

MODELAGEM DE SISTEMA DE MICRODRENAGEM UTILIZANDO O SOFTWARE MOUSE

Adalberto Meller¹ & Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva²

Resumo - Quando há a ocorrência de eventos de precipitação maiores que os projetados, podem ocorrer em uma rede de drenagem urbana inversões de fluxo, efeitos de jusante, trechos com escoamento sob pressão, fenômenos que não são contemplados usualmente nos modelos de dimensionamento. Nestes casos a utilização de um modelo hidrodinâmico é essencial na avaliação do funcionamento e na localização dos pontos críticos da rede. Entre os modelos hidrodinâmicos que têm sido atualmente utilizados, o software MOUSE (DHI) se destaca por além de representar os complexos processos hidráulicos que ocorrem em uma rede de drenagem, apresentar propriedades que simplificam seu uso e facilitam a apresentação e análise dos resultados. O objetivo principal deste trabalho foi o de calibrar e avaliar os módulos MOUSE HD e MOUSE Runoff, utilizando dados de monitoramento hidrológico de uma pequena bacia hidrográfica em Santa Maria-RS. Em geral o software apresentou bons resultados, com coeficiente de correlação médio maior que 0.96. O erro médio no ajuste das vazões de pico foi aproximadamente de 5% e o erro médio no volume foi menor que 30%, resultados considerados satisfatórios, afirmando a boa representação dos processos hidráulicos e hidrológicos na rede de drenagem.

Abstract - When occur precipitation events greater than the projected, it can occur in the urban drainage network reverse flow, backwater effects, pressurised flow, phenomena not contemplated usually in the design models. In these cases, the utilization of a hydrodynamic model is essential in evaluation and in the location of network critical points. Between hydrodynamic models actually used, the software MOUSE (DHI) highlights for besides representing the complex hydraulic processes that occur in an urban drainage network, introduces properties that simplify the use and facilitate the presentation and analysis of the simulations results. The main goal of this work was calibrate and evaluate modules MOUSE HD and MOUSE Runoff, using hydrologic observed data from a small basin in Santa Maria-RS. In general the software presented satisfactory results, with a

¹ Aluno do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFSM. Endereço: Rua Silva Jardim, 1953/1101 - CEP 97010-493 Ed. União - Bairro Centro. Tel.:(55)99969806/2191566. betomeller@uol.com.br

² Prof. Adjunto do Departamento de Hidráulica e Saneamento da UFSM. Tel.: 2208483. eloiza@ct.ufsm.br

medium correlation coefficient greater than 0.96. The medium error in the adjustment of the peak flows was approximately 5% and the medium error in the volume was smaller than 30%, affirming the good representation of the hydraulic and hydrologic processes in the drainage network.

Palavras-chave - Drenagem Urbana, Modelagem Hidrodinâmica, MOUSE

INTRODUÇÃO

A modelagem matemática é uma ferramenta útil na análise dos fenômenos hidráulicos que aparecem especialmente em redes de drenagem urbana operando em condições críticas. Quando há a ocorrência de eventos de precipitação maiores que os projetados, podem ocorrer na rede inversões de fluxo, efeitos de jusante, trechos com escoamento sob pressão, fenômenos que não são contemplados usualmente nos modelos de dimensionamento de redes de drenagem urbana, que consideram o escoamento como uniforme e em regime permanente, à seção parcial ou plena. Villanueva (1990) cita que embora os modelos utilizados para o dimensionamento de redes de drenagem possam fornecer diretrizes que remetam a um dimensionamento correto e econômico, somente a utilização de um modelo de fluxo não-permanente pode identificar a segurança e economia do projeto e identificar as situações mais críticas que as de projeto. Cunge (1980) salienta a importância do uso de um modelo de fluxo não-permanente no processo de planejamento e projeto de uma rede, especialmente nos casos de mudança ou expansão de uma rede implantada.

Os modelos de verificação, como são denominados os modelo de fluxo não-permanente, podem ser classificados segundo Villanueva et al (1995) em modelos simplificados e completos. Os modelos simplificados possibilitam uma análise simplificada do sistema de drenagem, através da simplificação de alguns termos das equações que governam o fluxo não-permanente à superfície livre, as equações de Saint Venant.

Os modelos completos, também conhecidos como hidrodinâmicos, simulam o escoamento através das equações de Saint Venant em sua forma completa, representando os principais fenômenos hidráulicos que surgem em uma rede. Entre estes modelos, um dos mais conhecidos é o SWMM (Storm Water Management Model) da EPA, de domínio público.

O SWMM originalmente desenvolvido pela EPA (Agência de Proteção Ambiental Americana) no final da década de 70 foi o primeiro modelo computacional para análise quantitativa e qualitativa associada ao escoamento gerado em áreas urbanas, aprimorado em 3 versões (versão 2 em 1979, versão 3 em 1981 e 4 em 1988) até a versão 4, atualizada em novembro de 1993. O

modelo é composto de 4 módulos de serviço e quatro módulos hidrológico-hidrodinâmicos (James et al (1998) apud Neves (2000)).

O módulo EXTRAN (Huber et al, 1992) faz a propagação do escoamento na rede de condutos. O modelo resolve as equações completas de Saint Venant para simulações de remansos, confluências, sobrecargas e fluxo sob pressão na rede. O método utilizado para resolução das equações é um esquema explícito de diferenças finitas e o escoamento sob pressão pode ser simulado opcionalmente através do método da fenda de Preissmann. Neves (2000) comenta que o SWMM não considera a solução exata para o escoamento sob pressão, e no caso do nível de água dentro da boca-de-lobo atingir uma cota superior à do terreno, este mantém-se constante, sendo a água exterior considerada como uma perda do sistema, não retornando à rede.

