

1º SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL
I SIMPÓSIO DE ÁGUAS DA AUGM

**COMPARAÇÃO DAS RESPOSTAS DO MODELO SWMM PARA
DIFERENTES AMPLITUDES DE CHEIA**

Joaquin I. Bonnetcarrère Garcia¹ & Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva².

Resumo – O desenvolvimento das cidades necessita de planejamento e investimento na infraestrutura, para que o crescimento destas ocorra de maneira sustentável. Uma importante ferramenta que pode ser utilizada para o planejamento e obtenção de respostas, em bacias hidrográficas, são os modelos hidrológicos e hidráulicos. Este trabalho teve por objetivo comparar as respostas do modelo SWMM para a calibração de eventos com faixas de intensidades de precipitação diferentes, buscando o melhor grupo de parâmetros que representem os fenômenos ocorridos na bacia hidrográfica do Arroio Cancela, localizada em Santa Maria-RS. Os grupos de parâmetros calibrados para eventos com faixas similares de intensidade de precipitação apresentaram resultados melhores que o grupo com os parâmetros médios de todos os eventos. O pior ajuste ocorreu na tentativa de simulação dos eventos de alta intensidade, simulados com os parâmetros obtidos na calibração dos eventos de baixa intensidade. Os eventos de baixa intensidade de precipitação também apresentaram uma perda na qualidade da calibração quando utilizados os parâmetros médios de todos os eventos. A calibração realizada para um conjunto de eventos de características semelhantes, apresentou melhores resultados que a calibração obtida para eventos de características diferentes, mesmo que em maior número.

Abstract – The cities development needs planning and investment in the infrastructure, so that the growth of these it occur in a maintainable way. An important tool can be used for the planning and obtaining of good results, in catchments, they are the hydrologic and hydraulic models. The work purpose to evaluate the efficiency in the calibration of the SWMM model, for events with intensities different zones, inquiry the best group of parameters to represent the phenomena of precipitation, in the Cancela catchment, at Santa Maria city. The parameters groups calibrated for events with similar intensity precipitation zones presented better results than the group with average parameters of entire the events. The worst adjustment occurred in the attempt of simulation of high intensity events, simulated with the parameters obtained in the calibration of low intensity events. The intensity low precipitation events also presented a loss in the quality of the calibration when used the average parameters of entire the events. The calibration made for a group of events with similar characteristics it presented better results than the calibration obtained for events with different characteristics, even so in larger number.

Palavras-Chave – Calibração, drenagem urbana, modelagem.

¹ Eng. Civil, Aluno de Mestrando – Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – CT – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Campus Universitário – Santa Maria – RS – CEP: 97105-900; fone: (55)99849621; fax: (55)220-8030; jigarcia@mail.ufsm.br

² Professora Doutora – Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – CT - Departamento de Hidráulica e Saneamento – Campus Universitário – Santa Maria – RS – CEP: 97105-900; fone: (55)220-8483; fax: (55)220-8030; eloiza@ct.ufsm.br

INTRODUÇÃO:

O desenvolvimento das cidades necessita de planejamento e investimento na infra-estrutura, para que o crescimento destas ocorra de maneira sustentável. Muitos municípios brasileiros realizam obras hidráulicas sem projetos e estudos de capacidade destas para os eventos de cheia. Este problema pode ser devido a diversos fatores dentro dos quais podemos citar a falta de iniciativa do poder público e dos responsáveis, a falta de verbas para o financiamento de projetos e a falta de dados e informações que possibilitem a aplicação de metodologias.

O desenvolvimento de ferramentas computacionais tem contribuído no processo de aquisição de dados, que aliados a informações georeferenciadas, trás uma melhoria na qualidade dos bancos de dados.

Uma importante ferramenta que pode ser utilizada para o planejamento e obtenção de respostas da bacia hidrográfica são os modelos hidrológicos e hidráulicos, com os quais podem ser analisadas condições específicas. A modelagem na drenagem urbana se propõe a analisar e verificar diversas condições de funcionamento dos sistemas de drenagem, assim como a avaliação de todas as respostas da bacia, como parte da estratégia e planejamento detalhado do sistema, avaliação da poluição, gerenciamento operacional, controle em tempo real e análise de interação entre sub-bacias (Maksimovic, 2001).

Para que os modelos hidrológicos e hidráulicos possam representar de forma segura e realística as características da bacia em estudo, é de fundamental importância a confiabilidade de sua calibração. Tucci (1998) orienta o uso e aplicação de modelos hidrológicos, na qual podemos ressaltar as seguintes orientações:

- Os parâmetros dos modelos podem variar de acordo com as características das bacias, mas também são influenciados na vazão de saída por outras condições, como as condições iniciais de umidade antecedente, perdas iniciais, entre outros.
- O ajuste do modelo é realizado com o objetivo de retratar apenas os períodos específicos de um determinado local e o modelo de ajuste não tem compromisso com ajuste de outras condições da bacia hidrográfica apresentem um bom desempenho.
- Os eventos devem ser selecionados com o objetivo de representar as condições de prognóstico desejadas, escolhendo os eventos de melhor representem essa condição, dois ou três, evitando a tendenciosidade do prognóstico.

Não existem regras e metodologias bem definidas para aplicação e calibração de modelos, a necessidade de minimizações dos erros conduz a uma avaliação rigorosa para os eventos que serão simulados. DID (2000) apud Meller (2003) comenta a utilização entre 3 e 6 eventos, porém, quanto

maior for o número de eventos utilizados, mais consistente será o conjunto de parâmetros determinados.

O trabalho teve por objetivo comparar as respostas do modelo SWMM com a calibração de eventos de faixas de intensidades de precipitação diferentes, buscando o melhor grupo de parâmetros que representem os fenômenos ocorridos na bacia hidrográfica do Arroio Cancela, localizada em Santa Maria-RS, para diferentes amplitudes de cheia.

