

VII SIMPÓSIO DE ATUALIZAÇÃO EM GRANDES CULTURAS

CULTIVOS DE INVERNO

De 22 a 24 de agosto de 2017 – CCR – UFSM

Fertilidade do solo para culturas de inverno

RENAN COSTA BEBER VIEIRA

renan.vieira@uffs.edu.br



Trigo – Safra 2016

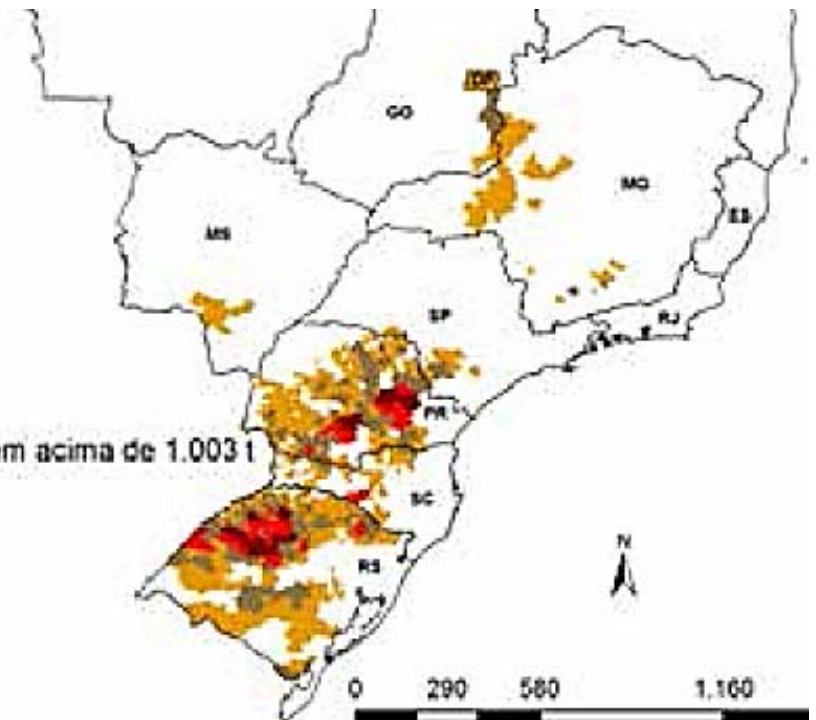
Região	Área plantada	Produção
	mil ha	mil t
RS	776,9	2.497,0
Sul	1.921,4	6.129,1
Brasil	2.118,4	6.726,8

37%

Legenda

Somente Municípios que produzem acima de 1.003 t

- 1.003 - 10.000
- 10.001 - 30.000
- 30.001 - 60.000
- 60.001 - 118.560
- Limite de Estado



Aveia grão – Safra 2016

Região	Área plantada	Produção
	mil ha	mil t
RS	218,3	659,3
Sul	276,5	805,3
Brasil	291,5	827,8

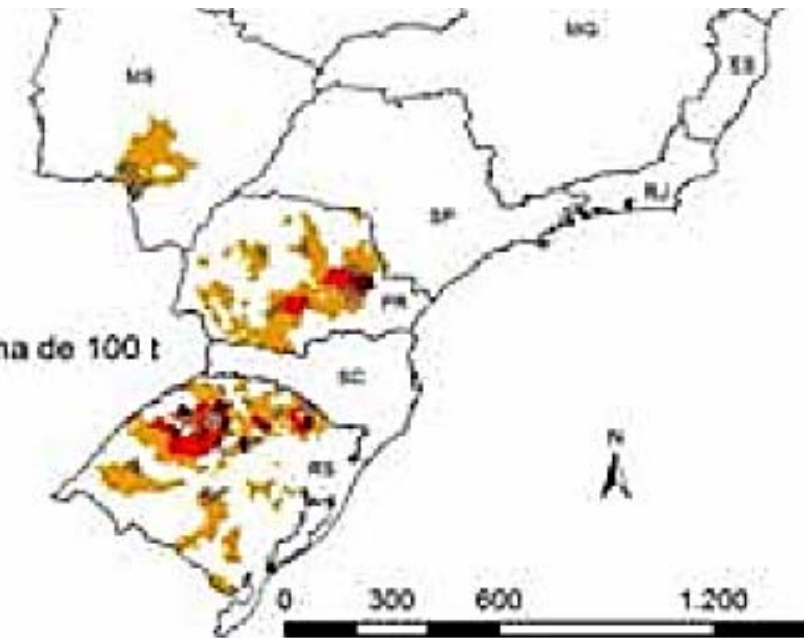
80%

Legenda

Somente Municípios que produzem acima de 100 t

- 100 - 2.000
- 2.001 - 6.000
- 6.001 - 10.000
- 10.001 - 21.599
- Limite de Estado

Fonte: Conab/IBGE.



Cevada – Safra 2016

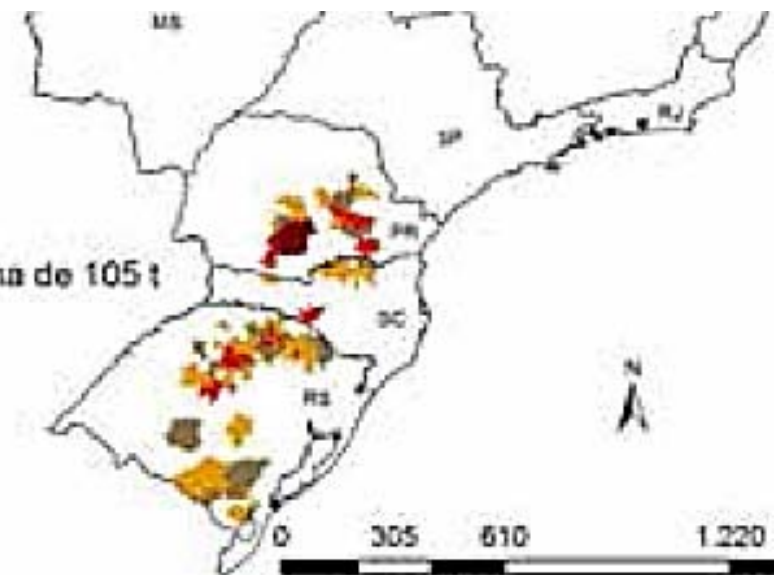
Região	Área plantada	Produção	
	mil ha	mil t	
RS	51,8	169,6	45%
Sul	95,6	374,8	
Brasil	95,6	374,8	

Legenda

Somente Municípios que produzem acima de 105 t



Fonte: Conab/IBGE.



Canola – Safra 2016

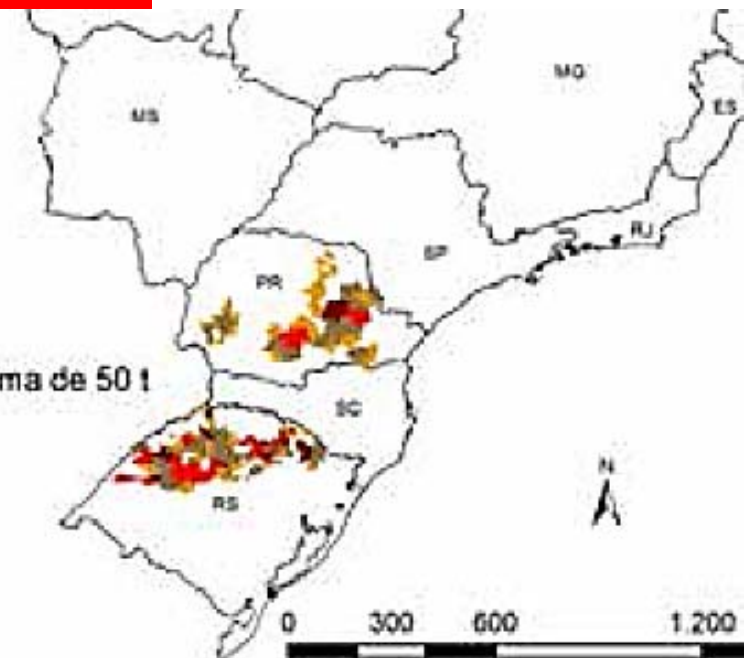
Região	Área plantada	Produção
	mil ha	mil t
RS	41,2	62,6
Sul	47,5	71,9
Brasil	47,5	71,9

87%

Legenda

Somente Municípios que produzem acima de 50 t

- 50 - 100
- 101 - 300
- 301 - 500
- 501 - 1,325
- Limite de Estado

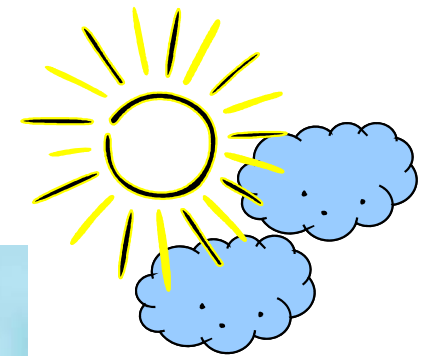
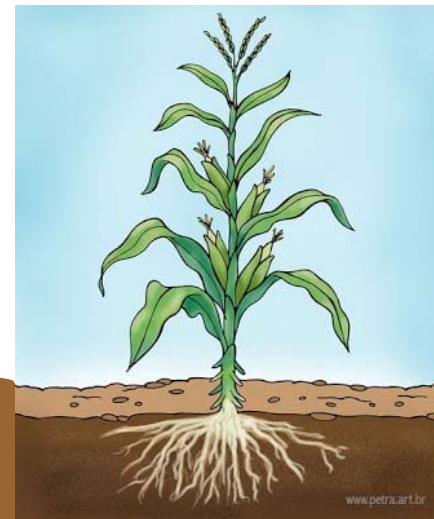
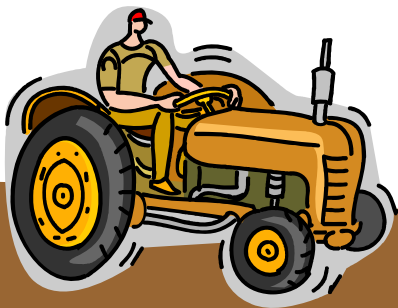


Fonte: Conab/IBGE.

✓ FERTILIDADE DO SOLO

Capacidade do solo de fornecer às plantas os nutrientes em quantidades e proporções adequadas e de manter a ausência de elementos tóxicos para o seu desenvolvimento.