No Brasil Villanueva (1990) apresentou o modelo hidráulico-hidrológico NOPRES, conseguindo bons resultados em sua pesquisa, em comparação com a literatura existente. O modelo utiliza um esquema numérico de diferenças finitas implícito (esquema de Preissmann) e tem a capacidade de modelar o fluxo livre ou sob pressão através da fenda de Preissmann. Ramseyer (1996) agregou ao modelo de Villanueva um módulo descrito pelo autor como “módulo bacia” e denominou o mesmo de modelo hidrodinâmico de redes de drenagem pluviais. A inserção deste módulo possibilitou ao modelo a separação da chuva pelo método Berthelot-Tucci incluindo uma rotina de escoamento superficial que utiliza a formulação da onda cinemática. Neves (2000), com base nos estudos anteriores, aprimorou o modelo hidrodinâmico de Ramseyer, resolvendo algumas das limitações numéricas e de aplicabilidade, e incluiu um módulo para propagação do excesso do escoamento nos trechos de ruas.

Entre os modelos hidrodinâmicos, alguns se destacam atualmente por apresentar propriedades que simplificam o uso e os tornam mais operacionais, através de melhorias em sua interface gráfica facilitando a entrada e modificação da série de dados, além de contar em sua estrutura com algoritmos para detecção de erros devido à incoerência ou ausência de dados. O software MOUSE, (Modelling of Urban Sewers) desenvolvido para uso comercial pelo Danish Hydraulic Institute (DHI), vem sendo utilizado internacionalmente com sucesso por apresentar as propriedades citadas.

O software teve sua origem no modelo hidrodinâmico S11S (System 11 Sewer), baseado em uma adaptação do modelo original S11 (System 11) desenvolvido na década de 70 para análise do escoamento em corpos d'água naturais por A. Verveij e A. Keij, fundamentado nas pesquisas de fluxo unidimensional realizadas na década anterior (Abbott et al, 1982). O S11S, adaptado para aplicação em redes de esgoto e drenagem urbana, deu origem posteriormente a primeira versão do software MOUSE, a versão 1.0, desenvolvida em parceria pela Universidade Técnica da Dinamarca, as companhias Kruger, PH-Consult, Emolet data A/S e pelo DHI (Mark, 2002). Na versão atual, o software é organizado em 10 módulos para modelagem hidráulica, hidrológica, da

qualidade da água e transporte de sedimentos em redes de drenagem urbanas. Os módulos MOUSE HD, de propagação do escoamento nos condutos, e o módulo MOUSE Runoff, para as simulações hidrológicas chuva-vazão em área urbanas, são descritos no tópico seguinte.

Em termos gerais, o objetivo deste trabalho é a calibração e avaliação dos módulos MOUSE HD e MOUSE Runoff, utilizando dados do monitoramento hidrológico e dados topológicos da rede de microdrenagem de uma pequena bacia hidrográfica em Santa Maria-RS.

O SOFTWARE MOUSE

O software é composto por 10 modelos divididos em módulos padrões e módulos avançados. Os módulos utilizados na pesquisa fazem parte dos módulos padrões, que são o “MOUSE HD” e o “MOUSE Runoff”.

MOUSE Pipe Flow Model (HD)

O módulo “The Pipe Flow Model” é uma ferramenta computacional para a simulação do escoamento não-permanente em uma rede de condutos operando à superfície livre ou sob pressão. O modelo é baseado numa solução implícita de diferenças finitas das equações de escoamento à superfície livre unidimensionais (equações de Saint Venant) permitindo a simulação de bacias de detenção, regularizações do escoamento, entrada e saída d’água na rede constante ou variável no tempo, operações com bombas, coeficientes de atrito variáveis nos condutos, inundações locais, perdas de carga em poços de visita e bacias de detenção.

As simulações do escoamento subcrítico à superfície livre no modelo MOUSE aplicados ao conceito da onda dinâmica, são realizadas através da integração vertical das equações da conservação da continuidade e do momento, baseadas nas seguintes considerações a seguir, como cita DHI (2002a):

- a água é incompressível e homogênea, isto é, a variação na densidade da água é desprezível;
- as declividades são pequenas, tal que o cosseno do ângulo com a horizontal deve ser igual a 1;
- a curvatura das linhas de corrente é pequena, ou seja, o tamanho das ondas são grandes se comparados com a profundidade da água. Isto assegura que a vazão em qualquer posição pode ser considerada como tendo direção paralela ao eixo do conduto, isto é, as acelerações verticais podem ser desprezadas e conseqüentemente as pressões são hidrostáticas;

Para simulação do escoamento supercrítico as equações completas de Saint Venant são reduzidas à aproximação da onda de difusão. A simulação do escoamento sob pressão é realizada

através da introdução de um fenda imaginária na parte superior do conduto, artifício apresentado por Preissmann e Cunge em 1964 e utilizado por Cunge e Wagner em 1964 (DHI, 2002a) .

O esquema computacional utilizado nas simulações é baseado em um esquema numérico implícito de diferenças finitas de seis pontos, proposto por Abbott e Ionescu em 1967 (Abbott et al, 1998).

MOUSE Surface Runoff Module

Este módulo engloba os modelos hidrológicos chuva-vazão disponíveis no software, e que fornecerão os hidrogramas que são utilizados como condição de contorno externa no módulo MOUSE HD. Inclui 4 tipos de modelos para simulação do escoamento em áreas urbanas: o modelo histograma tempo-área, o modelo da onda cinemática (reservatório não-linear), o modelo reservatório linear e o hidrograma unitário. O modelo utilizado foi o histograma-tempo área, que apresentou bons resultados nas simulações das áreas urbanas da bacia.

Histograma “tempo-área”

O método da curva “tempo-área” transforma o hietograma da chuva em um hidrograma de escoamento superficial. Este modelo fundamenta-se nos conceito de isócronas e de histograma tempo-área (DHI, 2002b).