METODOLOGIA:

O trabalho realizou-se na Bacia Hidrográfica do Cancela, afluente do Arroio Cadena. Ela situa-se na região urbana do município de Santa Maria-RS, entre as coordenadas 53°48'44'' e 53°47'12'' de longitude oeste e 29°43'02'' e 29°41'31'' de latitude sul. A figura 1 mostra a localização da bacia hidrográfica no município.

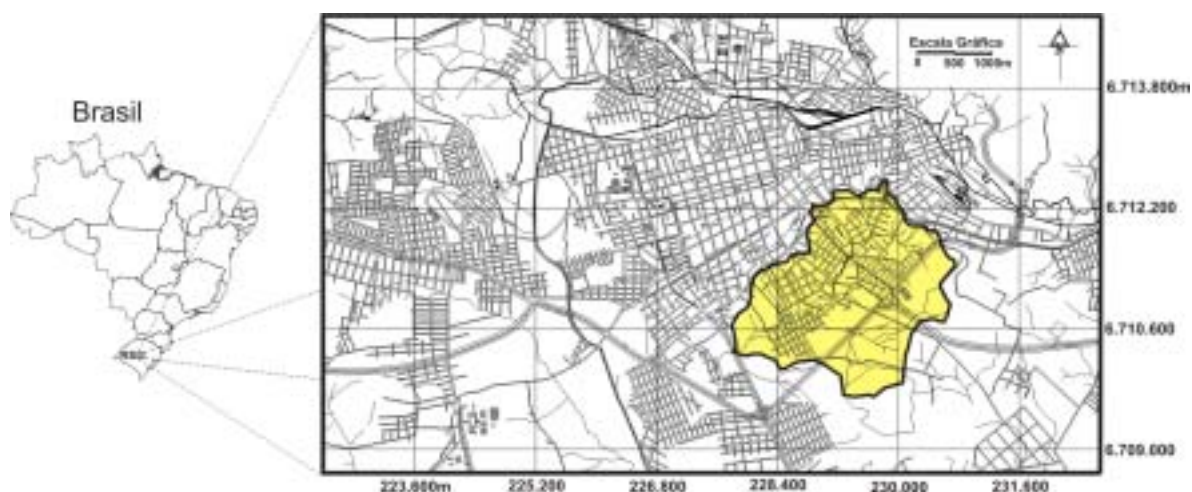


Figura 1 – Localização da Bacia hidrográfica do Cancela

O monitoramento na bacia hidrográfica do Arroio Cancela é realizado através de uma estação: fluviográfica “Cancela” e uma estação pluviográfica “Sest Senat”. A primeira está localizada no exutório da bacia e a estação pluviográfica numa região central da bacia, como podem ser visualizados na figura 2.

A estação fluviográfica está equipada com registrador de nível digital do tipo Orfhimedes (OTT). O intervalo de tempo de registro do nível foi configurado em 5 minutos. O registro de dados em intervalos de tempo pequenos foi uma necessidade à situação, especialmente na área urbana da bacia que tem baixo tempo de concentração.

A determinação da curva-chave partiu inicialmente de medições de vazão em campo determinadas indiretamente através da medição da velocidade, com a utilização de molinetes

hidrométricos ou sensores magnéticos de velocidade, esses últimos utilizados especialmente em períodos de estiagem, baixas velocidades.

A estação pluviométrica Sest Senat é provida de um pluviômetro digital do tipo Pluvio-OTT, configurado para registrar os dados em intervalos de 1 minuto de no mínimo 0,01 mm acumulado neste período.

No intuito da melhor representação das características físicas da bacia em estudo foi gerado o modelo numérico do terreno, através da digitalização das cartas topográficas na escala 1:2000, que contem o plano do sistema de esgotos pluviais, projeto encomendado pela Prefeitura Municipal de Santa Maria à empresa Magna Engenharia LTDA. A figura 2 mostra o mapa que contém o modelo numérico do terreno, este foi gerado pelo software ArcView 3.1. A tabela 1 apresenta algumas características da bacia.

