ou Medição). Nota-se também que apesar do lado B da linha apresenta um ponto fora do limite de controle, ele também apresenta menor variabilidade em relação ao lado A da linha, mostrando que em relação à declividade do terreno, o lado B apresenta melhores resultados, evidenciando que a declividade pode acarretar perdas com a utilização de colhedoras de duas linhas.

Analisando a carta de controle de valores individuais para as alturas de corte, pode-se notar que os valores acima da altura ideal de corte, podem prejudicar a qualidade da colheita mecanizada, em virtude destas partes de colmos deixadas a campo se constituírem em perdas do tipo toco ou pedaço fixo, sendo nestas concentradas a maior quantidade da sacarose da cana-de-açúcar. Salvi et al. (2007), ao avaliarem um dispositivo de controle automático da altura de corte, relataram que este indicador de qualidade não é capaz de manter-se dentro dos níveis de especificações exigidos pelos padrões de qualidade, ou de acompanhar de maneira satisfatória os desníveis e declividade do terreno.

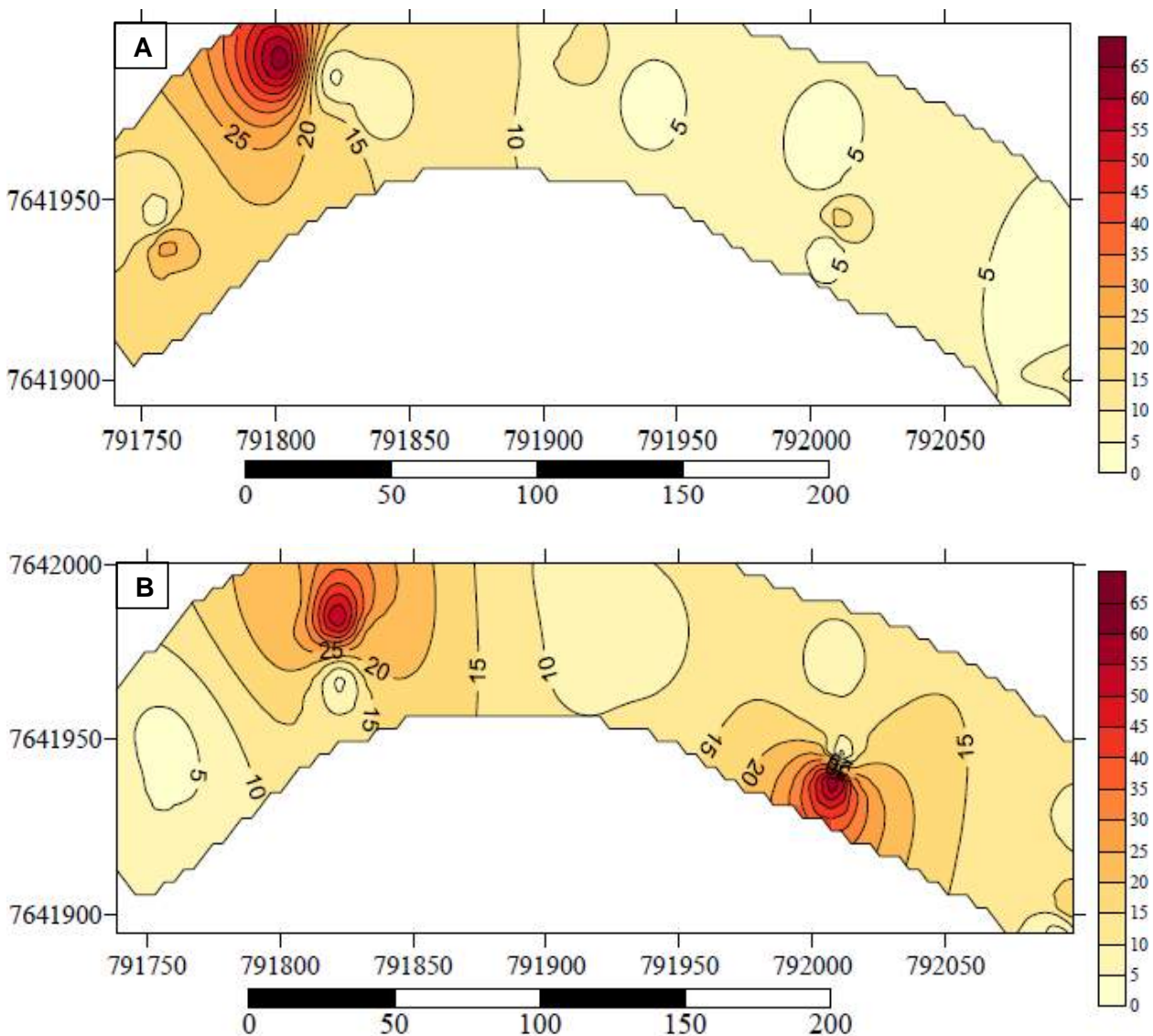
Figura 1 - Carta de controle de valores individuais para altura de corte