O volume produzido pelo método é controlado por 3 parâmetros, perdas iniciais (algoritmo de separação do escoamento), tamanho da área de contribuição e perda hidrológica contínua (taxa de infiltração durante o evento). Os dados de entrada utilizados no modelo histograma tempo-área implementado no módulo são:

Localização: coordenadas x e y do ponto que recebe o escoamento gerado na área;

Área: a área da região contribuinte ao poço de visita;

Área impermeável: Porcentagem impermeável da área contribuinte;

Perdas iniciais: Define a altura de precipitação (m) necessária para o início do escoamento superficial;

Redução hidrológica: Engloba as perdas de água causadas pela evapotranspiração, impermeabilização imperfeita ou outro tipo de perda na rede de drenagem;

Curva tempo-área: O parâmetro de forma da bacia determina a escolha da curva T/A disponível para ser usada nos cálculos. O valor do parâmetro igual 1 indica áreas retangulares, semelhantes a trechos de ruas;

Tempo de concentração: Define o tempo (min) de viagem necessário para uma partícula de água transladar da parte mais distante da área até ponto de descarga, no caso, o poço de visita.

MONITORAMENTO

Problemática

A cidade de Santa Maria, não é exceção à maioria das cidades brasileiras. Os problemas relacionados com a ineficiência do sistema de drenagem atingem grande parte das áreas urbanas do município, tornando-se crônicos em alguns locais. O loteamento Alto da Colina, localizado nas proximidades do Campus da Universidade Federal de Santa Maria, é um exemplo típico dos problemas relacionados à ineficiência da drenagem resultante do rápido processo de expansão urbana. Na ocorrência de chuvas de grande intensidade, a região apresenta pontos de alagamento (figura 1), provocando inundações de residências e se tornando um possível foco de transmissão de doenças à população residente na região.



Figura 1. Pontos de alagamento. A. Rua 01 do Loteamento Alto da Colina - B. Local onde o rio que drena a parte rural da bacia aflui à rede de microdrenagem

Descrição da área em estudo

A região delimitada pela bacia Alto da Colina tem área total de 1.82 km², e tipologias de uso e ocupação do solo distribuídas em áreas de reflorestamento (10%), áreas urbanizadas (30%), pastagens (49%) e áreas de plantio (11%). A rede de monitoramento é composta de duas estações fluviométricas e uma estação pluviométrica.

A bacia localiza-se no município de Santa Maria, estendendo-se pelos bairros Camobi, São José e Pains. Integra a bacia do rio Vacacaí Mirim, que é responsável pela irrigação da maior parte da produção agrícola da região e pelo abastecimento público da cidade de Santa Maria. A figura 2 localiza as estações de monitoramento na área.



Figura 2. Estações de Monitoramento da bacia Alto da Colina (modificado de Rampelotto et al, 2001).

Estações de monitoramento

O monitoramento fluviométrico da bacia é realizado por duas estações (figura 3) equipadas com registradores de nível digitais do tipo Thalimedes (OTT). A bacia foi dividida em duas áreas de monitoramento. A estação Alto da Colina II monitora a parte rural da bacia, e a estação Alto da Colina I, instalada à jusante da área urbana da bacia, é responsável pelo monitoramento de toda área da bacia. A estação pluviométrica Vila Maria se localiza na parte rural da bacia, próximo à estação Alto da Colina II, e opera com um registrador digital do tipo Pluvio (OTT).

As principais características físicas das áreas drenadas pelas estações fluviométricas são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1. Características físicas da bacia hidrográfica Alto da Colina.

Estação	Área (km ²)	Talvegue (km)	Declividade (%)	*IMP (%)	Situação
Alto da Colina I	1.82	2.01	4.98	60	Semi-Urbana
Alto da Colina II	1.33	1.14	5.80	10	Rural

*IMP= áreas impermeáveis



Figura 3. Estações de monitoramento hidrológico - A. Estação Fluviométrica Alto da Colina I B. Estação Fluviométrica Alto da Colina II – C. Estação Pluviométrica Vila Maria

Cadastramento da rede de drenagem pluvial

As informações sobre a rede de drenagem são dados fundamentais para a simulação da rede. Basicamente o software MOUSE divide o sistema de drenagem em duas partes: a rede de drenagem e as áreas urbanas de contribuição, utilizadas na determinação dos hidrogramas afluentes aos poços de visita.

A rede de drenagem no software MOUSE é representada através dois elementos, os nós e a rede de condutos. Um nó pode ser uma bacia de detenção, um ponto de armazenamento, uma saída de rede ou como utilizado no trabalho, um poço de visita. Para definição da rede é necessário que estes elementos estejam caracterizados geograficamente e topograficamente, procedimento realizado através de levantamento topográfico-cadastral da rede.

O cadastramento da rede foi feito através da abertura dos poços de visitas para determinação das dimensões, cotas de fundo e do terreno e identificação (situação) do material, comprimento, cotas e diâmetros dos condutos. A importância do levantamento de dados topográfico-cadastrais da rede é entendida quando se faz a comparação entre o projeto da rede e o que está realmente implantado em campo. Averiguações tais como diferença no traçado, implantação de trechos que não constam no projeto, diferenças no comprimento dos condutos e declividades que em alguns locais da rede implantada superam em mais de quatro vezes a projetada, foram comuns durante a etapa do levantamento, evidenciando a importância deste processo na representação física e conseqüentemente na calibração do parâmetros hidráulicos e hidrológicos do software. Os trabalhos envolvendo esta etapa da pesquisa foram realizados com a utilização de uma estação total ELTA 55R. A tabela 2 e a figura 4 mostram respectivamente, um resumo da rede e a localização dos elementos e áreas de drenagem que compõe a rede de microdrenagem.

Tabela 2. Resumo dos elementos que compõe a rede de microdrenagem.