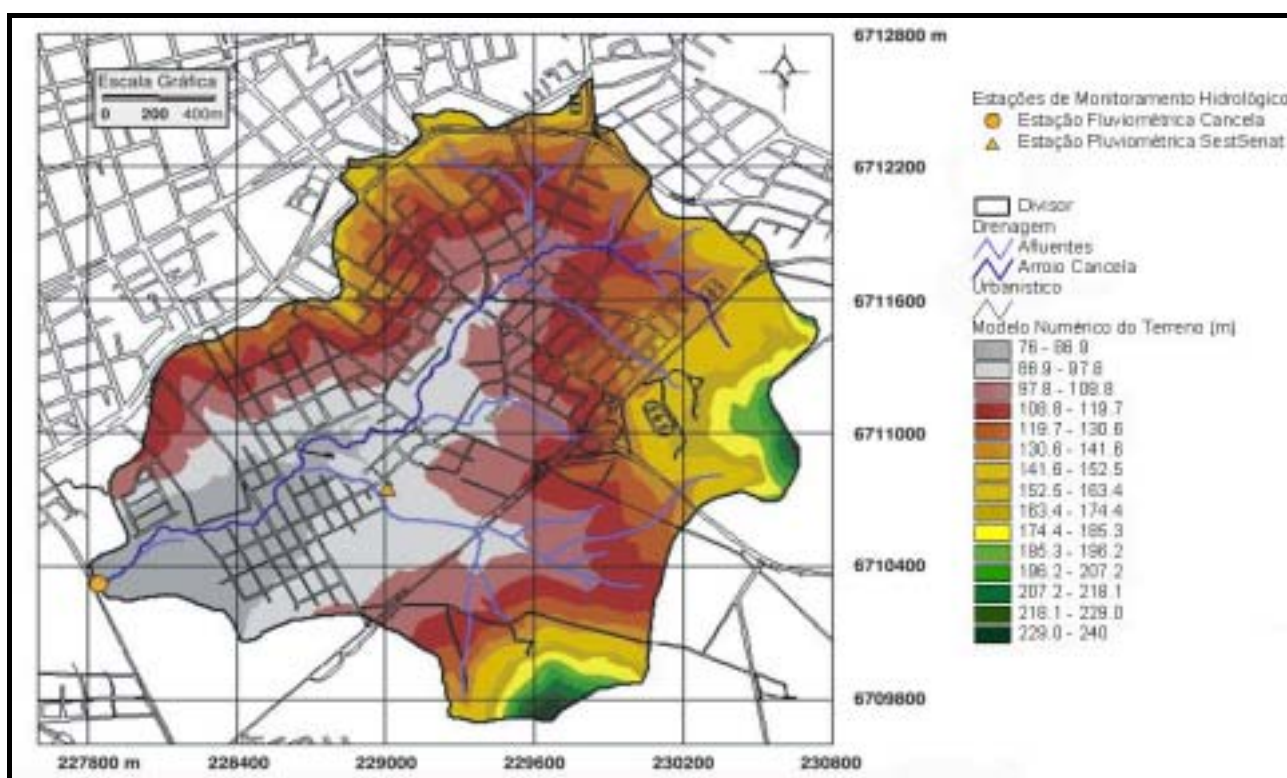


Figura 2 – Modelo numérico do terreno para a Bacia Hidrográfica do Arroio Cancela

Tabela 1. Características físicas da Bacia Hidrográfica do Cancela

Características Físicas	
Área	4,95 km ²
Perímetro	10,29 km
Coefficiente de compacidade	1,29
Fator de Forma	0,36
Declividade do Rio Principal	0,010 m/m
Declividade Média da Bacia	0,1098 m/m

Para a determinação do uso e ocupação do solo foi utilizada uma imagem de 2004, do satélite Ikonos, devido à necessidade de obter dados precisos da urbanização e a exatidão das porcentagens

de áreas impermeáveis. Após o georreferenciamento da imagem foram digitalizadas as classes de usos, como podem ser visualizadas na figura 3.

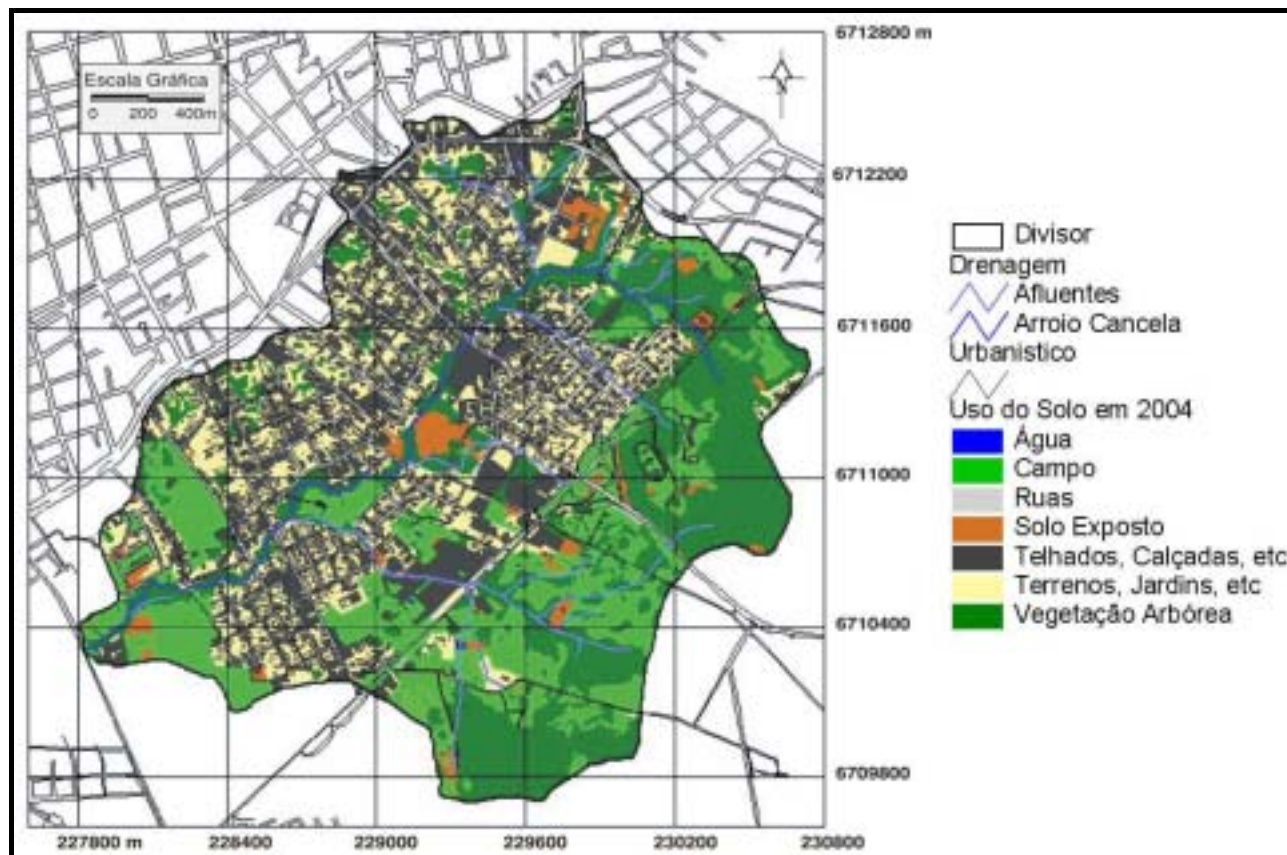


Figura 3 – Uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Arroio Cancela.