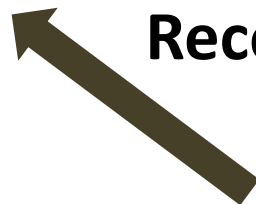
Interações: planta-solo-ambiente-manejo



Avaliação tradicional da fertilidade do solo



Recomendação



Disponibilidade



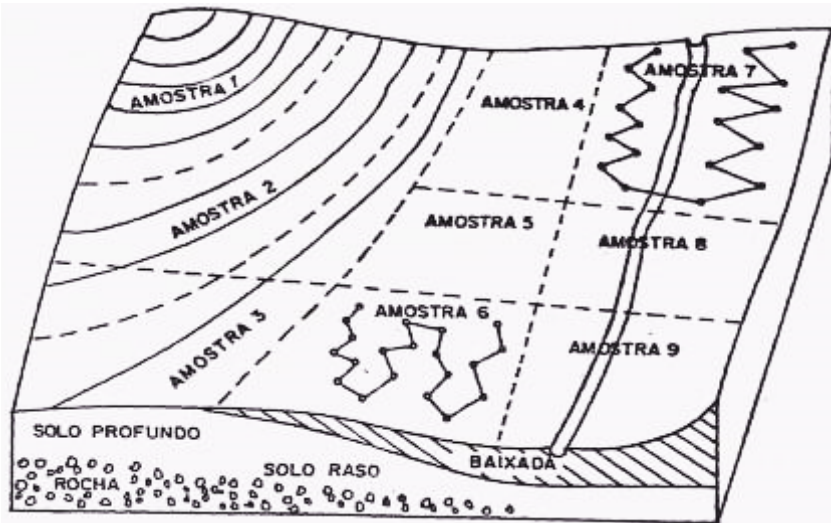
Adubação



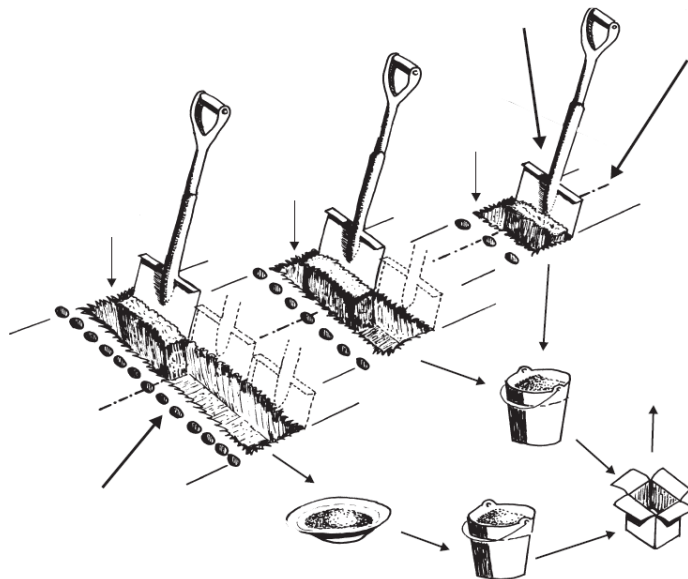
**Extração
Exportação**



Amostragem do solo



**Amostra
representativa**



Camada de amostragem do solo

Tabela 3.1. Sugestão de camadas de solo e amostradores de solo, para diferentes sistemas ou condição de cultivo

Culturas	Sistema de cultivo/Condição	Camada de solo (cm)	Amostrador
Grãos	Com revolvimento do solo ou para implantação do sistema plantio direto	0 a 20	Todos
	Plantio direto consolidado	0 a 10 e 10 a 20 ⁽¹⁾	Pá-de-corte ou trado calador no sentido transversal às linhas de adubação ⁽²⁾

⁽¹⁾ A amostragem separando as camadas de 0 a 10 e de 10 a 20 cm é necessária para o monitoramento eventual da acidez em subsuperfície e recomendação da calagem, conforme Capítulo 5;

⁽²⁾ Procedimento alternativo ao da pá-de-corte (ver figura 3.5);

Amostragem do solo vs diagnóstico

Prof	pH CaCl ₂	P	K	Ca	Mg	Al	CTC	V
cm		---- mg dm ⁻³ ----		----- cmol _c dm ⁻³ -----				%
0-20	4,8	13	55	1,6	0,8	0,0	6,5	39
0-10	5,2	23	66	2,7	1,5	0,0	8,2	54
10-20	4,4	2	51	0,9	0,5	0,4	6,4	24
0-5	5,4	22	74	3,4	2,2	0,0	9,5	61
5-10	4,7	9	66	1,7	1,1	0,2	8,1	37
10-15	4,5	4	55	1,2	0,6	0,4	7,4	26
15-20	4,4	2	43	0,8	0,5	0,4	6,1	23

Acidez do solo

Tabela 5.3. Critérios para a indicação da necessidade e da quantidade de corretivos da acidez para culturas de grãos

Sistema de manejo do solo ou cultura	Condição da área	Amostragem do solo (cm)	pH de referência	Tomada de decisão	Quantidade de calcário	Modo de aplicação
Convencional	Em todos os casos	0 a 20	6,0	pH < 5,5	1 SMP para pH _{água} 6,0	Incorporado ⁽²⁾
Plantio direto	Implantação do sistema	0 a 20		pH < 5,5	1 SMP para pH _{água} 6,0	Incorporado ⁽²⁾
	Sistema consolidado, sem restrições na camada de 10 a 20 cm	0 a 10 ⁽⁴⁾		pH < 5,5 ⁽¹⁾	¼ SMP para pH _{água} 6,0	Superficial ⁽⁵⁾
	Sistema consolidado, com restrições ⁽³⁾ na camada de 10 a 20 cm	10 a 20 ^{(4), (6)}		pH < 5,5 e Al ≥ 30%	1 SMP para pH _{água} 6,0 ⁽⁷⁾	Incorporado ^{(2),(3)}
Arroz irrigado	Semeadura em solo seco	0 a 20	5,5	pH < 5,5 ⁽¹⁾	1 SMP para pH _{água} 5,5	Incorporado
	Pré-germinado ou transplante de mudas	0 a 20	—	V ≤ 40% ⁽⁸⁾	NC=(40-V%)/100 *CTC _{pH7,0}	Incorporado

⁽¹⁾ Não aplicar quando V ≥ 65% e saturação por Al na CTC < 10%.

⁽²⁾ Quando a disponibilidade de P e de K forem menores do que o teor crítico, recomenda-se fazer a adubação de correção com incorporação de fertilizantes aproveitanco a mobilização do solo pela calagem.

⁽³⁾ Considerar na decisão de incorporar o calcário a ocorrência de produtividade da culturas abaixo da média local, especialmente em anos de estiagem; compactação do solo restringindo crescimento radicular em profundidade; e disponibilidade de fósforo na camada de 10 a 20 cm abaixo do teor crítico.

⁽⁴⁾ Amostrar separadamente as camadas de 0 a 10 e de 10 a 20 cm.

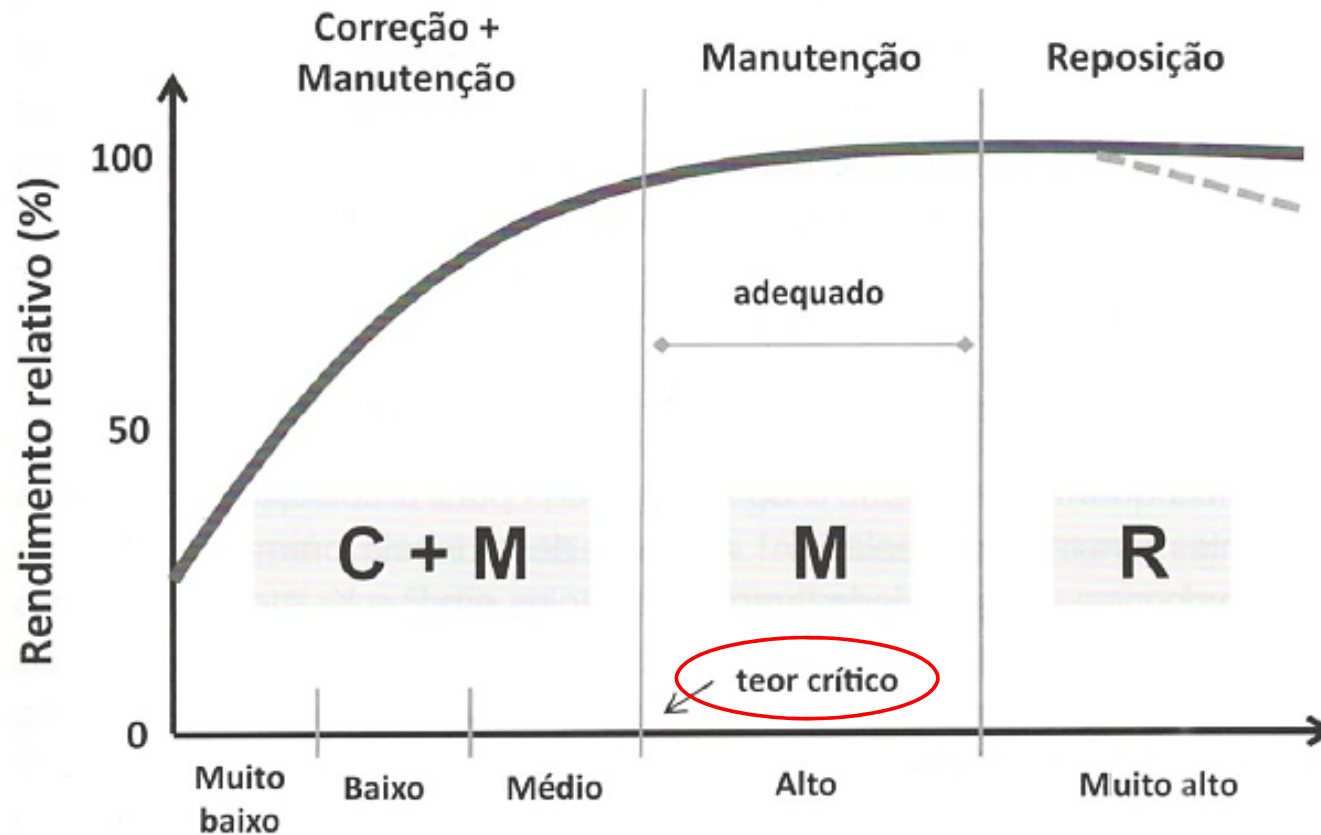
⁽⁵⁾ Quantidade aplicada em superfície limitada a 5 t/ha (PRNT 100%)

⁽⁶⁾ Tomada de decisão independente da condição do solo da camada 0 a 10 cm.

⁽⁷⁾ Usar valor de SMP médio das duas camadas (0 a 10 e 10 a 20 cm) para definir a dose de calcário a ser incorporado.

⁽⁸⁾ Não aplicar se Ca trocável ≥ 4,0 e Mg trocável ≥ 1,0 cmol_c/dm³

Disponibilidade de nutrientes



Classe de disponibilidade do nutriente no solo

Figura 6.1. 1. Relação entre o rendimento relativo das culturas em função do teor de P ou K no solo e as indicações de adubação para cada faixa de teor no solo (extraído de CQFS-RS/SC (2004) a partir de Gianello & Wiethölter (2004))

Fósforo – Grupo 2

Tabela 6.4. Interpretação do teor de fósforo no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme o teor de argila para culturas do Grupo 2 (culturas de grãos, exceto arroz irrigado; hortaliças, exceto as do Grupo 1; pastagens, exceto pastagem natural; frutíferas e gengibre)

Classe de disponibilidade	Classe de teor de argila ^(1,2)			
	1	2	3	4
mg de P/dm ³			
Muito baixo	≤3,0	≤4,0	≤6,0	≤10,0
Baixo	3,1 - 6,0	4,1 - 8,0	6,1 - 12,0	10,1 - 20,0
Médio	6,1 - 9,0	8,1 - 12,0	12,1 - 18,0	20,1 - 30,0
Alto	9,1 - 12,0	12,1 - 24,0	8,1 - 36,0	30,1 - 60,0
Muito alto	>12,0	>24,0	>36,0	>60,0

⁽¹⁾ Teores de argila: classe 1 = >60%; classe 2 = 60 a 41%; classe 3 = 40 a 21%; classe 4 = ≤ 20%.