Elemento	Número de elementos	Diâmetro Mínimo (m)	Diâmetro Máximo (m)
Poços de Visita (nós)	49	0.90	1.80
Condutos*	51	0.20	1.20
Saídas de rede	2	-	-
Subbacias	47	-	-

- a rede possui aproximadamente 3700 m considerando condutos e trechos de canais abertos.



Figura 4. Localização dos elementos que compõe a rede na área em estudo (modificado de Rampelotto et al, 2001).

APLICAÇÃO DO SOFTWARE

Nas simulações realizadas neste trabalho, se utilizou basicamente dois tipos de dados: os dados topológicos da rede de microdrenagem, e os hidrogramas das áreas urbanas contribuintes a cada poço de visita, geradas pelo módulo MOUSE Runoff. A parte rural da bacia, no entanto, apresenta processos hidrológicos mais complexos que os que ocorrem na área urbana, não sendo possível à modelagem por modelos hidrológicos simplificados. Desta forma foi utilizado o modelo

hidrológico chuva-vazão IPH II, que já foi utilizado com bons resultados para a modelagem desta bacia em trabalhos anteriores, como pode ser observado em Meller et al (2002).

O modelo hidrológico chuva-vazão IPH II

O modelo IPH II (Tucci, 1998) é um modelo hidrológico do tipo concentrado chuva-vazão. É composto por quatro algoritmos: perdas por evaporação e interceptação, separação dos escoamentos, propagação dos escoamentos superficial e subterrâneo e otimização dos parâmetros. É representado por seis parâmetros: I_0 , I_b , H , K_{sup} , K_{sub} , R_{max} . H , I_0 e I_b são parâmetros da equação de infiltração de Horton. I_0 e I_b representam as capacidades inicial e mínima de infiltração do solo, respectivamente. K_{sub} e K_{sup} são parâmetros de propagação do escoamento subterrâneo e superficial. R_{max} representa a capacidade do reservatório de perdas iniciais.

A maior parte da área rural da bacia Alto da Colina é monitorada pela estação fluviométrica Alto da Colina II. Entretanto, do local de instalação dessa estação até o ponto onde o rio aflui à rede de microdrenagem há contribuição de uma área de aproximadamente 18 ha. Para a avaliação da vazão gerada em toda a área rural da bacia, foi realizada a calibração da área drenada pela estação Alto da Colina II e os resultados foram utilizados para simulação do hidrograma da área total. Os resultados destas simulações foram utilizados como hidrogramas de contribuição da parte rural da bacia a rede de microdrenagem.

A metodologia de aplicação do modelo consistiu basicamente na calibração dos parâmetros do modelo para cinco eventos. Os dados utilizados são provenientes das estações Alto da Colina II e da estação pluviométrica Vila Maria. Os resultados das calibrações dos eventos são apresentados na tabela 3.

Tabela 3. Resultado das calibrações do modelo IPH II

Evento	$R_{MÁX}$ (mm)	I_0 (mm/ Δt)	I_B (mm/ Δt)	H (mm/ Δt)	t_c (Δt)	K_S (Δt)	K_{SUB} (Δt)	Δt (min)	R^2
26/09/2001	14.22	0.05	1.96	0.15	10	6.16	15.09	10	1.00
20/10/2001	10.11	1.47	0.19	0.99	10	7.66	2.30	10	0.99
14/11/2001	11.63	1.16	0.12	0.98	10	7.99	1.32	10	0.98
31/01/2002	21.35	3.25	0.05	0.98	10	7.39	10.48	10	0.94
25/03/2002	11.26	5.96	0.67	0.99	10	5.24	4.02	10	0.93

Como esperado, o modelo apresentou em geral bom ajuste das vazões de pico e volume calculados, como pode ser observado na tabela 4. A discretização temporal utilizada nas simulações foi de 10 minutos, pois para intervalos de tempo com discretizações menores (1 e 5 min) o modelo não apresentou bons resultados.

Tabela 4. Resultados do ajuste dos parâmetros

Estação	Evento	Δt (min)	R^2	$*V_{obs}/V_{calc}$	$*V_{pobs}/V_{pcalc}$
Alto da Colina II	26/09/2001	10	0.99	1.02	0.96
	20/10/2001	10	0.99	1.02	0.96
	14/11/2001	10	0.98	1.00	0.92
	31/01/2002	10	0.94	0.98	1.15
	25/03/2002	10	0.93	0.82	1.27

$*V_{obs}/V_{calc}$ = relação entre o volume observado e calculado e $*V_{pobs}/V_{pcalc}$ = relação entre as vazões de pico observadas e calculadas

Resultados da calibração dos parâmetros dos módulos do software MOUSE

Os parâmetros calibrados nas simulações foram os parâmetros hidrológicos do modelo MOUSE Runoff e os parâmetros hidráulicos do módulo de propagação do escoamento nos condutos. Os dados de precipitação utilizados como entrada no modelo MOUSE Runoff possuem discretização temporal de 1 minuto, mesmo intervalo computacional utilizado nas simulações do módulo MOUSE HD.

Inicialmente foram fixados os valores dos parâmetros hidráulicos da rede, e calibrados os parâmetros hidrológicos perdas iniciais, redução hidrológica e tempo de concentração, até que a função objetivo (coeficiente de correlação) apresentasse os melhores valores. Fixaram-se então estes parâmetros e foram ajustados os parâmetros hidráulicos da rede, que são o coeficiente de rugosidade de Manning e o parâmetro de forma K_p , que relaciona as características da transição entre o poço de visita e o conduto, utilizado no cálculo da perda de carga na saída do poço de visita. Finalmente realizou-se uma calibração final, fazendo pequenos ajustes nos parâmetros hidráulicos e hidrológicos, com intuito de melhorar o ajuste. Os resultados das calibrações dos parâmetros são mostrados nas tabelas 5 e 6.

Tabela 5. Resultados da calibração dos parâmetros hidrológicos.