Legenda: LSC = limite superior de controle;  $\bar{X}$  = média; LIC = limite inferior de controle.

Nota-se por meio do mapa de isolinhas do talhão (Figura 2) que a linha A, que é a linha mais afetada pela declividade, apresenta valores maiores de altura de corte, o que infere em perdas do tipo toco e pedaço fixo, auferindo em mais perdas de matéria prima para a usina. Salvi et al., (2007), relatam que as altas variabilidades nas alturas de corte estão diretamente ligadas ao sistema de corte basal, que não consegue acompanhar a declividade do terreno, sendo necessária melhorias no sistema de colheita para melhorar o processo e obter alturas de corte mais uniformes.

Figura 2: Mapa do talhão interpolado para alturas de corte.



Legenda: Figura 2.A = Linha B; Figura 2.B = Linha A.

## 4 CONCLUSÕES

A declividade entre as linhas de cana-de-açúcar influenciou para a variabilidade na altura

de corte dos colmos.

## REFERÊNCIAS

- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar**, Segundo Levantamento, Brasília, abril. 2017, Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_04\\_19\\_11\\_27\\_36\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-\\_4o\\_lev\\_-\\_16-17.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_04_19_11_27_36_boletim_cana_portugues_-_4o_lev_-_16-17.pdf)
- CRISTOFOLETTI JR, S. C. **Fisiologia da emergência e perfilhamento em mini-toletes de variedades de cana-de-açúcar**. 2012. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. Uberlândia: UFU, 2001. 48 p. Apostila.
- PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.
- REIS, G. N. **Perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar crua em função do desgaste das facas do corte de base**. 2009. 89 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2009.
- SALVI, J. V. MATOS M. A.; MILAN. M. Avaliação do desempenho de dispositivo de corte basal de colhedora de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.1, p.201-209, 2007.
- VOLTARELLI, M.A.; SILVA, R.P.; ROSALEN, D.L.; ZERBATO, C.; CASSIA, M.T. Quality of performance of the operation of sugarcane mechanized planting in day and night shifts. **Australian Journal of Crop Science**, v. 7, n. 9, p. 1396-1406, 2013.

## VELOCIDADE DE SEMEADURA E SUA INFLUÊNCIA SOBRE A PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO

### *Planting speed and its influence on productivity in corn*

Lara Marie Guanais Santos<sup>1</sup>, Ingra Nantes Vasconcelos<sup>1</sup>, Edson Massao Tanaka<sup>1</sup>, Edson Felipe Kolachinski<sup>1</sup>, Rafael de Graaf Correa<sup>2</sup>, Marco Antônio Vrech<sup>2</sup>, Luan Pereira de Oliveira<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Estudos de Colheita Mecanizada – FATEC Pompeia, Av. Shunji Nishimura, 605, 17.580-000, Pompeia – SP, Brasil, [laramarie\\_guanais@hotmail.com](mailto:laramarie_guanais@hotmail.com), [Ingranates@hotmail.com](mailto:Ingranates@hotmail.com), [tanaka@fatecpompeia.edu.br](mailto:tanaka@fatecpompeia.edu.br), [edson.f.kolachinski@monsanto.com](mailto:edson.f.kolachinski@monsanto.com)