Modelo SWMM:

O SWMM é um software bastante difundido e com grande aplicação para bacias urbanas. Ele foi desenvolvido pela U.S. EPA (Environmental Protection Agency) entre 1969 e 1971, após essa data sofreu diversas atualizações (James et al., 2003).

O pacote deste modelo é bastante completo, pois ele se propõe a resolver problemas qualitativos e quantitativos. Huber e Dickinson (1992) apresentam a estrutura do modelo em nove blocos ou módulos, sendo quatro blocos computacionais e cinco blocos de serviços, além do bloco executivo. O bloco “Runoff” refere-se à transformação de chuva em vazão, o bloco “Transport”, ao transporte na rede de drenagem segundo o conceito da onda cinemática, o bloco “Extran” à modelação hidrodinâmica em condutos e canais e o bloco “Storage/Treatment” à qualidade das águas.

O bloco “Runoff” permite a simulação quali-quantitativa das águas escoadas numa bacia e a propagação do fluxo e dos contaminantes até os principais elementos da rede de drenagem. A bacia

é representada na forma de um conjunto de sub-bacias e canais de propagação interconectados. O módulo processa suas rotinas com base em dados de precipitação ou neve, simulando degelo, infiltração em áreas permeáveis (modelos de Horton ou Green Ampt), retenção na superfície, escoamento na superfície e em canais, podendo ser utilizado para simulações de eventos isolados ou contínuos.

Para a análise das sub-bacias, elas são subdivididas em três sub-áreas, duas sub-áreas são impermeáveis, com armazenamento por retenção e sem armazenamento por retenção, e a terceira sub-área é permeável, com armazenamento na depressão do solo.

O escoamento superficial é obtido através de um reservatório não-linear para cada sub-área e pode ser representado pela combinação das equações de Manning e da continuidade, que podem ser escritas da seguinte forma:

$$\frac{dd}{dt} = i^* - \frac{W}{A.n} (d - d_p)^{5/3} S^{1/2} \quad (1)$$

W = largura representativa da sub-bacia.

n = coeficiente de rugosidade de Manning.

A = área da sub-bacia.

S = declividade da sub-bacia.

d_p = altura do armazenamento por depressão.

i^* = precipitação efetiva.

d = profundidade da água no reservatório.

t = tempo.

A resolução desta equação diferencial não linear pode ser resolvida para valores de d desconhecidos, através do processo iterativo de Newton-Raphson. As informações básicas para as simulações hidrológicas chuva-vazão são além dos dados de precipitação, as seguintes informações: área da sub-bacia, largura representativa da sub-bacia, coeficiente de rugosidade de Manning, declividade da sub-bacia, altura do armazenamento em depressões e parâmetros de infiltração.

O bloco “Extran” é um modelo hidrodinâmico baseado nas equações de Saint Venant, possibilitando a análise do escoamento em canais abertos e fechados. Simula condições de fluxo a superfície livre e ou pressão. Os “links” transmitem fluxo entre os nós, sendo a variável dependente a vazão. A equação dinâmica utilizada pelo modelo é:

$$Q_{i+\Delta t} = \frac{I}{1 + (g \cdot n^2 \cdot \Delta t) \frac{|V|}{R^{4/3}}} \left\{ Q_i + 2 \bar{V} \left(\frac{\Delta A}{\Delta t} \right)_i + \bar{V}^2 \left[\frac{(A_2 \cdot A_1)}{L} \right] \cdot \Delta t - g \bar{A} \left[\frac{(H_2 \cdot H_1)}{L} \right] \cdot \Delta t \right\} \quad (2)$$

Onde: g é a aceleração de gravidade, R o raio hidráulico, A a superfície da seção transversal do conduto e L o comprimento do conduto. Os sub-índices 1 e 2 referem-se aos extremos de

montante e jusante do conduto respectivamente. Os valores de R, V e A são valores médios ponderados no extremo de jusante do conduto no tempo t e podem ser referidas as variáveis Q e H. Portanto as incógnitas da equação são $Q_{t+\Delta t}$, H_2 e H_1 . Em decorrência, uma expressão é requerida para relacionar Q e H. Esta é obtida da equação da continuidade aplicada aos nós:

$$H_{t+\Delta t} = H_t + \sum \left(Q_t \cdot \Delta t / A_{n_t} \right) \quad (3)$$

Discretização da Bacia Hidrográfica:

Os dados de precipitação utilizados são provenientes da estação pluviométrica Sest Senat, com uma discretização temporal de 1 minuto. A bacia foi discretizada em 18 sub-bacias e 14 trechos do arroio, buscando a melhor representatividade das características naturais da bacia estudada, onde foram consideradas as variações da topografia e da homogeneidade das características urbanas. Na figura 4 pode ser visualizada a discretização das sub-bacias utilizada na simulação.