Evento (Dia)	Perdas Iniciais (m)	Redução Hidrológica	*IMP(%)	Cur. T/A	T_c (min)
26/09/01	0.0130	0.80	60	1	2
20/10/01	0.0150	0.80	60	1	2
14/11/01	0.0150	0.80	60	1	2
31/01/02	0.0156	0.80	60	1	2
25/03/02	0.0139	0.80	60	1	2

*IMP= porcentagem de área impermeável

Tabela 6. Parâmetros hidráulicos utilizados nas simulações

Parâmetros	n	K_p (km)
	0.0147	0.50

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As figuras 5 a 9 apresentam o resultado das simulações de 5 eventos monitorados entre os anos de 2001 e 2002. Os resultados obtidos nas simulações foram avaliados através de 6 funções de estimativa do erro (tabelas 7 e 8) entre os hidrograma simulados e os observados na estação Alto da Colina I. As funções utilizadas foram calculadas com auxílio do software MIKE View, integrante do software MOUSE, e são apresentadas a seguir:

- Erro no pico =
$$\frac{Q_{op} - Q_{sp}}{Q_{sp}}$$

- Erro na onda tipo 1 =
$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{Q_{o,i} - Q_{s,i}}{Q_{o,p}} \right\}^2$$

- Erro na onda tipo 2 =
$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{Q_{o,i} - Q_{s,i}}{Q_{o,i}} \right\}^2$$

- Erro no volume =
$$\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - Q_{s,i})}{\sum_{i=1}^n Q_{o,i}}$$

- Erro no tempo do Pico = $T_{op} - T_{sp}$

Onde:

Q_{op} = Vazão de pico observada;

Q_{sp} = Vazão de pico simulada;

$Q_{o,i}$ = Vazão observada no intervalo de tempo i ;

$Q_{s,i}$ = Vazão simulada no intervalo de tempo i ;

T_{op} = Tempo de pico observado;

T_{sp} = Tempo de pico simulado;

n = Número de intervalos de tempo de cálculo;

Tabela 7. Valores das funções de estimativa do erro nas simulações.

Evento (Dia)	Coefficiente de Correlação	Erro no tempo do Pico (hr)	Máx. diferença positiva (m³/s)	Máx. diferença negativa (m³/s)
26/09/01	0.963	-0.039	0.457	0.38
20/10/01	0.952	-0.041	0.492	0.418
14/11/01	0.982	0.000	0.387	0.449
31/01/02	0.915	-0.121	0.453	0.949
25/03/02	0.911	-0.001	0.262	0.987

Tabela 8. Continuação:Valores das funções de estimativa do erro nas simulações.

Evento (Dia)	Erro no Pico (m³/s)	Erro na onda tipo 1	Erro na onda tipo 2	Erro no Volume
26/09/01	-0.002	0.008	0.272	0.271
20/10/01	-0.169	0.016	0.431	0.287
14/11/01	-0.068	0.004	1.198	0.209
31/01/02	-0.011	0.012	0.357	0.261
25/03/02	-0.004	0.007	1.295	0.436

Em geral, obteve-se bons resultados no ajuste dos hidrogramas, tanto em termos de vazões máximas como em posicionamento do pico da onda de cheia. Foram obtidos na comparação entre os hidrogramas observados e calculados, coeficientes de correlação maiores que 0.91 em todas as simulações, sendo que o erro médio no ajuste das vazões de pico foi aproximadamente 5%. O ajuste no tempo do pico também foi satisfatório, o erro de posicionamento das vazões de pico foi em média 2.4 minutos. A função erro na onda tipo 1 expressa o quadrado do erro médio em relação à vazão de pico observada em cada intervalo computacional de tempo, também apresenta um dado importante, mostrando que o erro médio cometido nos cálculos em relação à vazão de pico para cada intervalo computacional é em média menor que 1%. Estas estatísticas mostram que a estimativa dos hidrogramas de escoamento na área urbana, e suas propagações até o local de controle da bacia foram bem representadas, afirmando os valores dos parâmetros hidráulicos e hidrológicos calibrados.

Os maiores erros observados na comparação entre os hidrogramas calculados e observados acontecem nas simulações a partir da chegada da onda de cheia da contribuição rural da bacia na estação Alto da Colina I. Em alguns eventos simulados a soma das contribuições da região urbana, com esta contribuição, modelada com o IPH II, superestima as vazões observadas nesta faixa, aumentando o erro no volume e erro na onda tipo 2. Mesmo assim, o resultados obtidos foram satisfatórios, apresentando um erro em média menor que 30% na avaliação do volume.