<sup>2</sup> Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola – LAMMA, UNESP/FCAV, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, 14.884-900, Jaboticabal – SP, Brasil, [rafadegraaf@gmail.com](mailto:rafadegraaf@gmail.com), [marcovrech@gmail.com](mailto:marcovrech@gmail.com), [luanoliveirax@gmail.com](mailto:luanoliveirax@gmail.com)

### RESUMO

No plantio mecanizado de milho, vários fatores que podem interferir no estande final da cultura, conseqüentemente, na produtividade e no que mais importa para o agricultor, nos lucros. E uma das principais variáveis é de acordo com a velocidade de plantio. O presente trabalho apresenta variáveis importantes na semeadura do milho, como a deposição de sementes, profundidade de deposição de semente, distribuição de sementes de milho por metro linear e produtividade em diferentes velocidades de semeadura. O experimento com três diferentes velocidades de plantio,  $V1 = 5 \text{ km h}^{-1}$ ,  $V2 = 6 \text{ km h}^{-1}$  e  $V3 = 7 \text{ km h}^{-1}$ , para cada velocidade foram realizadas 4 repetições, totalizando 12 parcelas com 3 amostragens duas linhas de 5 metros para cada parcela, de tal modo que de acordo com os parâmetros analisados com a velocidade de semeadura, coeficiente de variação da produtividade, profundidade real de plantio, foi verificado qual velocidade de plantio proporcionou maiores benefícios.

**Palavras-chave:** Rendimento operacional. *Zea mays*. Produtividade

### ABSTRACT

In maize mechanized planting, several factors that can interfere in the final stand of the crop, consequently, in the productivity and what matters most to the farmer, in the profits. And one of the main variables is according to the speed of planting. The present work presents important variables in maize sowing, such as seed deposition, depth of seed deposition, distribution of maize seeds per linear meter and productivity at different sowing speeds. The experiment with three different planting speeds,  $V1 = 5 \text{ km h}^{-1}$ ,  $V2 = 6 \text{ km h}^{-1}$  and  $V3 = 7 \text{ km h}^{-1}$ , four replications were performed for each velocity, totaling 12 plots with 3 samplings two lines of 5 meters for each plot, so that according to the parameters analyzed with sowing speed, coefficient of variation of productivity, real depth of planting, it was verified which planting speed provided greater benefits.

**Keywords:** Operating income. *Zea mays*. Productivity.

## 1 INTRODUÇÃO

O milho no Brasil é semeado de duas maneiras diferentes, o de primeira safra e o de segunda safra. Na semeadura de primeira safra, ocorrida entre os meses de setembro a dezembro e colhida entre janeiro e maio, o milho disputa espaço com a soja no sul e sudeste do Brasil, principais regiões produtoras desse milho no país e representa 38,44 % da safra (CONAB, 2015).

De acordo com Silva (2004), a produtividade do milho pode ter influência de alguns fatores, fertilidade do solo, distribuição longitudinal das plantas (arranjo de plantas), população de plantas, condições de manejo, cultivar e práticas culturais. Conforme Argenta et al. (2001) a distribuição longitudinal de plantas está entre as práticas mais importantes, pois interfere na interceptação da radiação solar pela planta, conseqüentemente influencia no aumento de rendimento de grãos, possibilitando a alteração do estande conseqüentemente a distribuição de

plantas na linha, espaçamento entre linhas e densidade de plantas.