⁽²⁾ Caso a análise tenha sido feita por Mehlich-3, transformar previamente os teores em "equivalentes Mehlich-1", conforme equação $PM1 = PM3 / (2 - (0,02 \times \text{arg}))$ (Capítulo 4).

Potássio – Grupo 2

Tabela 6.9. Interpretação do teor de potássio no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme a CTC do solo para culturas do Grupo 2 (culturas de grãos; pastagens, exceto pastagem natural; frutíferas; e hortaliças, exceto as do Grupo 1).

Classe de disponibilidade	CTC _{pH7,0} do solo ⁽¹⁾			
	≤7,5	7,6 a 15,0	15,1 a 30,0	>30,0
mg de K/dm ³			
Muito baixo	≤20	≤30	≤40	≤45
Baixo	21 – 40	31 – 60	41 – 80	46 – 90
Médio	41 – 60	61 – 90	81 – 120	91 – 135
Alto	61 – 120	91 – 180	121 – 240	136 – 270
Muito alto	>120	>180	>240	>270

⁽¹⁾ Caso a análise tenha sido feita por Mehlich-3, transformar previamente os teores em “equivalentes Mehlich-1”, conforme equação $KM1 = KM3 \times 0,83$ (Capítulo 4).

Cereais de inverno: aveia, cevada e trigo

Nitrogênio

Matéria orgânica do solo	Cultura antecedente	
	Leguminosa	Gramínea
%kg de N/ha.....	
≤ 2,5	60	80
2,6 - 5,0	40	60
> 5,0	≤ 20	≤ 20

Para rendimento maior do que 3 t/ha, acrescentar aos valores da tabela 20 kg de N/ha, em cultivo após leguminosa; e 30 kg de N/ha, em cultivo após gramínea; por tonelada adicional de grãos a serem produzidos.

Fósforo e potássio

Interpretação do teor de P ou de K no solo	Fósforo por cultivo		Potássio por cultivo	
	1°	2°	1°	2°
kg de P ₂ O ₅ /ha.....	kg de K ₂ O/ha.....	
Muito baixo	155	95	110	70
Baixo	95	75	70	50
Médio	85	45	60	30
Alto	45	45	30	30
Muito alto	0	≤ 45	0	≤ 30

Para rendimento maior do que 3 t/ha, acrescentar aos valores da tabela 15 kg de P₂O₅/ha e 10 kg de K₂O/ha, por tonelada adicional de grãos a serem produzidos.

Resposta do trigo a adubação nitrogenada

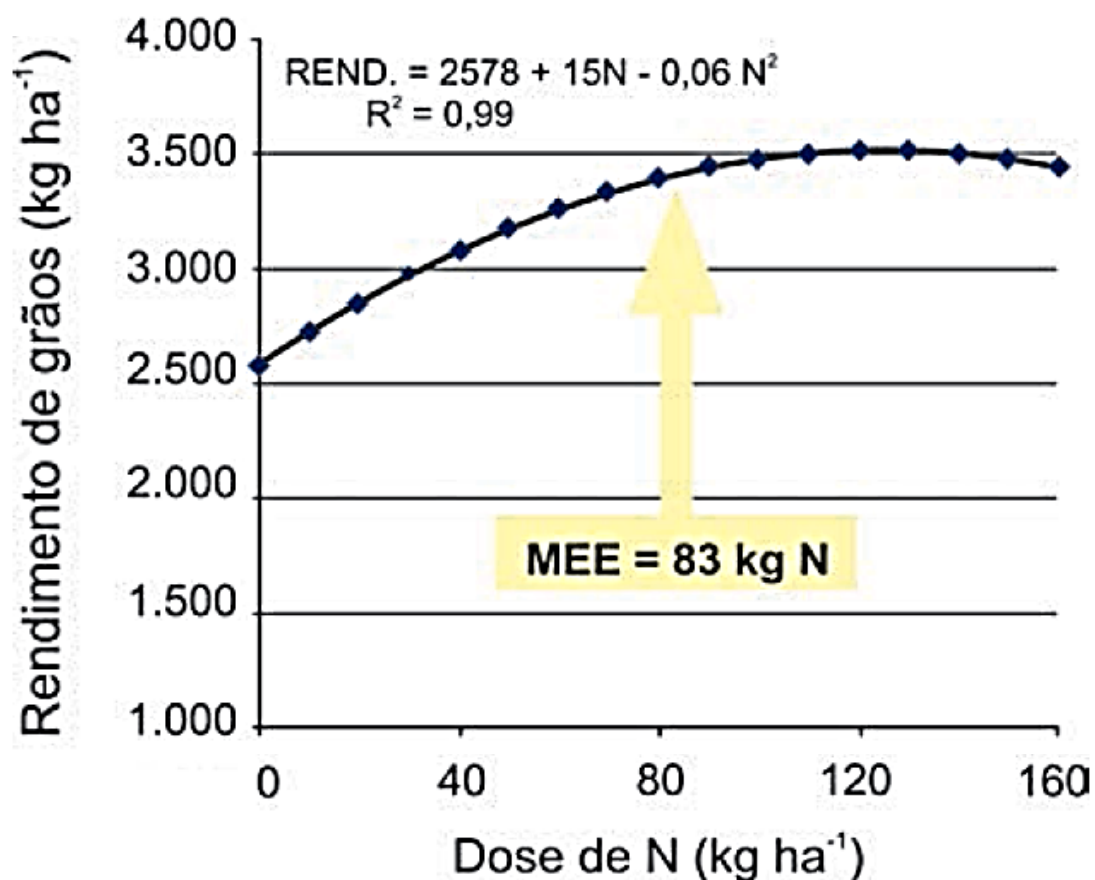
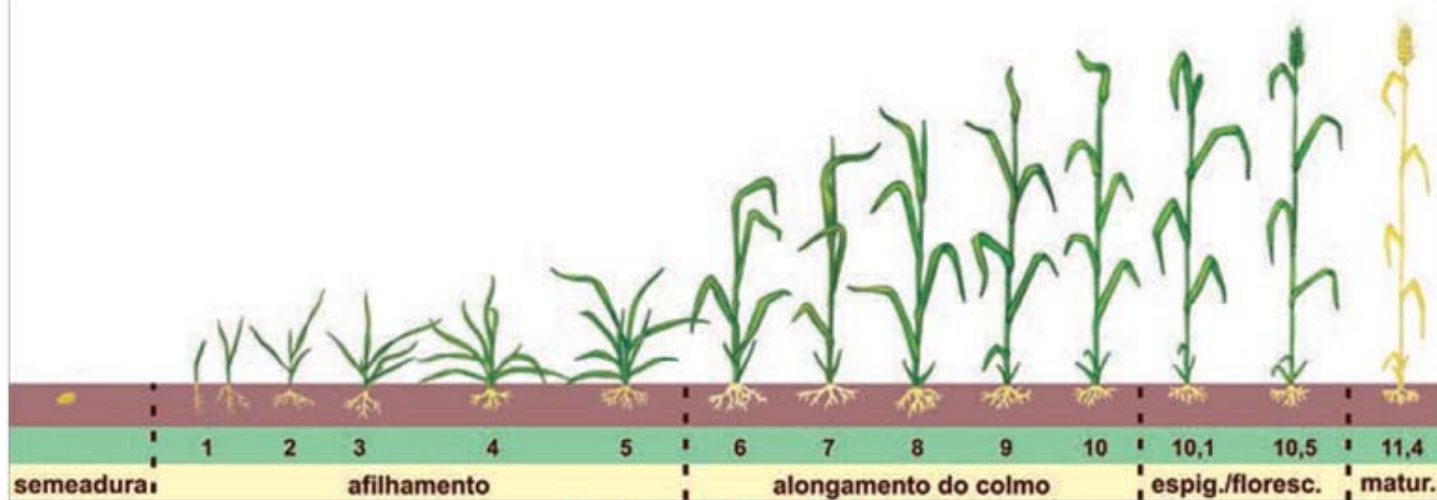
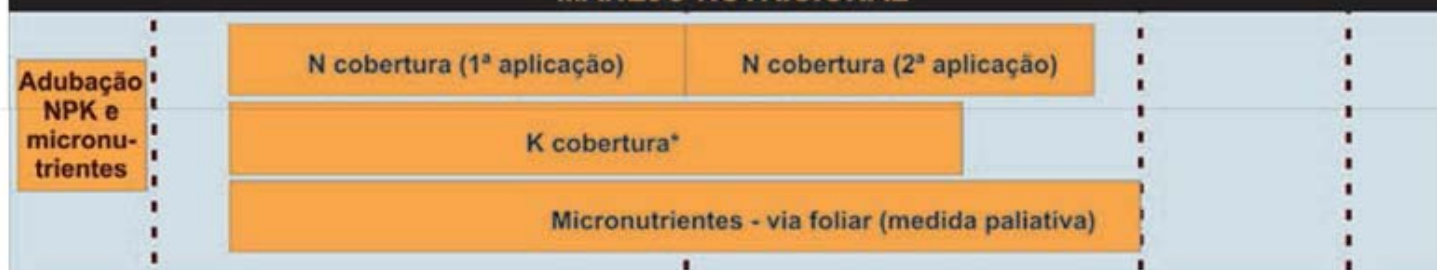


Figura 6. Rendimento de grãos de trigo e máxima eficiência econômica (MEE) de cultivares de trigo adubadas com doses de nitrogênio: (A) 32 experimentos realizados no estado do RS durante a década de 1990-2000. **Fonte:** modificada de Wiethölter (2011).