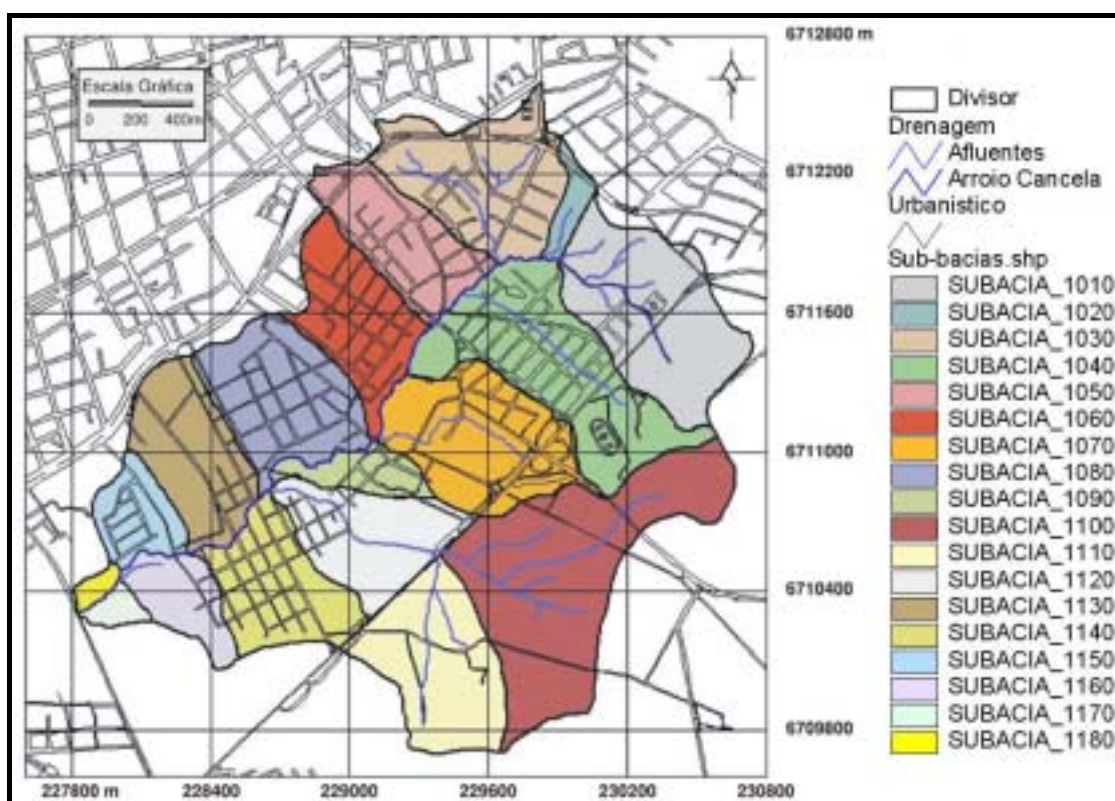


Figura 4 – Discretização das sub-bacias

Calibração dos eventos:

A metodologia para aplicação do modelo consistiu basicamente na calibração dos parâmetros do modelo para duas faixas de eventos, a primeira com eventos de menor intensidade e maior frequência de ocorrência, na segunda os eventos de maior intensidade, apesar de menos frequentes apresentam maior risco ao funcionamento do sistema de drenagem. A partir destes resultados obtidos para as faixas de eventos foi determinado um conjunto único de parâmetros que represente as características da bacia para todas as faixas de eventos. Os conjuntos de parâmetros determinados foram denominados da seguinte forma:

- grupo 1: parâmetros obtidos com os eventos de menor intensidade,
- grupo 2: obtidos com eventos de maior intensidade,
- grupo 3: média dos parâmetros do grupo 1 e 2.

A calibração para as duas faixas de eventos foi realizada de forma independente buscando a melhor representatividade desses eventos, sendo que os parâmetros hidráulicos do rio foram mantidos fixos para todos os eventos. Foram calibrados os parâmetros hidrológicos, tais como, largura do escoamento, taxa de área impermeável, parâmetros de infiltração de Horton e capacidade de armazenamento das sub-bacias.

Na definição da largura do escoamento para as sub-bacias, foi adotado o valor da largura do retângulo equivalente (le), para a representação da bacia hidrográfica de forma retangular.

$$le = \frac{k_c \sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{k_c} \right)^2} \right] \quad (4)$$

$$k_c = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (5)$$

le – largura do retângulo equivalente

A – área da bacia hidrográfica ou sub-bacia

k_c – coeficiente de compacidade

P – perímetro da bacia hidrográfica ou sub-bacia

Na tabela 2 podem ser visualizados os resultados obtidos para a largura do escoamento de cada sub-bacia, a área, a porcentagem de área impermeável e da área e declividade das sub-bacia, respectivamente. A porcentagem de área impermeável para as sub-bacias foi obtida do uso do solo e a declividade obtida da análise do modelo numérico do terreno.

Tabela 2 – Características das sub-bacias utilizadas na simulação

Discretização	Sub-bacia	Largura do escoamento (m)	Área (ha)	% Área Impermeável	Declividade (m/m)
18 sub-bacias	1010	426,31	44,82	11,18	0,0076
	1020	91,42	4,99	34,36	0,0243
	1030	373,89	38,09	51,94	0,0085
	1040	308,49	50,28	43,06	0,0058
	1050	303,84	25,72	64,11	0,0086
	1060	248,78	27,08	56,23	0,0096
	1070	408,20	39,59	43,97	0,0067
	1080	370,75	33,64	54,36	0,0133
	1090	127,14	9,63	31,06	0,0212
	1100	372,81	67,68	3,72	0,0046
	1110	428,92	35,30	8,41	0,0104
	1120	325,29	27,81	49,61	0,0067
	1130	375,07	28,45	37,59	0,0017
	1140	298,41	27,25	54,21	0,0104
	1150	185,30	13,34	38,09	0,0554
	1160	221,97	13,53	10,60	0,0145
	1170	114,34	3,37	28,97	0,0796
	1180	79,43	2,23	2,31	0,0512

Os resultados obtidos na calibração para as faixas de eventos baixos, altos e a calibração única, grupos 1, 2 e 3 respectivamente podem ser vistos na tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros utilizados na simulação