Um dos fatores que influenciam na população de plantas é a distribuição de sementes é a velocidade de plantio, podendo alterar a população inicial e final de plantas ou de sementes, alterando na produtividade e na dosagem de sementes (SILVA et al., 2004).

Segundo FURLANI et al. (1999), quando a velocidade de semeadura passou de 3 para 5 km h<sup>-1</sup>, o estande final de plantas e a produtividade de grãos foram diminuídas. O aumento da velocidade de semeadura de milho, influenciou na uniformidade de distribuição longitudinal de sementes, porém não afetou a produtividade de grãos (FEY et al., 2000).

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência na qualidade do plantio, em função a variação da velocidade de plantio e seu impacto na variação da produtividade.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado na Fazenda Santana II, localizada em Itapeva, Região Sul do Estado de São Paulo, que se localiza nas coordenadas geográficas: latitude 23° 48' 45.84"S; longitude 48°57'03.63"O; numa altitude 705 metros em relação ao nível do mar. Com área total de 1,07 ha (Imagem 1), onde cada parcela possui aproximadamente 40 metros utilizado sistema de plantio direto.

Figura 1 - Imagem ilustrativa da área experimental.

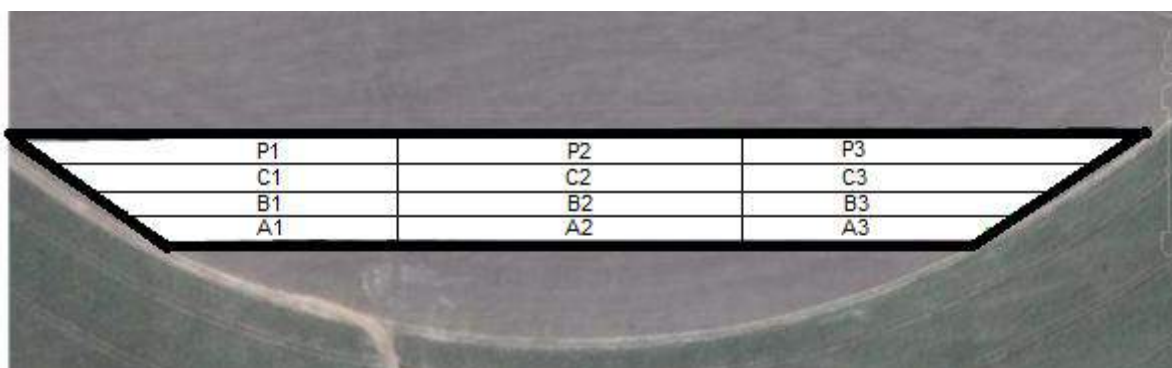


Tabela 1 - Quadro amostral, com a velocidade de plantio em cada parcela amostral, especificando a velocidade de plantio empregada a cada parcela.

Parcela	Velocidade
A1	5 km h <sup>-1</sup>
A2	6 km h <sup>-1</sup>
A3	7 km h <sup>-1</sup>
B1	5 km h <sup>-1</sup>
B2	6 km h <sup>-1</sup>
B3	7 km h <sup>-1</sup>
C1	5 km h <sup>-1</sup>
C2	6 km h <sup>-1</sup>
C3	7 km h <sup>-1</sup>
P1	5 km h <sup>-1</sup>
P2	6 km h <sup>-1</sup>
P3	7 km h <sup>-1</sup>

Na Tabela 2 , contém os resultados da análise química do solo. Para as análises químicas foram coletadas amostras na profundidade de 0-20 centímetros, oito pontos amostrais, compostos com 1 ponto central e 8 sub-amostras.

Tabela 2 – Resultado da análise química do solo dos pontos amostrais. Para cada análise, segue a identificação da parcela em que foi realizada a coleta, e a velocidade de semeadura adotada na mesma.