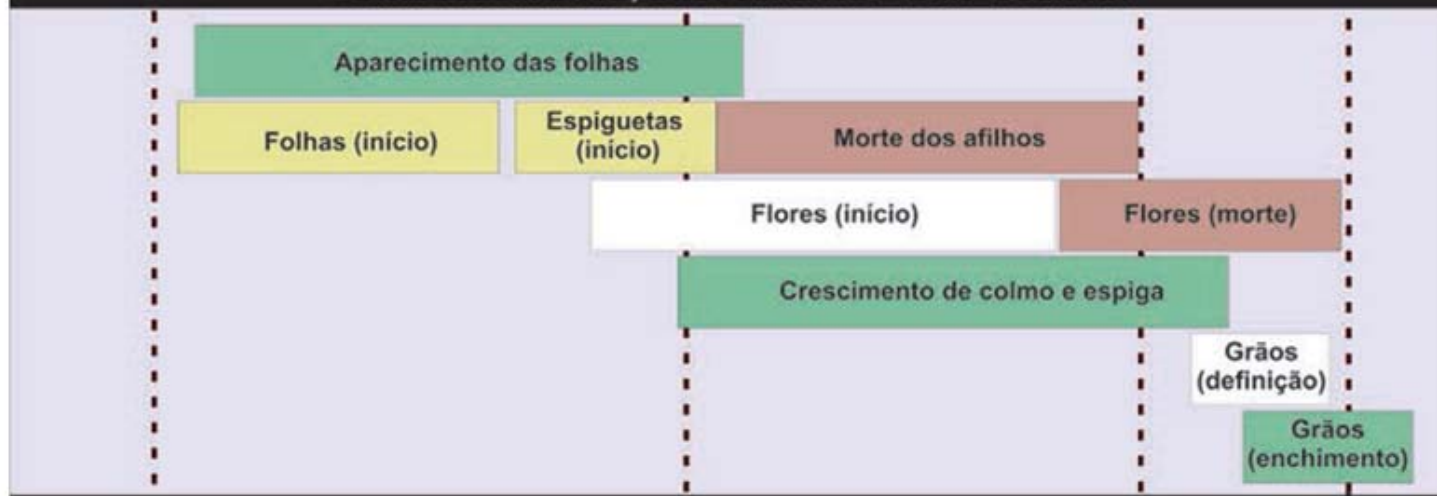
TRIGO - ESCALA FEEKES-LARGE



MANEJO NUTRICIONAL



ESTABELECIMENTO, CRESCIMENTO E SENESCÊNCIA



Canola

Nitrogênio

Matéria orgânica do solo	Nitrogênio
%	kg de N/ha
≤ 2,5	60
2,6 - 5,0	40
> 5,0	≤ 30

Para expectativa de rendimento maior do que 1,5 t/ha, acrescentar aos valores da tabela 20 kg de N/ha, por tonelada de grãos a serem produzidos.

Fósforo e potássio

Interpretação do teor de P ou de K no solo	Fósforo por cultivo		Potássio por cultivo	
	1°	2°	1°	2°
	...kg de P ₂ O ₅ /ha...		...kg de K ₂ O/ha...	
Muito baixo	140	80	105	65
Baixo	80	60	65	45
Médio	70	30	55	25
Alto	30	30	25	25
Muito alto	0	≤ 30	0	≤ 25

Para rendimento maior do que 1,5 t/ha, acrescentar aos valores da tabela 20 kg de P₂O₅/ha e 15 kg de K₂O/ha, por tonelada adicional de grãos a serem produzidos.

Influência do Manejo na capacidade do solo de produzir

➤ Insuficiência do conceito mineralista

Quadro 1. Rendimento de grãos de milho e resultados dos principais indicadores da fertilidade do solo⁽¹⁾ de alguns tratamentos avaliados, na safra de 2005/2006, nos experimentos conduzidos há mais de 20 anos em Eldorado do Sul (RS)

Sistema de cultivo	Rotação de culturas	Adubação nitrogenada	Rendimento de grãos	pH água	Al _{troc}	m	P	K	MO	V
		kg ha ⁻¹ de N	t ha ⁻¹				disponíveis			
SC	A/M	180	5,7	5,4	0,2	4	15	176	1,8	57
SPD	A/M	180	9,4	5,4	0,2	4	30	136	2,3	58
SC	V/M	180	6,9	4,8	1,2	28	11	139	2,0	36
SPD	V/M	180	9,4	4,8	1,0	24	21	168	2,7	36
SPD	A+V/M+C	180	8,3	4,5	1,2	27	19	207	2,8	27
SPD	G/M	0	9,2	4,6	0,7	11	38	217	4,5	42
SPD	G/M	180	8,8	4,6	0,8	13	33	241	4,4	39

⁽¹⁾ PVd (0-10 cm); classe textural 2 (20 a 40 % de argila) (CQFS-RS/SC, 2004).

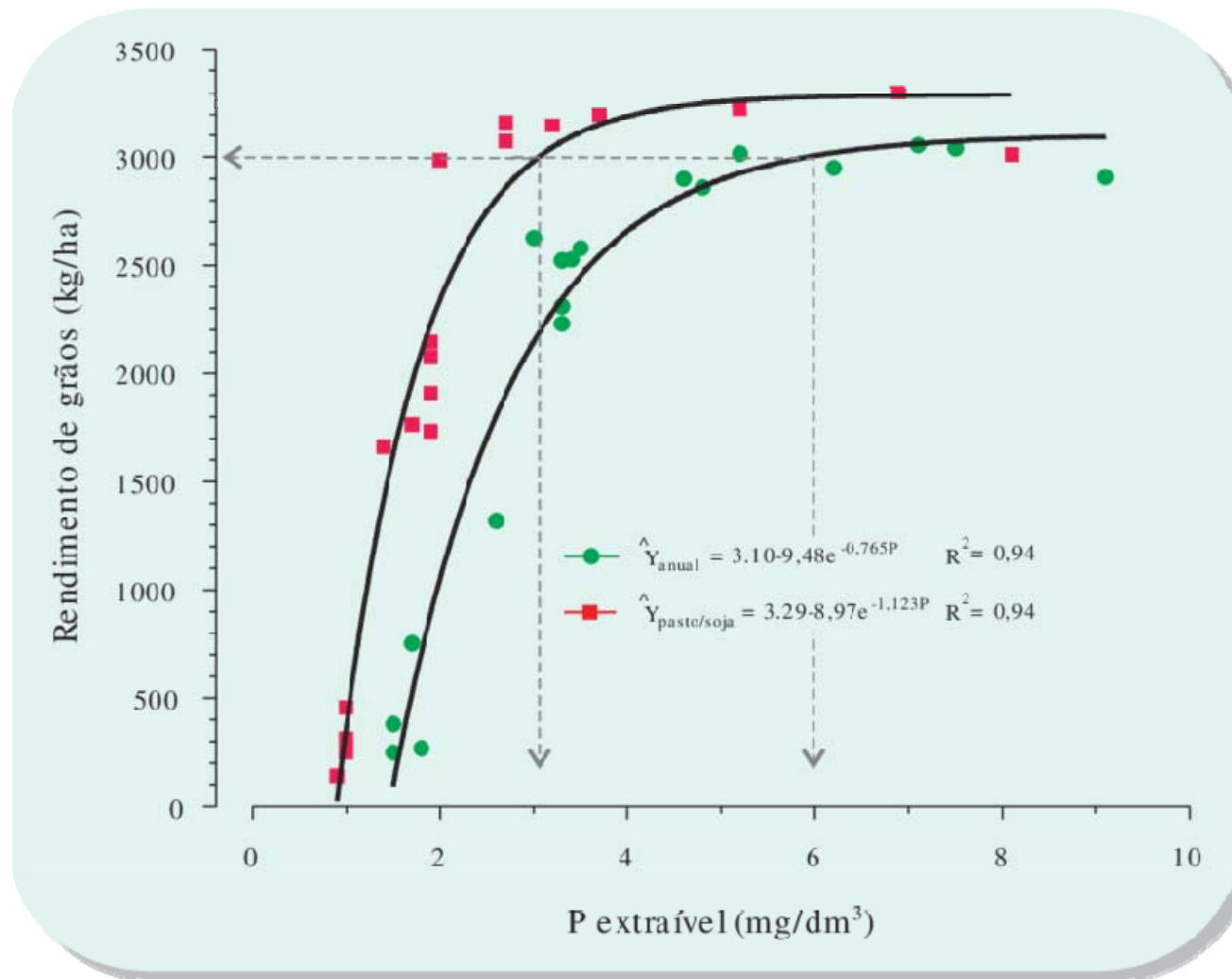
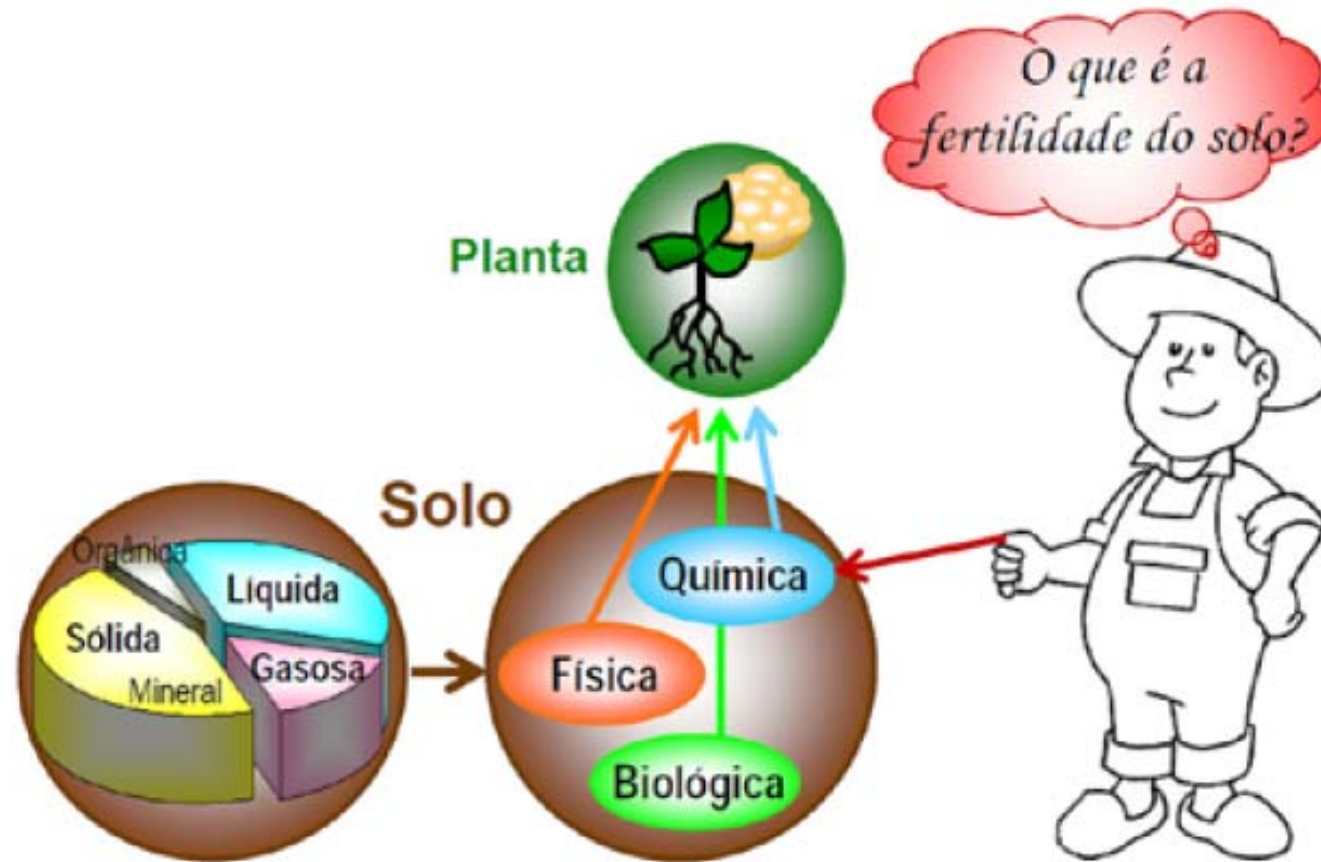


Figura. Efeito de dois sistemas de rotação de culturas sobre a relação entre fósforo extraível na camada de 0-20 cm de profundidade e rendimento de grãos de soja cv. Cristalina em Latossolo Vermelho-Amarelo, textura argilosa. **Sistema anual** = 13 cultivos sucessivos de soja e **Pasto/soja** = soja depois de três cultivos de soja seguidos de 9 anos de pastagem de braquiária.