<i>Faixa dos eventos (Parâmetros)</i>	<i>Eventos Simulados</i>	<i>n</i> área imperme.	<i>n</i> área perm.	<i>n</i> das margens do Arroio	<i>n</i> do leito do Arroio	<i>dpi</i> (mm)	<i>dp</i> (mm)	<i>I₀</i> (mm/h)	<i>I_b</i> (mm/h)	<i>K</i> (s ⁻¹)
<i>Eventos de baixa intensidade (Grupo 1)</i>	10/09/04	0,022	0,43	0,07	0,023	3	4	80	5	0,00558
	22/09/04	0,022	0,43	0,07	0,023	3	4	60	5	0,00558
	12/10/04	0,022	0,43	0,07	0,023	3	4	170	5	0,00558
<i>Eventos de alta intensidade (Grupo 2)</i>	07/05/04	0,017	0,23	0,07	0,023	5	6	120	2,3	0,00658
	10/06/04	0,017	0,23	0,07	0,023	5	6	180	2,3	0,00658
	09/11/04	0,017	0,23	0,07	0,023	5	6	180	2,3	0,00658
<i>Média (Grupo 3)</i>		0,020	0,33	0,07	0,023	4	5	132	3,7	0,0061

Onde: *n* - coeficiente de Manning, *dpi* e *dp* – parâmetros de armazenamento nas áreas impermeável e permeável, *I₀* e *I_b* - parâmetros da equação de infiltração de Horton, que representam as capacidades inicial e mínima de infiltração do solo, respectivamente e *K* – coeficiente de decaimento.

A qualidade do ajuste na calibração foi avaliada pelo coeficiente de correlação *C*, definido como:

$$C = \frac{Cov(Q_0, Q_s)}{\sigma_{Q_0} \cdot \sigma_{Q_s}} \quad (6)$$

$Cov(Q_0, Q_s)$ - covariância entre as vazões observadas e calculadas

σ_{Q_0} - desvio padrão das vazões observadas

σ_{Q_s} - desvio padrão das vazões calculadas

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

O modelo apresentou em geral bom ajuste, para os eventos simulados, das vazões de pico e volume escoados calculados para a bacia em estudo, como pode ser observado pelo coeficiente de correlação C, na tabela 4. A discretização temporal utilizada nas simulações foi de 5 minutos.

Tabela 4 – Resultados do ajuste dos parâmetros

Parâmetros	Discretização	R ²	C	Qp_{cal}/Qp_{obs}	V_{cal}/V_{obs}	Erro Tp (min)	$Qp_{cal} - Qp_{obs}$ (m ³ /s)	$V_{cal} - V_{obs}$ (m ³)
<i>Eventos Baixa intensidade (Grupo 1)</i>	10/9/2004	0,93	0,96	1,11	1,30	00:00	0,17	5616,79
	22/9/2004	0,84	0,92	1,15	0,95	00:05	0,17	-1389,18
	12/10/2004	0,88	0,93	1,03	1,72	00:05	0,13	13508,70
<i>Eventos alta intensidade (Grupo 2)</i>	7/5/2004	0,94	0,97	0,99	1,19	00:05	-0,08	13972,02
	10/6/2004	0,95	0,96	0,98	1,02	00:00	0,31	-1660,85
	9/11/2004	0,96	0,98	0,95	1,14	00:10	-0,43	22266,55

V_{obs} e V_{cal} – volume observado e calculado respectivamente

Qp_{obs} e Qp_{cal} – vazões de pico observadas e calculadas respectivamente

Tp – tempo de Pico

Analisando os parâmetros calibrados pode-se notar um comportamento bem definido para o coeficiente de rugosidade de Manning e os parâmetros de armazenamento entre os eventos de baixa intensidade, se comparados com os eventos de alta. Os coeficientes de rugosidade de Manning calibrados apresentaram um valor maior para os eventos de baixa intensidade de precipitação, isso pode ser explicado ao fato desses eventos possuírem uma lâmina de escoamento superficial menor, oferecendo maior resistência ao escoamento. Já para os parâmetros de armazenamento os eventos de alta intensidade apresentaram valores maiores, caracterizando uma maior retenção do escoamento sobre a superfície. Essa retenção ocorre em maior escala nos eventos de grande intensidade devido à falta de capacidade de escoamento do sistema de drenagem nos eventos maiores.

Os resultados obtidos nas simulações foram avaliados através das funções de estimativa do erro no tempo de pico, na vazão de pico e no volume entre os hidrograma simulados e os observados na estação fluviométrica “Cancela”, como mostrado a tabela 4. Para os eventos calibrados de maior intensidade de precipitação foram obtidos coeficientes de correlação maiores que 0,96, na comparação entre os hidrogramas observados e calculados, sendo que o erro médio no ajuste das vazões de pico foi 2,8 % e no volume escoado 2,3 %. O ajuste no tempo do pico também foi satisfatório, o erro de posicionamento das vazões de pico foi em média 3 minutos.

Para os eventos de menor intensidade foram obtidos coeficientes de correlação C maiores que 0,92 para as simulações. O erro médio no ajuste das vazões de pico foi 8,9 % e no volume 28,9 %. O ajuste no tempo do pico também foi satisfatório, o erro de posicionamento das vazões de pico foi em média 5 minutos.

Para a verificação da eficiência da calibração para grupos de eventos, foram analisadas duas calibrações distintas. A primeira calibração adotada foi obtida da média dos parâmetros obtidos nas duas faixas de eventos, já definida como grupo 3, mostrado na tabela 3. Para a segunda verificação foi utilizada a calibração dos eventos de baixa intensidade (grupo 1) para simular os eventos de alta intensidade de precipitação. Os resultados obtidos na simulação podem ser vistos na tabela 5.