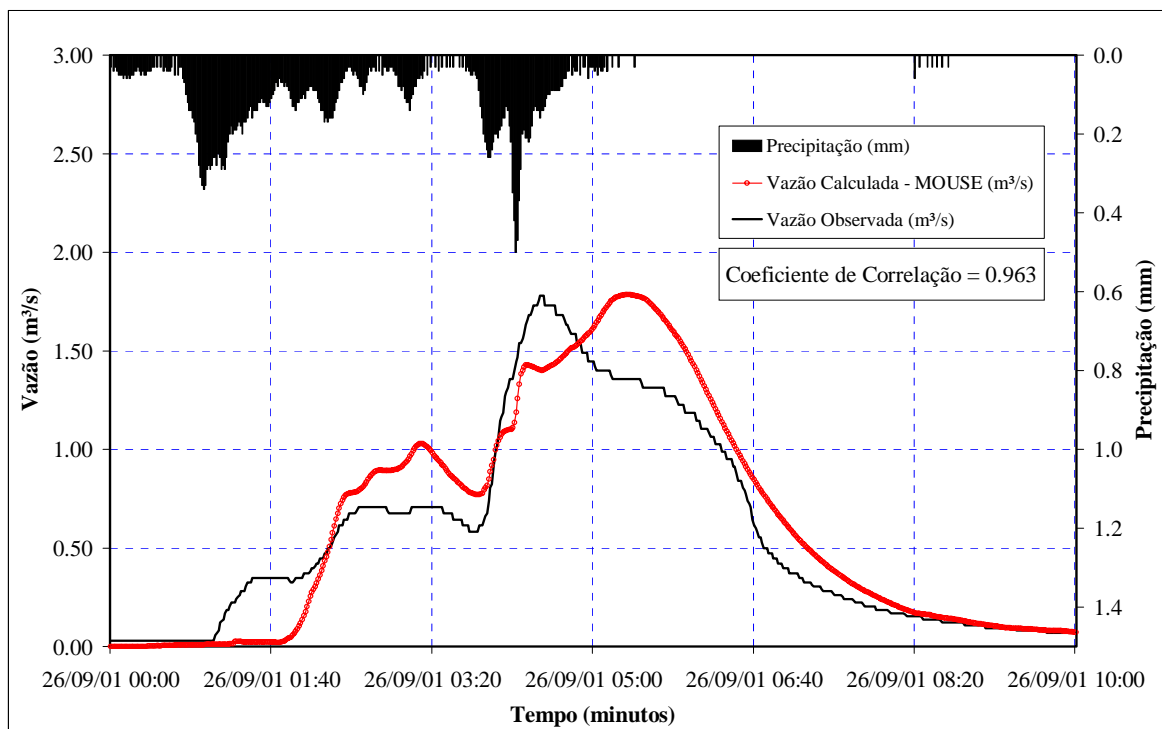


Figura 5. Resultado da calibração evento do dia 26/09/2001.

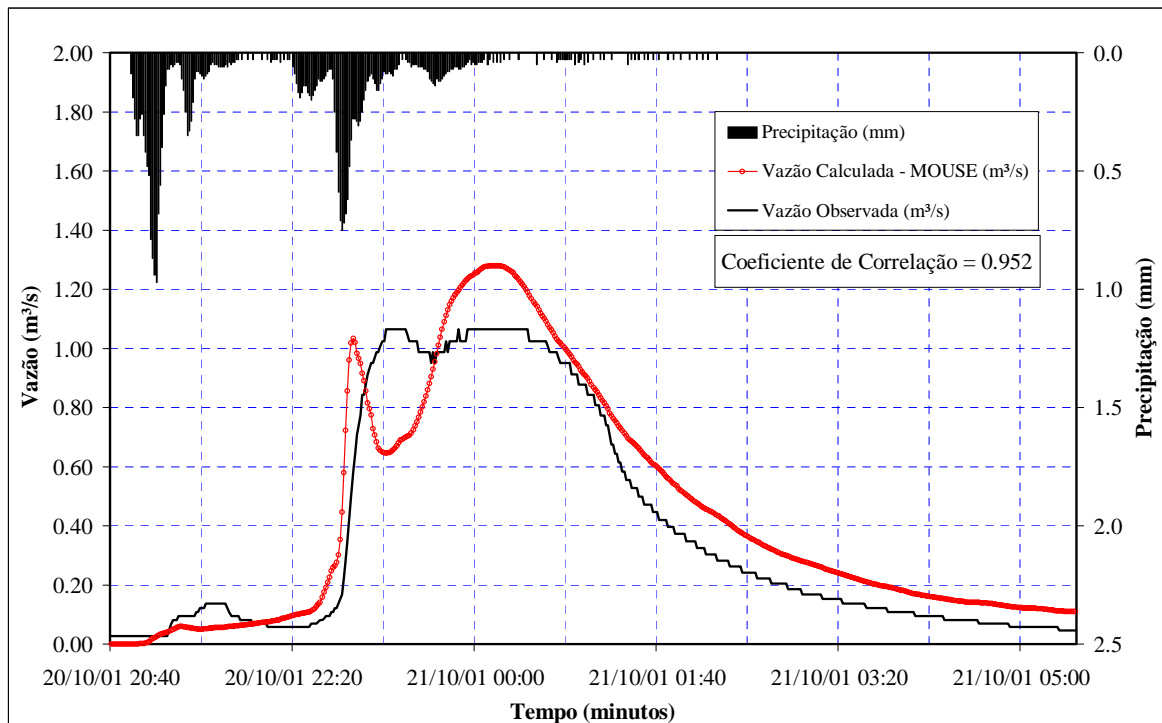


Figura 6. Resultado da calibração evento do dia 20/10/2001.