Identificação	Velocidade (km h <sup>-1</sup> )	Ponto	PHACL2	MO	P	K	CA	MG	SB	CTC	V %
A1	5	1	6,5	16	22	2,1	42	19	63	74	85
A2	7	2	6,2	15	17	1,4	35	12	48	61	79
B1	5	3	5,6	15	15	1,1	30	10	41	57	72
B3	7	4	6,4	16	31	1,0	51	19	71	82	87
C1	7	5	6,4	15	40	1,0	44	20	65	77	84
C3	5	6	4,8	16	21	1,7	24	5	31	59	52
P1	5	7	6,8	20	39	1,2	72	24	97	107	91
P3	7	8	6,5	21	26	1,7	44	11	57	68	83

**Fonte:** Laboratório de Análise Agronômica Fundação Shunji Nishimura, 2016.

O experimento realizado utilizou-se milho híbrido (MORGAN 30A37) em três velocidades de semeadura ( $V_1 = 5 \text{ km h}^{-1}$ ;  $V_2 = 6 \text{ km h}^{-1}$ ;  $V_3 = 7 \text{ km h}^{-1}$ ), quatro repetições, em parcelas aleatorizadas, foram avaliadas três amostras de duas linhas de cinco metros. Nas linhas de cinco metros foram contabilizadas o número de plantas e em cada linha foi retirada uma planta para verificar a real profundidade de semeadura e cada linha foi retirada as espigas para verificar a produtividade de cada parcela (Figura 2).

Figura 2 - Imagem ilustrativa do processo de medição da real profundidade de semeadura. Processos: corte de base das plantas, desenterro da planta com a pá, e feita a medição com uma fita métrica.



O conjunto de máquina e implemento utilizados foram, o trator Magnum 290 CV da marca CASE IH. A semeadora Guerra 7090PD Exacta Plus JUMIL, com 18 unidade de semeadura, e utilizando espaçamento de 50 cm. Utilizando um stand de setenta e cinco mil sementes.

A semeadora adubadora, foi calibrada para que o fertilizante fosse distribuído a 5 cm ao lado e abaixo das sementes, com as sementes depositadas a 5 cm de profundidade, esta profundidade de deposição das sementes foi definida pela umidade do solo. O fechamento do sulco da semeadora era do tipo roda duplo-angulada em "V".

Para análise de levantamento de sementes foi feito a contagem de plantas em cinco metros, após a contagem foi pego o número de plantas e dividido por cinco metros, assim

conseguindo o número de sementes por metro linear.

A colheita do milho foi realizada quando a cultura alcançou a maturação fisiológica, no caso do milho é quando a camada preta já está formada, ela ocorre da ponta da espiga para a base (EMBRAPA, 2006).

Após verificação da maturação fisiológica foi realizada a colheita manualmente do milho, onde cada parcela foi colhida e colocada num saco separadamente, para posterior análises de produtividade e umidade das parcelas colhidas, estas análises foram realizadas na Fatec Shunji Nishimura.

Todas as amostras colhidas foram processadas, o milho colhido foi debulhado, feito a pesagem do material e medida a umidade, para realização da conversão da umidade para 13%, (umidade ideal de colheita), assim após estas medições foi feito o levantamento da produtividade de cada parcela.

Foi utilizado um debulhador semi-mecanizado, uma balança e um medidor de umidade. Após a debulha das espigas de milho foi feito a pesagem e logo após foi feito a medição da umidade do milho conforme debulhado. Depois do levantamento da real umidade foi feito a conversão da umidade para 13%. A conversão foi feita através de um programa VAISALA da Universidade federal de Viçosa.

Foi utilizado o software R Studio para realizar a análise de variância da velocidade em relação a produtividade, utilizou-se o Delineamento de Blocos Casualizados (DBC).

Após feito todo o levantamento da produtividade, umidade, foi feito o processamento dos dados em laboratório, para obtenção de qual velocidade de plantio vai trazer maiores benefícios ao Agricultor.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 3, contém as médias dos resultados das coletas de milho obtidas de cada parcela com suas respectivas velocidades de plantio, sendo que cada parcela se obtinha 3 amostragens, que foram coletadas de duas linhas de plantio, medindo 5 metros cada linha de coleta.