“Fertilidade do sistema solo”



O termo fertilidade significa capacidade de produzir abundantemente.

Figura 3. Atual concepção de solo e de fertilidade do solo dos *humanus*, com base na relação entre características e propriedades do solo e produtividade da planta (Nicolodi, 2007a).

Biologia vs Física vs Química

* características do solo:

- pH
- aeração/porosidade
- agregação
- água/umidade
- temperatura
- ciclagem de nutrientes
- matéria orgânica

**afetam organismos do solo
(e interações)**

agentes modificadores



Como manejar a adubação para as culturas de inverno em meio a complexidade do sistema?

“Construção da fertilidade”

“Adequação das condições químicas de solos inicialmente ácidos e pobre em nutrientes” (Resende et al., 2016)

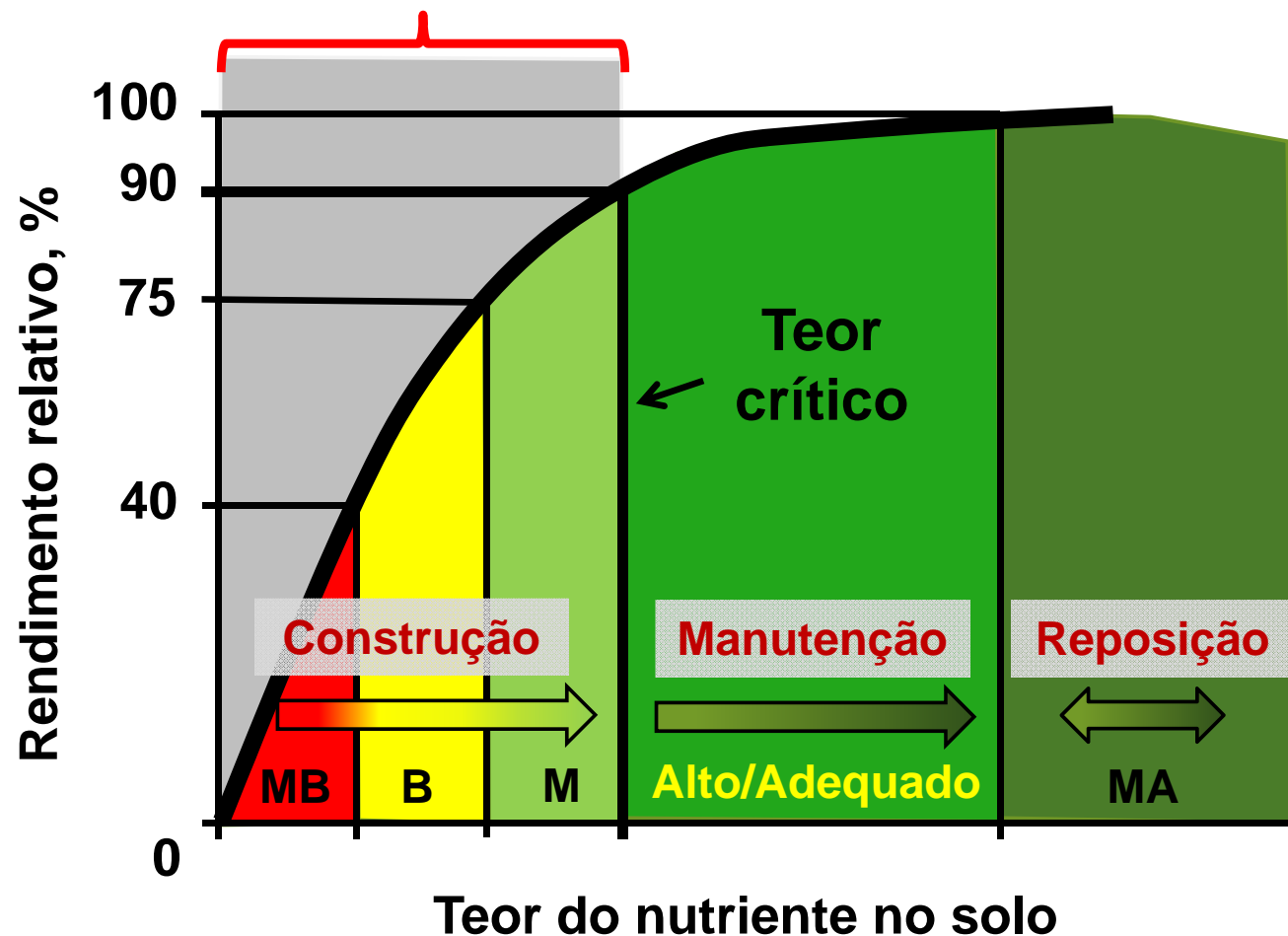
- Práticas:

- Controle de problemas relacionados à acidez do solo na camada superficial e em subsuperfície
- Fornecimento de Ca e Mg → saturação por bases
- Elevação dos teores de P, K e micronutrientes a valores acima do nível crítico
- Conservação do teor de matéria orgânica: CTC, retenção de água, atividade microbiana, suprimento de N, S...

Desafios para o manejo da fertilidade

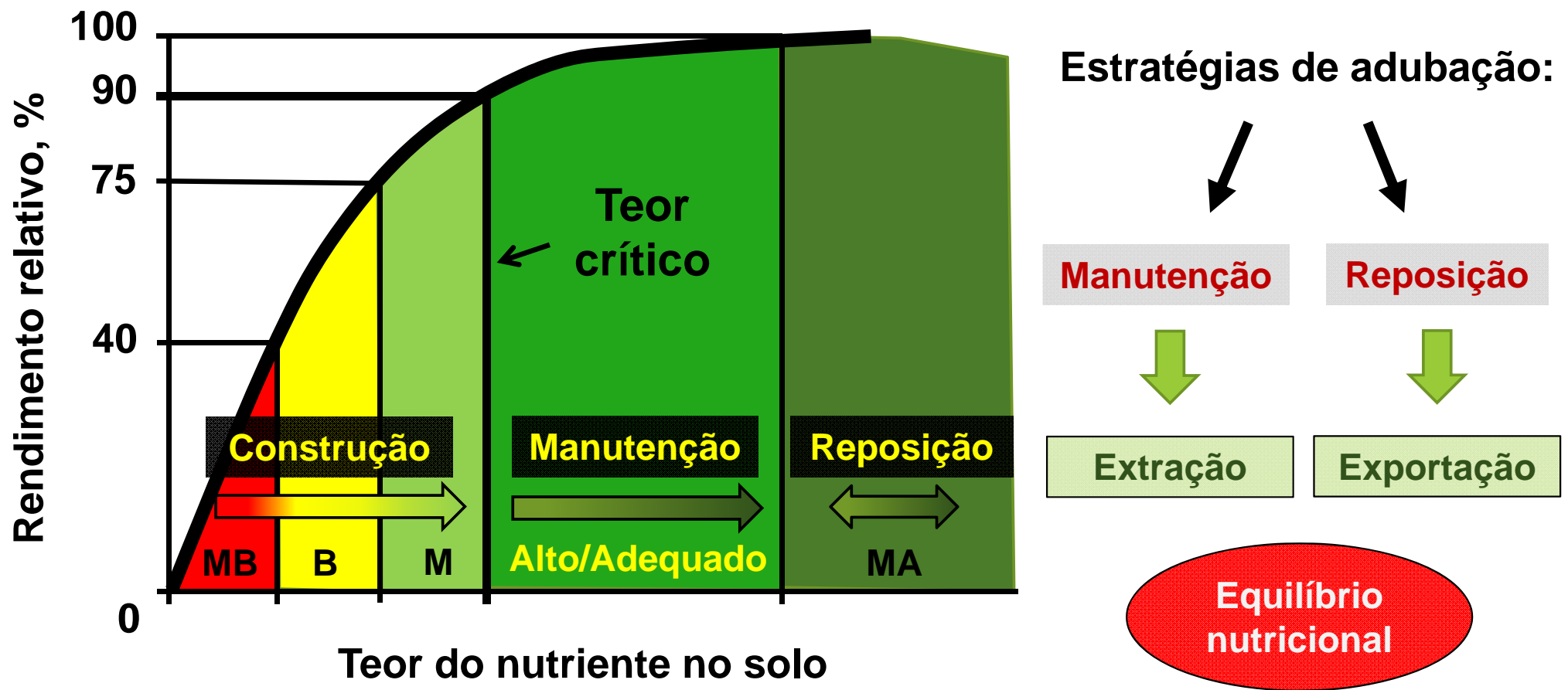
1º Correção do solo / Construção da fertilidade

➤ Premissas: Lei de Liebig e Mitscherlich



Desafios para o manejo da fertilidade

2º Monitoramento da fertilidade do solo



Adubação de reposição

Tabela 6.1.3 Teor médio de nitrogênio (N), fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O) em grãos de algumas culturas

Culturas	N	P_2O_5	K_2O
kg/t.....		
Amendoim	50	11	14
Arroz	14	5	3
Aveia branca	20	7	5
Aveia preta	20	7	5
Canola	20	15	12
Centeio	20	9	5
Cevada	20	10	6
Ervilha seca e ervilha forrageira	36	9	12
Ervilhaca	35	15	19
Nabo forrageiro	20	11	18
Painço	21	8	4
Soja	60	14	20
Sorgo	15	8	4
Tremoco	30	12	15
Trigo	22	10	6
Triticale	22	8	6

Características de solos produtivos

- Altos teores de MOS
- Maior capacidade de retenção de água disponível
- Solos e práticas de manejo que não afetam negativamente o estabelecimento inicial das culturas
- Solos que, mesmo em épocas de estiagem, apresentam bom conteúdo de água em profundidade
- Solos que apresentam teores de nutrientes adequados, de acordo com as exigências das culturas que compõem o sistema produtivo