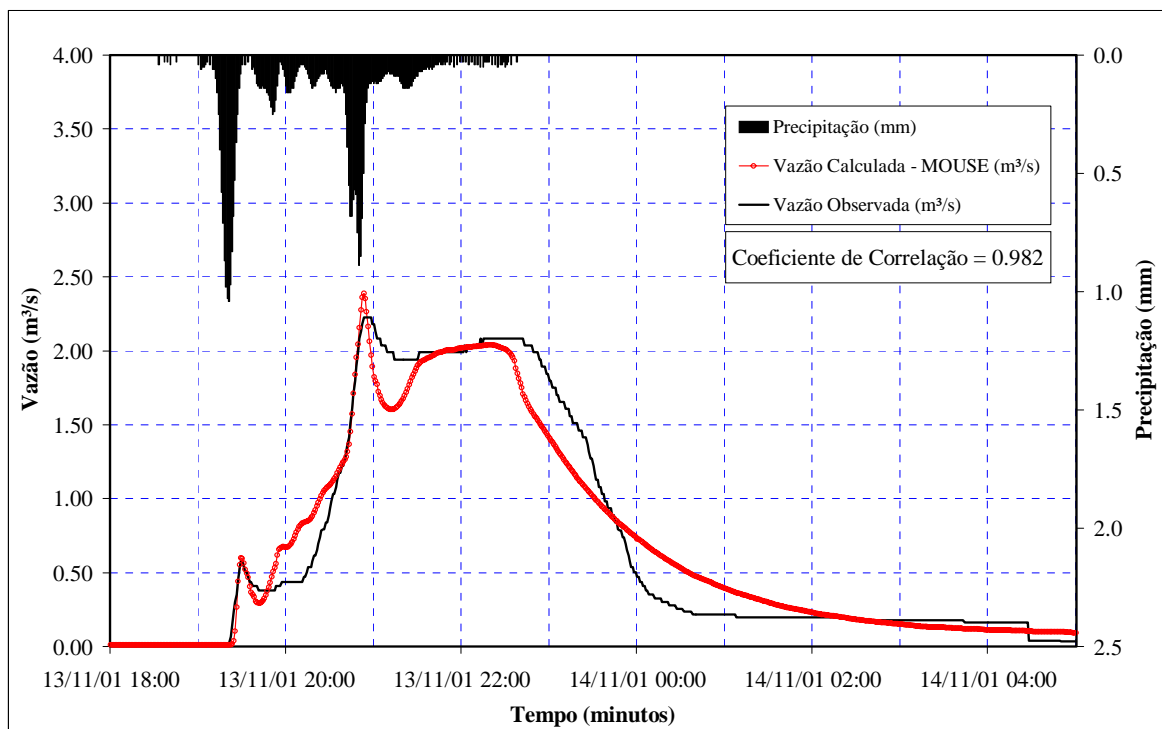


Figura 7. Resultado da calibração evento do dia 13/11/2001.

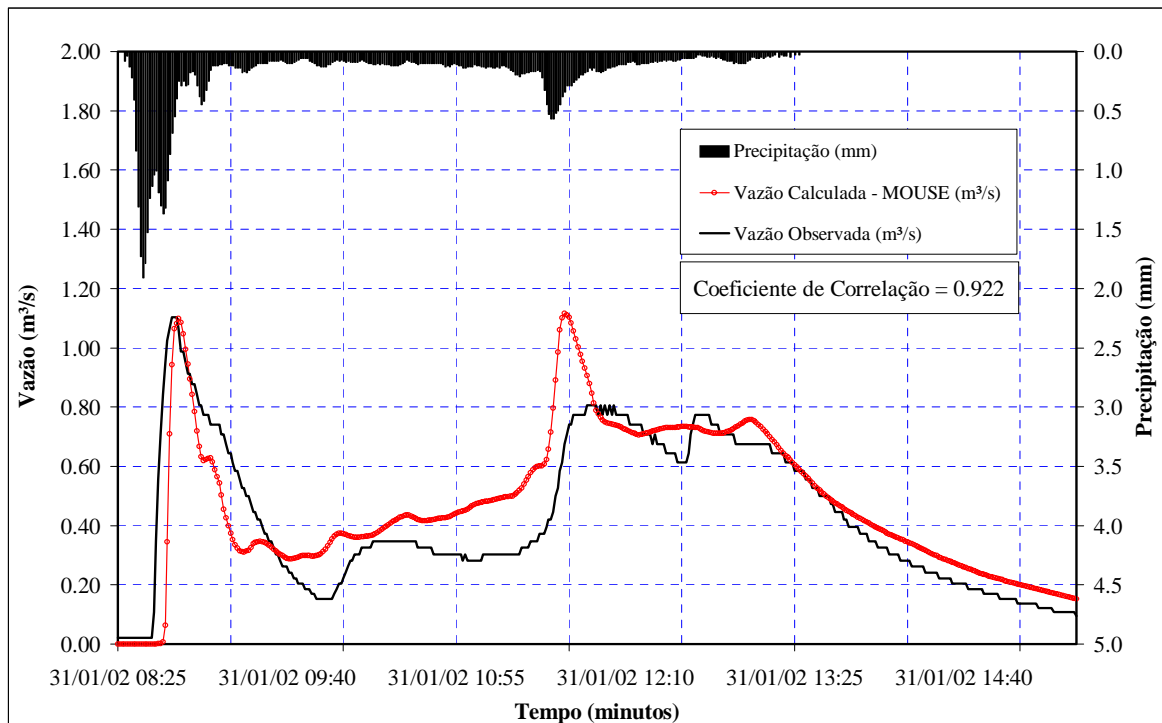


Figura 8. Resultado da calibração evento do dia 31/01/2002.