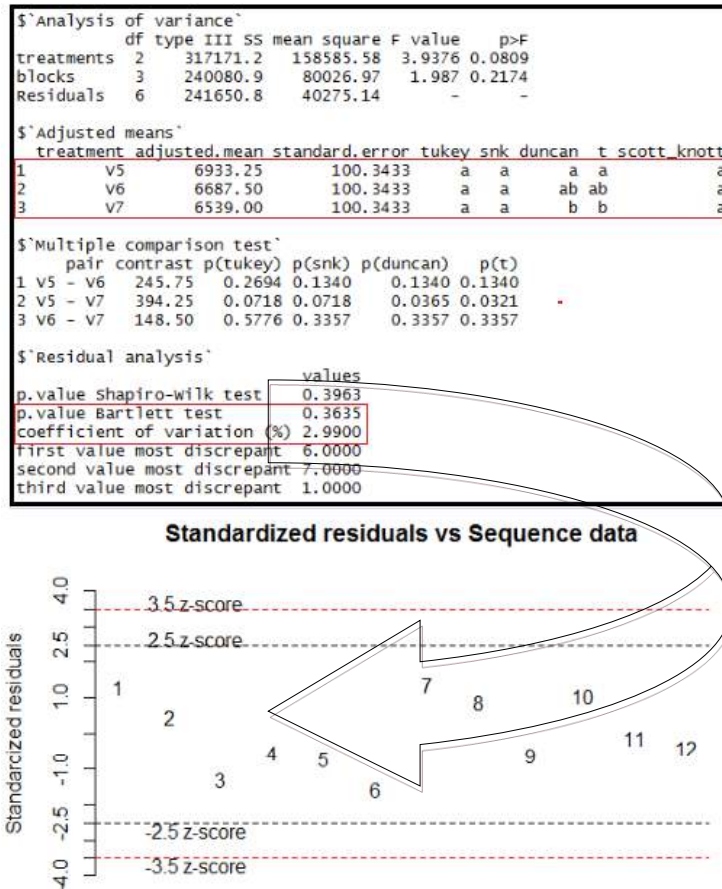
Tabela 3 – Médias das coletas de cada parcela. Para cada análise, segue a identificação da parcela, o peso de cada amostragem e a velocidade de semeadura adotada na mesma.

MÉDIA		
Parcela	Produtividade	Velocidade
A1	7353,333kg	5 km h <sup>-1</sup>
A2	6680,000kg	6 km h <sup>-1</sup>
A3	6810,000kg	7 km h <sup>-1</sup>
B1	6890,000kg	5 km h <sup>-1</sup>
B2	6343,333kg	6 km h <sup>-1</sup>
B3	6583,333kg	7 km h <sup>-1</sup>
C1	6403,333kg	5 km h <sup>-1</sup>
C2	6766,667kg	6 km h <sup>-1</sup>
C3	6623,333kg	7 km h <sup>-1</sup>
P1	6866,667kg	5 km h <sup>-1</sup>
P2	6830,000kg	6 km h <sup>-1</sup>
P3	6490,000kg	7 km h <sup>-1</sup>



No software R Studio realizou-se uma análise de variância da velocidade em relação a produtividade, utilizou o Delineamento de Blocos Casualizados (DBC). Conforme indica a Figura 5.

Figura 5 – Realizou-se uma análise de variância da velocidade em relação a produtividade, utilizando o Delineamento de Blocos Casualizados (DBC), no Software R Studio.



Analisando a Figura 5, demonstra que não ocorreu uma variância significativa para os testes estatísticos (tukey e scott knot) e observa-se também que os dados que foram analisados estatisticamente estão homogêneos segundo o teste de bartlett 0,3635. E demonstrou um coeficiente de variação de 2,9900.