Tabela 5 – Resultados da simulação para as duas condições analisadas

Parâmetros	Discretização	R^2	C	Qp_{cal}/Qp_{obs}	V_{cal}/V_{obs}	Erro Tp (min)	$Qp_{cal} - Qp_{obs}$ (m³/s)	$V_{cal} - V_{obs}$ (m³)
Todos os eventos calibrados com os parâmetros do (Grupo 3)	7/5/2004	0,94	0,96	0,97	1,17	00:05	-0,24	12655,47
	10/6/2004	0,90	0,94	0,97	0,96	00:05	-0,42	-3483,08
	10/9/2004	0,92	0,96	1,12	1,24	00:00	0,19	4528,42
	22/9/2004	0,83	0,91	1,15	0,91	00:10	0,17	-2715,21
	12/10/2004	0,88	0,93	1,00	1,66	00:05	-0,01	12386,16
	9/11/2004	0,96	0,97	0,85	0,92	00:10	-1,24	-12487,25
Eventos de alta intensidade calibrados com os parâmetros do (Grupo 1)	7/5/2004	0,94	0,97	0,96	1,17	00:05	-0,25	12208,18
	10/6/2004	0,90	0,94	0,93	0,90	00:05	-1,09	-9773,75
	9/11/2004	0,94	0,96	0,82	0,86	02:55	-1,49	-21984,17

V_{obs} e V_{cal} – volume observado e calculado respectivamente

Qp_{obs} e Qp_{cal} – vazões de pico observadas e calculadas respectivamente

Tp – tempo de Pico

Quando analisamos os resultados provenientes da simulação com um conjunto único de parâmetros (grupo 3) para todos os eventos, nota-se uma perda significativa na qualidade da calibração, principalmente para os eventos de alta intensidade. O erro médio no ajuste das vazões

de pico foi 7,1 % e 9,26% no volume escoado 9,6 % e 29,7 % para os eventos de alta e baixa intensidade respectivamente. Quanto às alterações em relação ao posicionamento do pico do hidrograma, notaram-se mudanças pouco significativas.

Para os eventos de alta intensidade simulados com os parâmetros obtidos na calibração dos eventos de baixa intensidade (grupo 1), nota-se uma perda ainda maior na qualidade dos resultados, se comparados com os obtidos na simulação com os parâmetros únicos (grupo 3) para todos os eventos. O erro médio no ajuste das vazões de pico foi 9,5 no volume escoado 13,4 %. A tabela 6 resume os resultados médios obtidos para a vazão de pico e o volume escoado para os diversos tipos de calibração.

Tabela 6 – Erro médio na vazão de pico e no volume escoado para as diferentes calibrações

<i>Faixa de Eventos</i>	<i>Eventos de Alta intensidade</i>	<i>Eventos de Alta intensidade</i>	<i>Eventos de Alta intensidade</i>	<i>Eventos de Baixa intensidade</i>	<i>Eventos de Baixa intensidade</i>
<i>Grupo de parâmetros</i>	2	1	3	1	3
<i>Erro médio na Vazão de Pico - EQp</i>	2,8%	9,5%	7,1%	8,9%	9,3%
<i>Erro médio no Volume escoado -EVesc</i>	2,3%	13,4%	9,5%	28,9%	29,8%

As figuras 5, 6 e 7 apresentam os hidrogramas resultantes das simulações para os eventos de alta intensidade de precipitação, as figuras 8, 9 e 10 ilustram os hidrogramas dos eventos de baixa intensidade de precipitação.