Práticas de manejo do solo

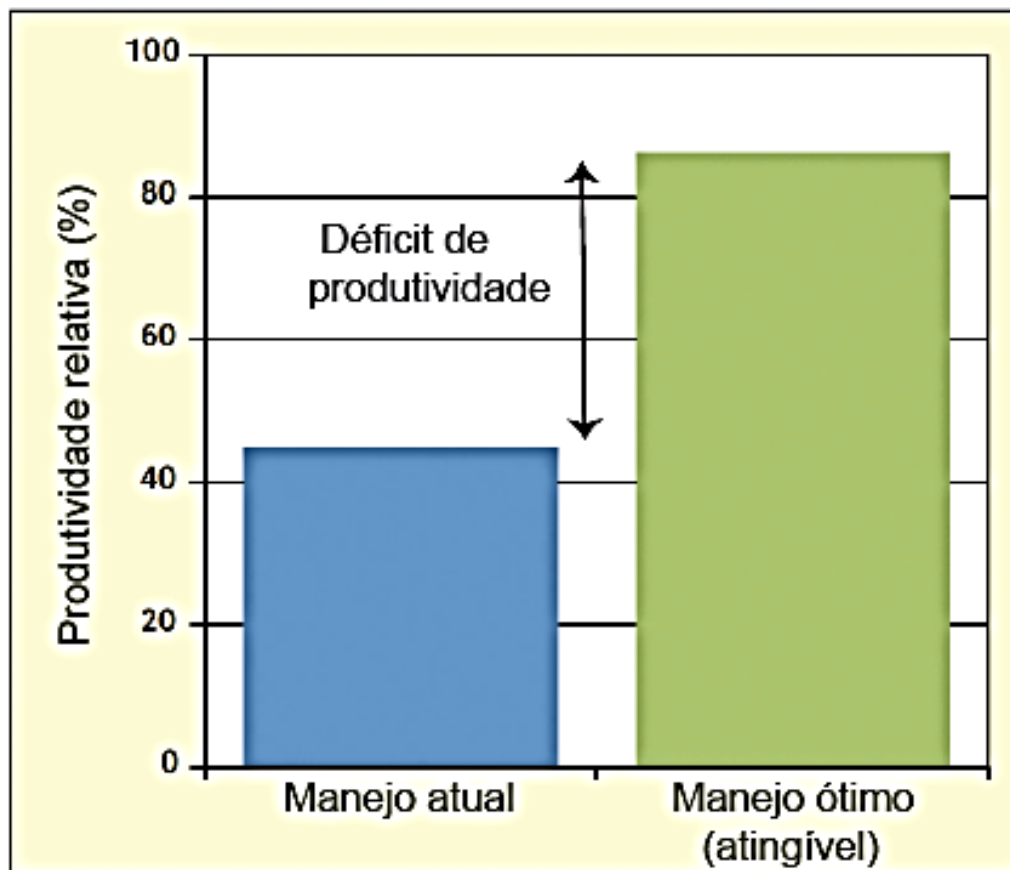


Figura 2. A diferença entre as produtividades agrícolas real e ideal, ou atingível, é um reflexo principalmente do desenvolvimento e da adoção de melhores práticas de manejo.

Manejo do solo vs adubação das culturas

Plantio direto



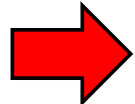
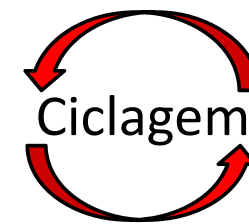
Rotação de culturas



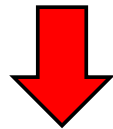
MOS

Agregação

CTC



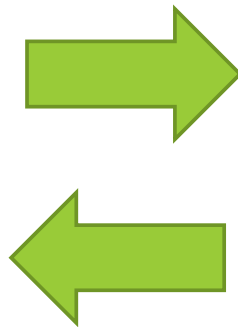
Erosão



Lixiviação

Balanço de nutrientes:

Balanço = (Entradas – Saídas)



Balanço de nutrientes:

Balanço = (Entradas – Saídas)



Balanço de nutrientes:

$$\text{Balanço} = (\text{Entradas} - \text{Saídas})$$



ADIÇÃO

Adição > Remoção
Uso excessivo de recursos



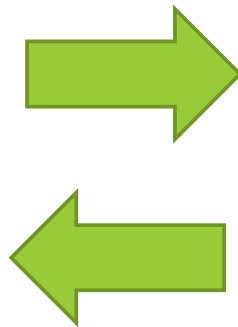
REMOÇÃO

Remoção > Adição
Exaustão dos recursos

Balanço de nutrientes:

Balanço = (Entradas – Saídas)

Equilíbrio



Balanço de nutrientes na agricultura brasileira (2009-2012): média anual

Balanço de Nutrientes	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	(t)		
Exportação total das culturas (t)	26.205.121	7.412.649	13.145.435
Deduções das exportações (t)	18.827.693	17.713	774.264
Exportação líquida de nutrientes (I)	7.377.428	7.394.936	12.371.171
Total de entradas de nutrientes (II)	11.347.282	13.868.137	15.162.278
Balanço de nutrientes (II - I)	3.969.854	6.473.201	2.791.107
Desfrute médio obtido com o uso de fertilizantes (I/II x 100)	65%	53%	82%
Fator de consumo (II/I)	1,5	1,9	1,2



Fonte: Cunha et al. – Informações Agronômicas, março/2014

Balanço de nutrientes no Brasil (2009-2012) por cultura:

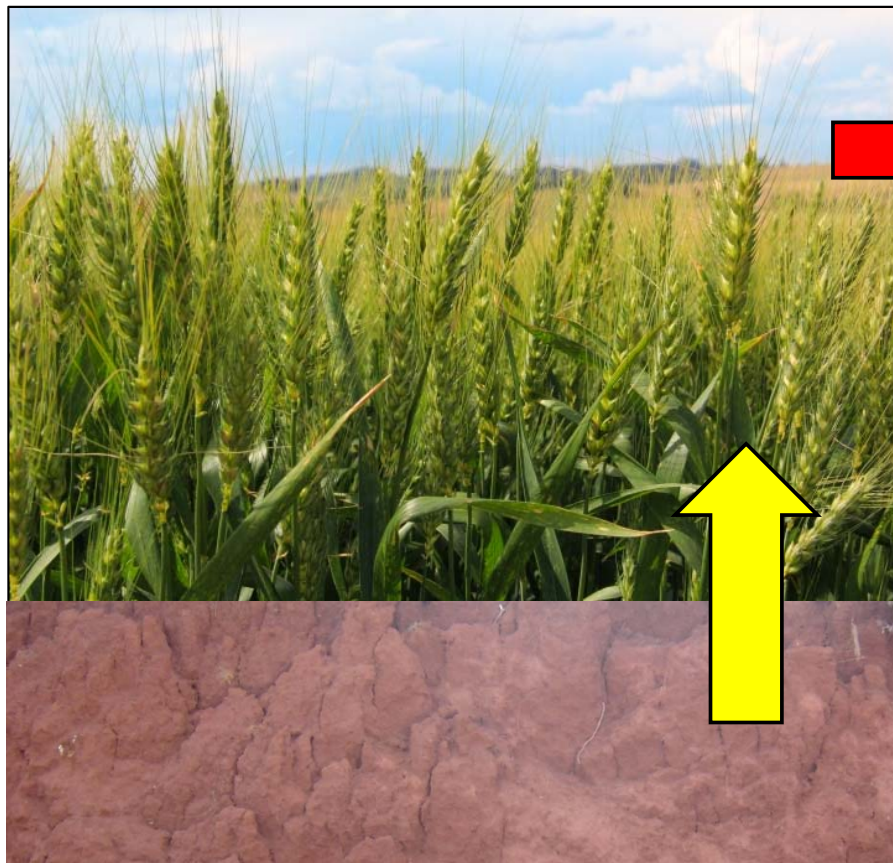
Cultura	Desfrute médio (%)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Soja	-	50	99
Milho	79	96	65
Cana-de-açúcar	80	70	67
Café	20	11	45
Algodão	44	16	58
Arroz	103	74	91
Feijão	67	35	115
Laranja	51	28	67
Trigo	58	48	35

Eficiência de manejo

Conhecimento das taxas de extração e exportação de nutrientes



Extração e Exportação de nutrientes pelas culturas



Exportação

N: 22 kg t⁻¹

P₂O₅: 10 kg t⁻¹

K₂O: 6 kg t⁻¹



Extração

N: 29 kg t⁻¹

P₂O₅: 14 kg t⁻¹

K₂O: 28 kg t⁻¹

Eficiência de manejo

Confronto de demanda e crédito de nutrientes no sistema



Adubação de sistemas





Adubação de sistemas

Vs.

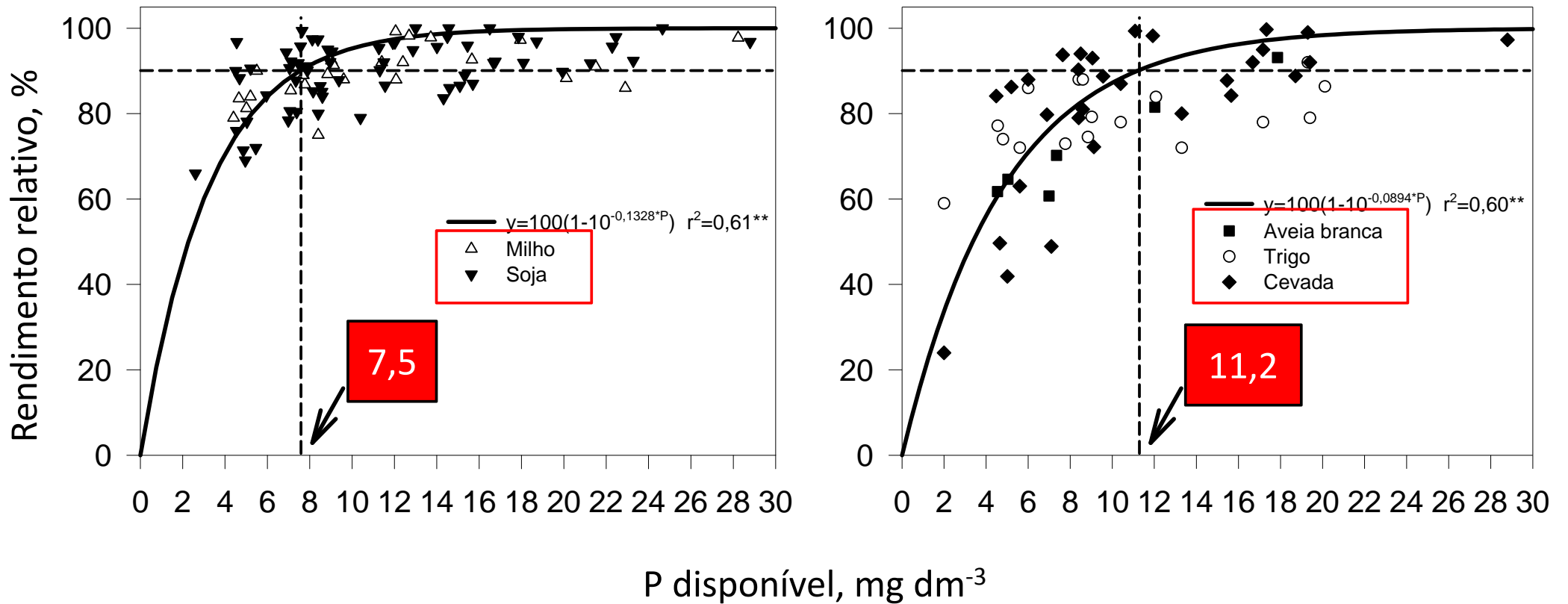
Adubação antecipada

ESTUDO DE CASO:

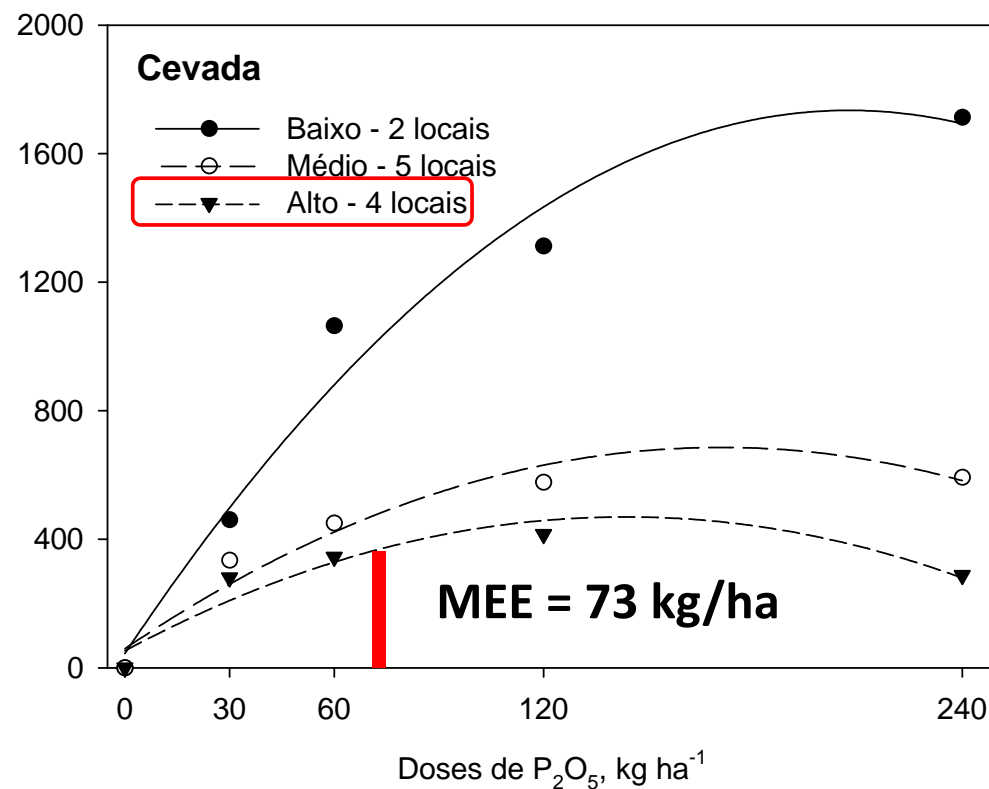
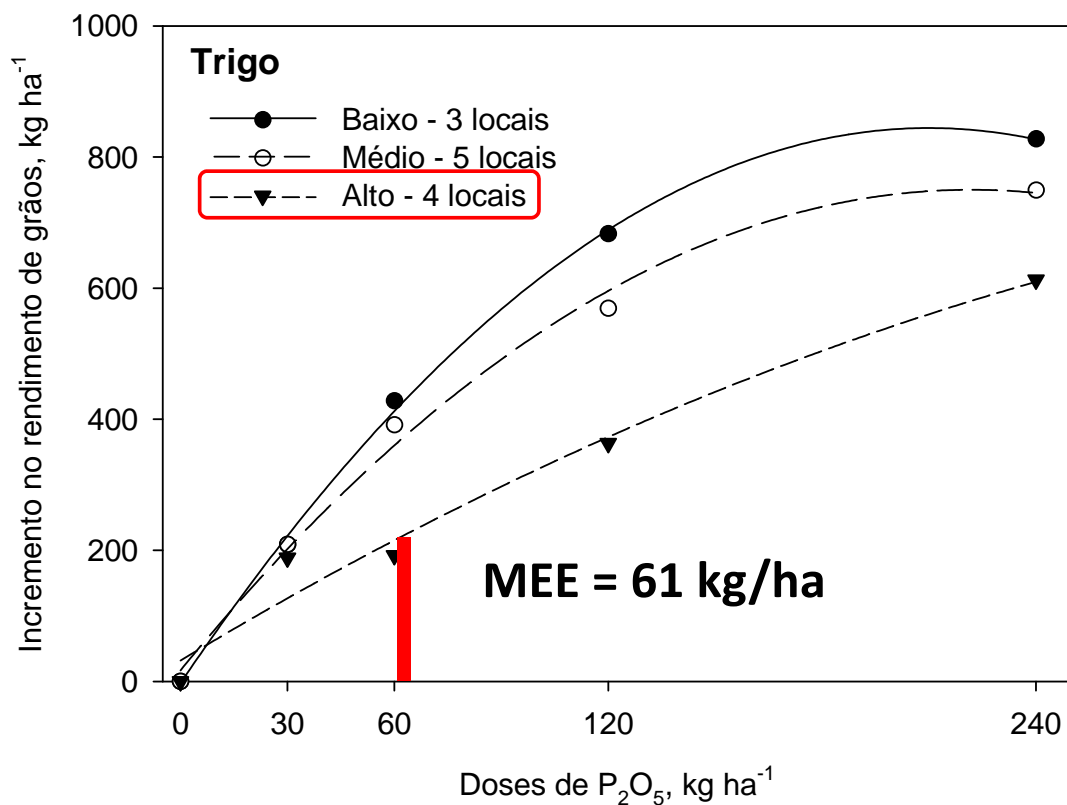
**Manejo da adubação de P e K
para cereais de inverno**

Exigência - disponibilidade de nutrientes

Fósforo



Resposta à adubação P – Trigo e cevada



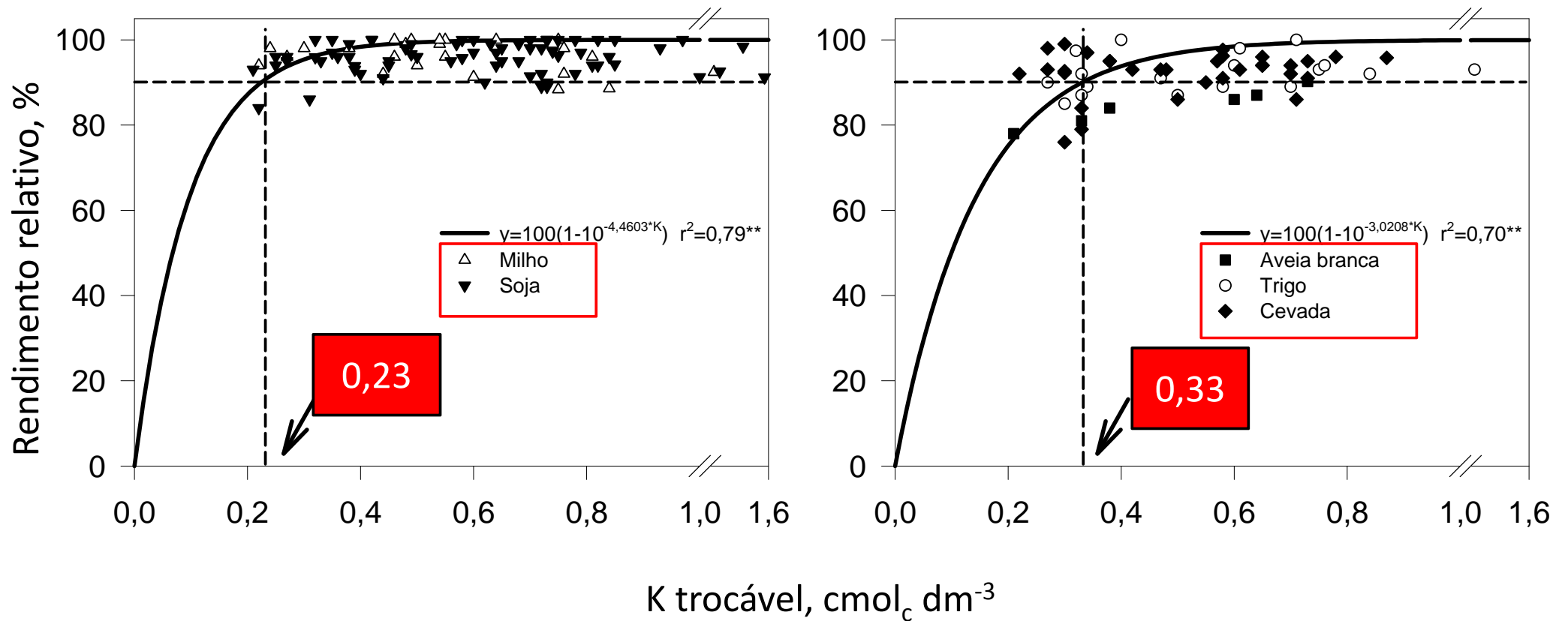
Sugestão de adubação para sequência de cultivos

Classe de disponibilidade	P	Sequência de cultivo			
		1º cultivo		2º cultivo	
		Trigo/Cevada	Cobertura	Soja	Milho
	mg dm ⁻³	----- kg ha ⁻¹ -----			
Baixa	< 4	150 ⁽¹⁾	55	200	115
Média	4 - 8	100	40	90	115
Alta	8 - 16	(RI+RV) ⁽²⁾ + 20 %	15	-	RV
Muito alta	> 16	RI + RV	-	-	RV

(1) Indicações de doses com base nas expectativas de rendimento de 4.000, 14.000, 3.500 e 4.000 kg ha⁻¹ de soja, milho, trigo e cevada, respectivamente. (2) RI ou RV: valor de reposição por t de grão produzido da cultura de inverno/verão: 10, 10, 14 e 8 kg de P₂O₅ por t de grãos produzidos de trigo, cevada, soja e milho, respectivamente.

Exigência - disponibilidade de nutrientes

Potássio



Resposta à adubação K – Trigo e cevada

Trigo

Interpretation class	Without K	MTE		MEE
	RCR	Rate	Yield	Rate
	%	kg ha ⁻¹		
Medium	85	206	2507	69
Medium	90	159	4377	90
High	89	240	4867	0
High	98	180	2680	0
High	92	173	5518	94
High	91	68	4559	55
High	89	240	2571	0
High	100	240	2796	0
Very High	87	193	3284	88
Very High	98	240	4367	0
Very High	89	237	5019	109
Very High	100	0	3226	0

Cevada

Interpretation class	Without K	MTE		MEE
	RCR	Rate	Yield	Rate
	%	kg ha ⁻¹		
Medium	76	79	2395	65
Medium	93	142	5816	79
High	97	117	5274	0
High	84	140	3657	99
High	79	154	4072	119
High	93	160	5221	75
High	91	118	2533	41
Very High	86	149	3911	99
Very High	93	289	5807	45
Very High	92	193	6098	96
Very High	86	188	3173	87

MEE = 25 kg ha⁻¹

MEE = 64 kg ha⁻¹

Resposta à adubação K – soja

Interpretation class	Without K	MTE		MEE
	RY	Rate	Yield	Rate
	%	kg ha ⁻¹		
High	100	0	4369	0
High	97	111	5164	51
High	100	0	3434	0
High	93	139	4759	94
High	100	0	6057	0
High	100	0	5891	0
Very High	100	0	3732	0
Very High	100	0	3064	0
Very High	100	0	3497	0
Very High	99	67	3468	0
Very High	100	0	4671	0