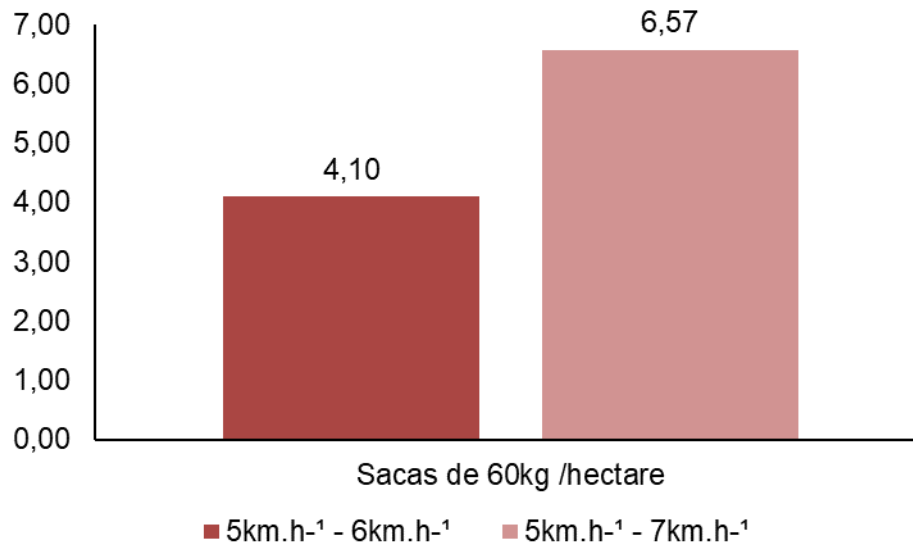
Tabela 4 – Porcentagem da diferença da produtividade e os valores em reais que a velocidade impacta (Valor de renda utilizada como comparativo foi R\$27,85).

Velocidade (km h <sup>-1</sup> )	Produtividade (kg)	Diferença (%)	Renda (R\$)
5	6933	100%	3218,07
6	6688	96%	3104,35
7	6539	94%	3035,19

Na tabela 4, observou-se que ocorreu uma diferença de 4% entre a velocidade de 5 km h<sup>-1</sup> e 6 km h<sup>-1</sup>. Ocorreu uma diferença de 6% entre a velocidade de 5 km h<sup>-1</sup> e 7 km h<sup>-1</sup>. O Gráfico 1 apresenta a diferença de produtividade em sacas de 60 kg, demonstrando a variação das velocidades 5km h<sup>-1</sup> – 6km.h<sup>-1</sup> e 5km.h<sup>-1</sup> – 7km.h<sup>-1</sup>. Esta redução foi observada por FURLANI et al.

(1999) em um de seus experimentos, onde o aumento de velocidade causou uma redução na produtividade, consequentemente na rentabilidade.

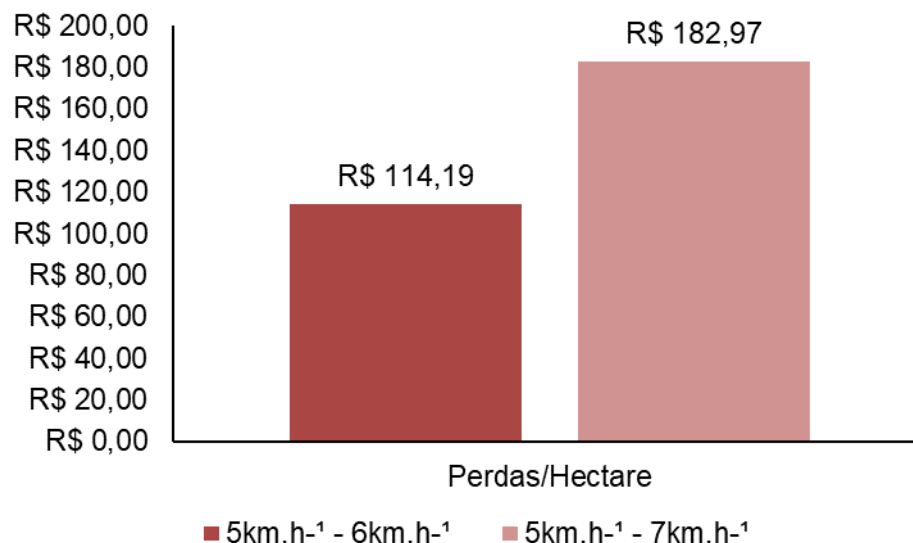
Figura 6- Diferença da produtividade em sacas de 60kg, tomando de referência de diferença a velocidade de  $5\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ .