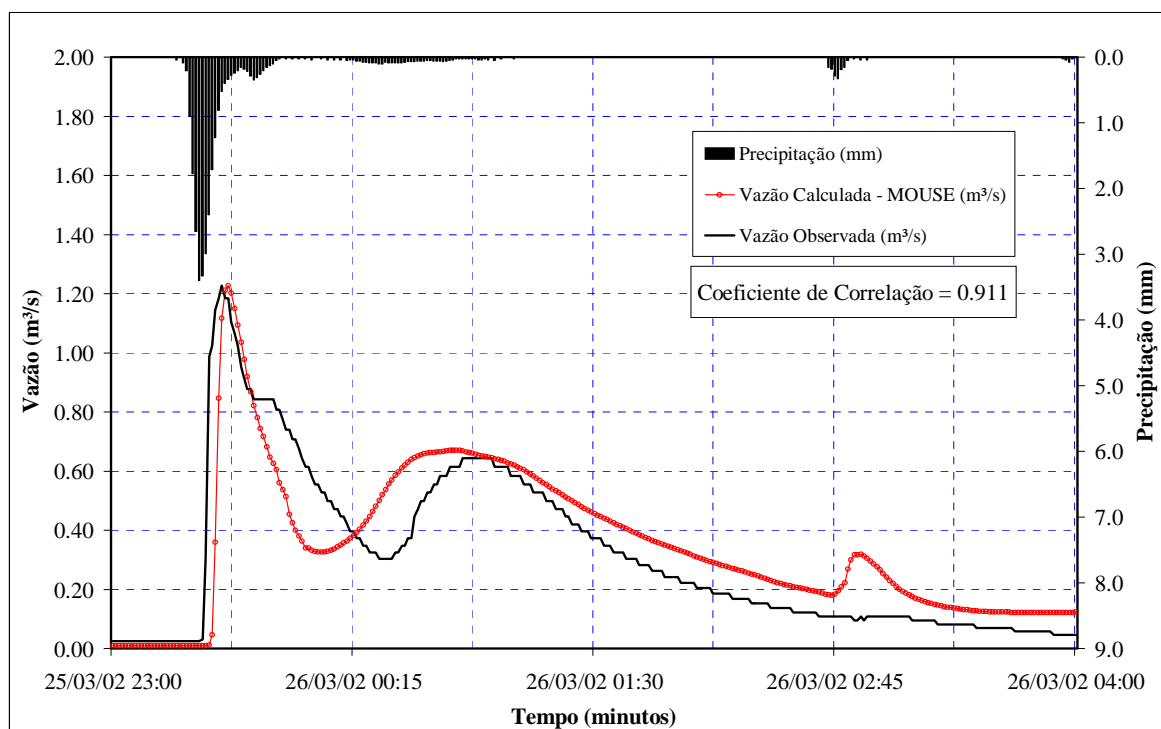


Figura 9. Resultado da calibração evento do dia 25/03/2002.

CONCLUSÕES

O trabalho teve por objetivo a avaliação do software MOUSE, na modelagem de uma rede de microdrenagem de uma pequena bacia am Santa Maria-RS, utilizando dados de monitoramento hidrológico. Foram obtidos na comparação entre os hidrogramas observados e calculados, coeficientes de correlação maiores que 0.91 em todas as simulações sendo que o erro médio no ajuste das vazões de pico foi aproximadamente 5%. O ajuste no tempo do pico também foi satisfatório, o erro de posicionamento das vazões de pico foi em média 2.4 minutos. O ajuste dos volumes mostrou os maiores erros, mas mesmo assim satisfatórios, apresentando valor em média menor que 30%.

As estatísticas apresentadas mostram em geral que o software apresentou bons resultados, ajustando satisfatoriamente as vazões de pico e os volumes dos hidrogramas calculados, afirmando a boa representação dos processos hidráulicos e hidrológicos na rede de drenagem. Este trabalho está em andamento. Nas próximas etapas pretende-se utilizar eventos observados de maior intensidade, bem como apresentar soluções alternativas para minimizar os problemas de alagamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pela bolsa de estudos, ao DHI na pessoa do Sr. Alejandro Ernesto Lasarte pelo apoio e liberação do software utilizado no trabalho, ao CNPq e FINEP pelo apoio financeiro e ao servidor técnico Alcides Sartori pelo auxílio nos trabalhos de campo.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, M.B.; HAVNO, K.; HOFF-CLAUSSEN, N.E.; KEJ, A. (1982). A modeling system for the operation of storm-sewer networks. In: Engineering applications of computational hydraulics. London : Pitman, 1982, vol. 1, p.11-39p.
- ABBOTT, M.B.; MINNS, A.W. (1998). Computational Hydraulics. 2nd ed. Aldershot: Ashgate, 1998. 557 p.
- CUNGE, J. A. (1980). Practical aspects of computational river hydraulics. London: Pitman Advanced. 420 p.
- DHI Water & Environment. (2002a). MOUSE PIPE FLOW: Reference Manual. DHI Software 2002, 118p.
- DHI Water & Environment. (2002b). MOUSE Surface Runoff Models: Reference Manual. DHI Software 2002, 51p.
- HUBER, W.C.; DICKINSON, R.E. (1992). Storm Water Management Model, version 4: user's manual. EPA/600/3-88/001a (NTIS PB88-236641/AS). U.S. Environmental Protection Agency. Athens, Georgia .
- MARK, O.; MARSH, H. (2003). Urban Drainage Modeling - A collection of experiences from the past decade. Internet: <http://www.dhisoftware.com/book/index.htm>.
- MELLER, A.; PARANHOS, R. M.; PAIVA, E. M. C. D.; PAIVA, J. B. D. (2002). Parâmetros de Calibração do Modelo IPH II na Bacia Hidrográfica do Vacacaí Mirim In: Reunião Final da REHIDRO, 2002, Vitória-ES. Rede Cooperativa em Recursos Hídricos. São Paulo: FINEP, v.1. p.1 - 10
- NEVES, M.G.F.P. das (2000). Modelo Hidrodinâmico de redes de drenagem de águas pluviais: aplicabilidade. Porto Alegre: UFRGS – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Dissertação (Mestrado Engenharia).
- RAMPELOTTO, G., PAIVA, E. M. C. D., MELLER, A. (2001). Monitoramento da bacia hidrográfica Alto da Colina In: I Seminário de Drenagem Urbana do MERCOSUL, V Seminário Nacional de Drenagem Urbana, 2001, Porto Alegre. Soluções para a Drenagem Urbana em Países da América Latina. Porto Alegre: ABRH, 2001. v.1. p.161 - 166

- RAMSEYER, J. S. (1996).Modelo Hidrológico-hidrodinâmico de redes pluviais.Porto Alegre: UFRGS – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 106 p. Dissertação (Mestrado Engenharia).
- TUCCI, C.E.M. (1998).Modelos Hidrológicos. Porto Alegre: Ed. da Universidade. UFRGS. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. p. 248-276. 668 p.
- VILLANUEVA, A.O.N. (1990).Modelo para escoamento não-permanente em uma rede de condutos. Porto Alegre: UFRGS – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.83 p. Dissertação (Mestrado Engenharia).
- VILLANUEVA, A.O.N.; TUCCI, C.E.M. (1995).Simulação Hidrodinâmica de Rede de Condutos Pluviais. In: Métodos Numéricos em Recursos Hídricos 2. Rio de Janeiro: Ed. da Associação Brasileira de Recursos Hídricos.p.105-154. 206 p.