Sugestão de adubação para sequência de cultivos

Classe de disponibilidade	K	Sequência de cultivo			
		1º cultivo		2º cultivo	
		Trigo/Cevada	Cobertura	Soja	Milho
	cmol _c dm ⁻³	----- kg ha ⁻¹ -----			
Baixa	< 0,12	115+RW ⁽¹⁾	115	RS	RC
Média	0,12–0,23	55+RW	55	RS	RC
Alta	0,231–0,46	RW+RS	–	–	RC
Muito alta	> 0,46	RW+RS	–	–	RC

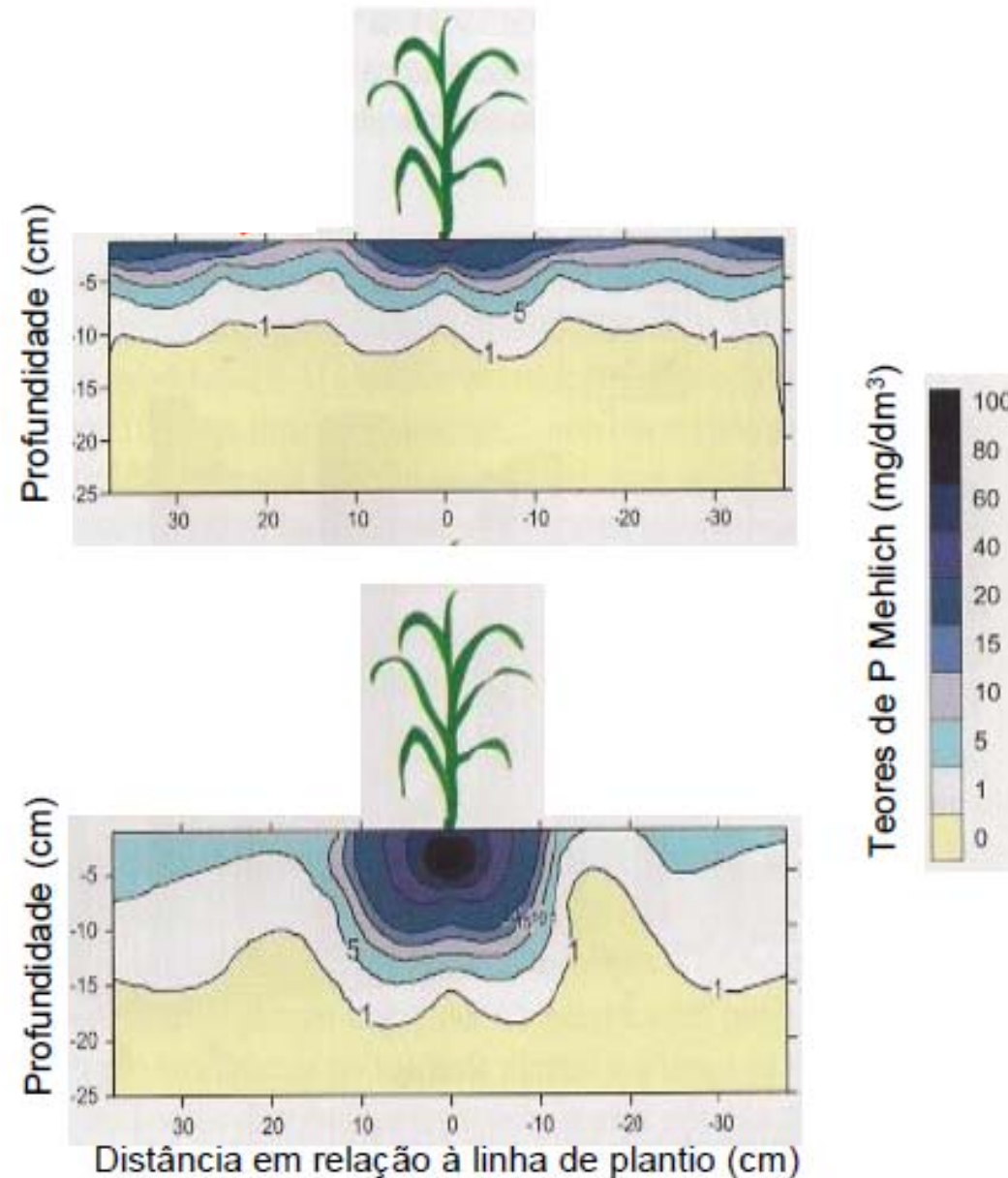
RW, RS, and RC: replacement value as a function of nutrient content in harvested grains of the winter crops (RW), soybean (RS), and corn (RC): 6 kg K₂O Mg⁻¹ corn, wheat, and barley; 20 kg K₂O Mg⁻¹ soybean.



Figura 28. Sistema radicular de diversas culturas agrícolas aos 60 dias após a germinação.

Crédito da foto: José Eloir Denardin (Embrapa Trigo).

Localização dos Fertilizantes

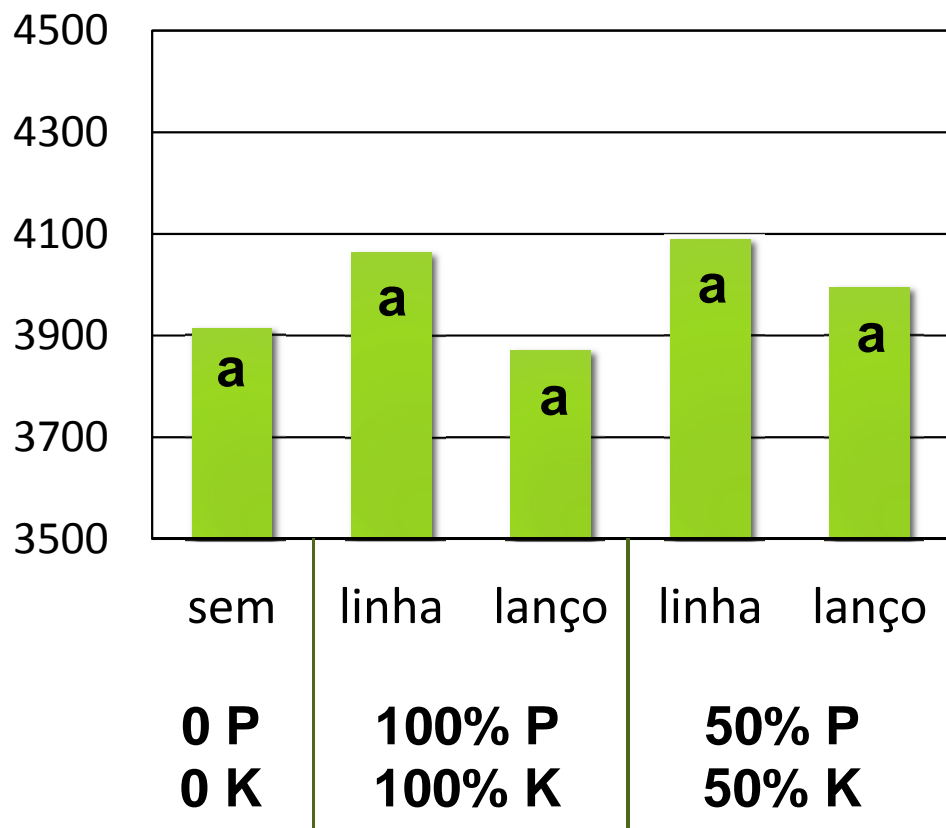


Fonte: Santos (2009) adaptado por Sousa et al. (2010)

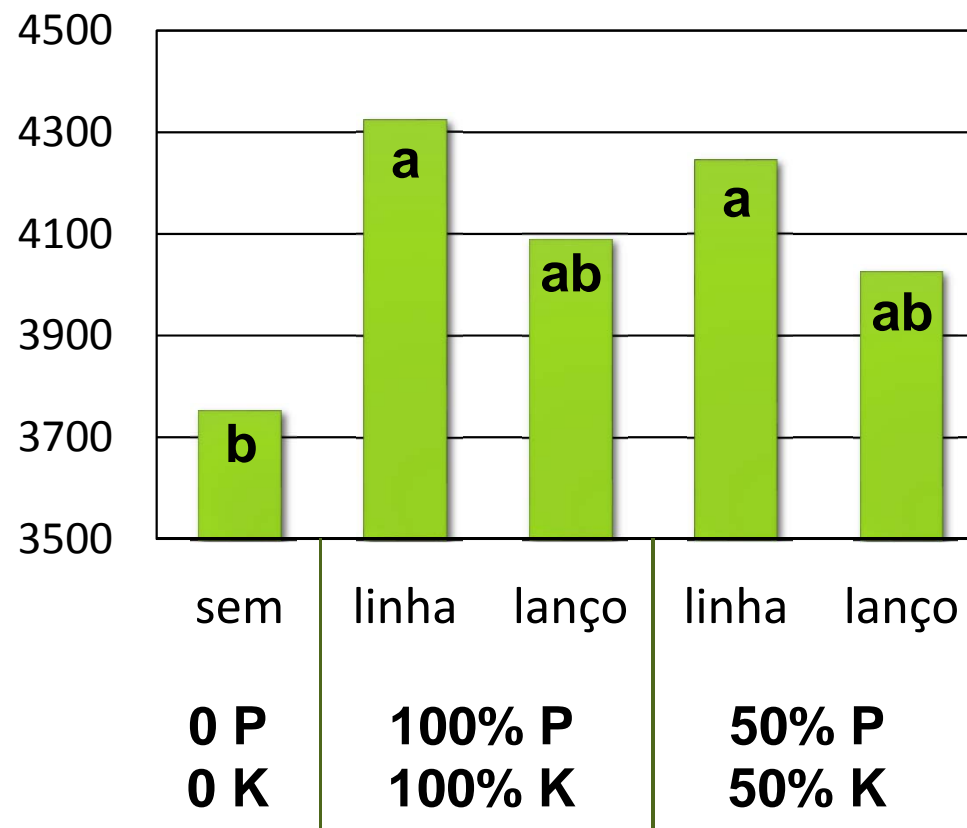
Localização dos Fertilizantes

Trigo e Cevada

Alta Fertilidade



Média Fertilidade



Modo de aplicação e dose aplicada (%)

Relação entre o processo de contato e a localização dos fertilizantes

Elemento	Processo de contato (% do total)			Aplicação do fertilizante
	Interceptação radicular	Fluxo de massa	Difusão	
Nitrogênio	1	99	0	Distante, em cobertura (parte)
Fósforo	2	4	94	Próximo das raízes
Potássio	3	25	72	Próximo das raízes, em cobertura
Cálcio	27	73	0	A lanço
Magnésio	13	87	0	A lanço
Enxofre	5	95	0	Distante, em cobertura (parte)
Boro	3	97	0	Distante, em cobertura (parte)
Cobre ¹	15	5	80	Próximo das raízes
Ferro ¹	40	10	50	Próximo das raízes
Manganês ¹	15	5	80	Próximo das raízes
Zinco ¹	20	20	60	Próximo das raízes
Molibdênio ²	5	95	0	Em cobertura (parte)

⁽¹⁾ Complementação com aplicação foliar.

⁽²⁾ Aplicação via semente e/ou foliar.



Muito obrigado!

Renan Costa Beber Vieira

renan.vieira@uffs.edu.br