Analisando o Figura 6, se observa-se uma das coisas mais importantes para o produtor rural que é a quantidade de dinheiro que ele está perdendo, com a variação das velocidades de semeadura, para variação de  $5\text{km}\cdot\text{h}^{-1} - 6\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  o produtor deixou de colher 4,10 sacos por hectare, para variação de  $5\text{km}\cdot\text{h}^{-1} - 7\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  o produtor deixou de colher 6,55 sacos por hectare.

O Gráfico 2 apresenta perdas por hectare, demonstrando o que se perde por hectare se utilizar a velocidade acima de  $5\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ , tomando de referência para análise de perdas a velocidade de  $5\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Custo da saca de 60 kg R\$27,85 obtido através da CEPEA ESALQ no dia 24/05/2017.

Figura 7 – Perdas em R\$ por hectare, e tomando de referência a velocidade de  $5\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  para análise de perdas.



Analisando o Figura 7, mostra a coisa mais importante para o produtor que é a quantidade de dinheiro que ele está perdendo, pela variação que foi empregado a semeadura, para variação de  $5\text{km.h}^{-1}$  –  $6\text{km.h}^{-1}$  o produtor deixou de ganhar 114,07 reais por hectare, para variação  $5\text{km h}^{-1}$  –  $7\text{km h}^{-1}$  o produtor deixou de ganhar 183,00 reais por hectare.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se concluir que a velocidade de  $5\text{km h}^{-1}$  obteve os melhores resultados nos parâmetros que foram abordados, sendo assim a melhor velocidade de deslocamento para o sistema de plantio.

## REFERÊNCIA

Argenta, G.; Silva, P.R.F.; Sangoi, L. **Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte**, 2001. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/22384/000304769.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 24 de março de 2017.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2015/2016**. Décimo terceiro levantamento Agosto/2016. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_08\\_09\\_12\\_08\\_19\\_boletim\\_graos\\_agosto\\_2016.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_08_09_12_08_19_boletim_graos_agosto_2016.pdf)>. Acessado: 17 de agosto de 2017.

FEY, E.; SANTOS, S.R.; FEY, A. **Influência da velocidade de semeadura sobre a produtividade de milho (Zea mays L.)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 2000, Fortaleza. Anais... Fortaleza: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2000. 1 CDROM. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v26n2/21.pdf>. Acessado em 10 de junho de 2017

FURLANI, C.E.A.; LOPES, A.; **Características da cultura do milho (Zea mays L.) em função do tipo de preparo do solo e da velocidade de semeadura**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.19, n.2, p.177-86, 1999. Acessado: 17 de agosto de 2017.

Silva, A.R.B. **Diferentes sistemas de manejo do solo e espaçamentos na cultura do milho (Zea mays L.)**. 2004. Xvii, 147 f. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, 2004. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/101961>>. Acesso em: 23 de março de 2017.

## Organização



Prefeitura Municipal  
Não-Me-Toque/RS



## SISTEMA FARSUL



## Patrocínio Ouro

MONSANTO



## Patrocínio Prata



## Patrocínio Bronze



## Apoiadores



Bayer CropScience



Editora CESPOL

ISBN 978-85-9274503-5