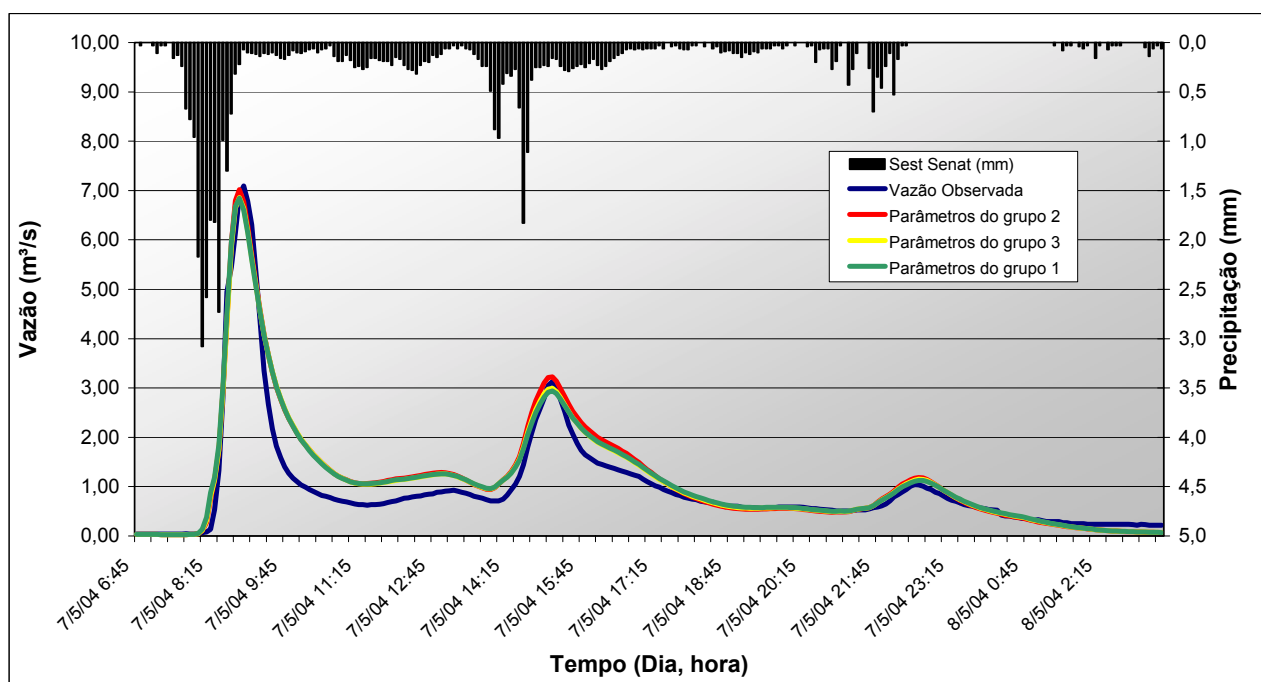


Figura 5 – Evento de alta intensidade do dia 07/05/2004

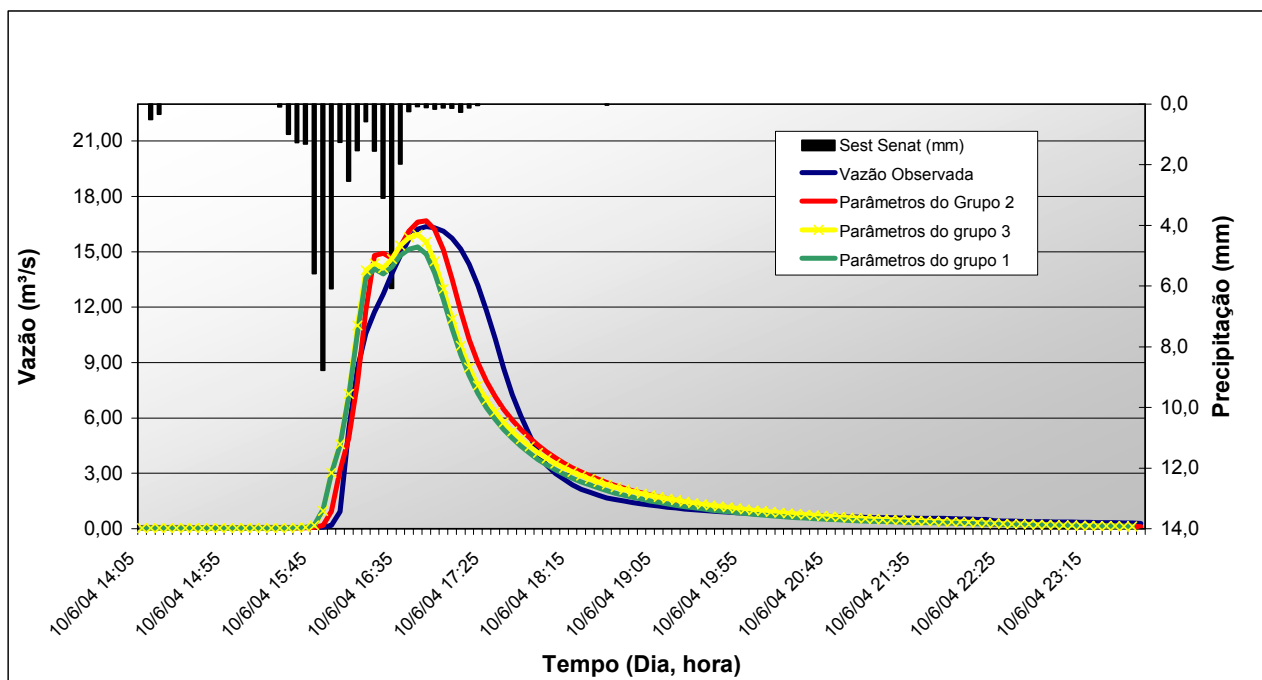


Figura 6 – Evento de alta intensidade do dia 10/06/2004

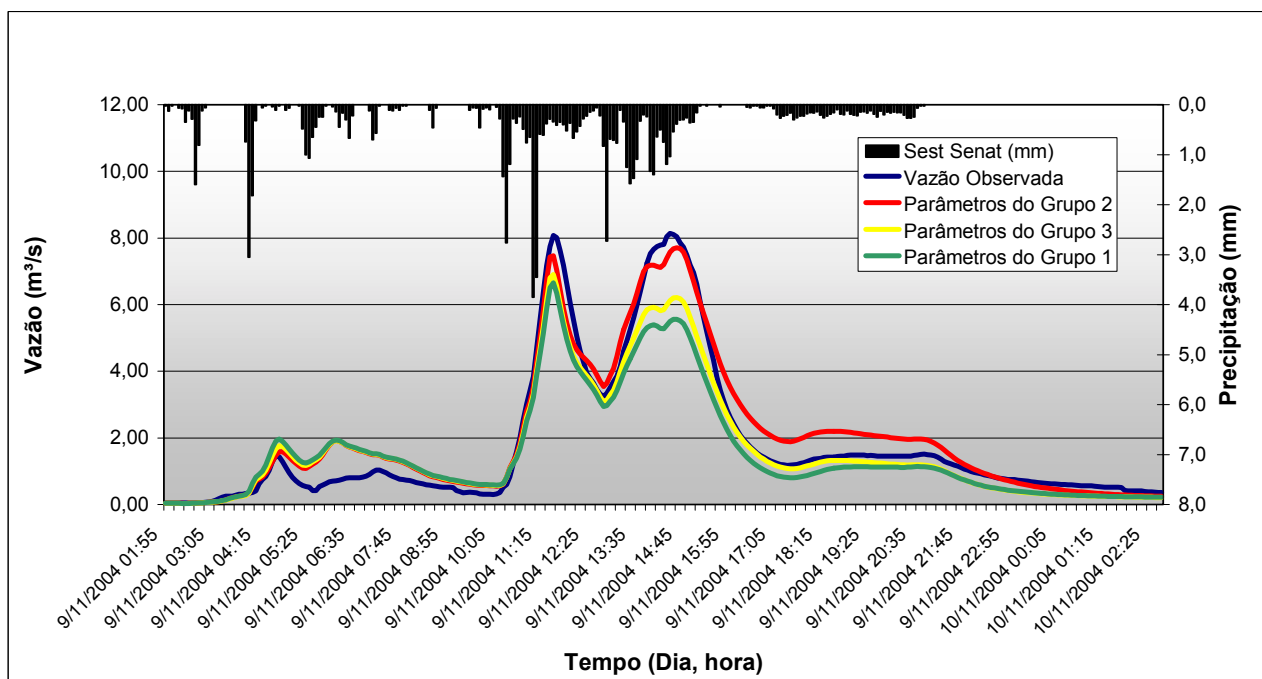


Figura 7 – Evento de alta intensidade do dia 09/11/2004

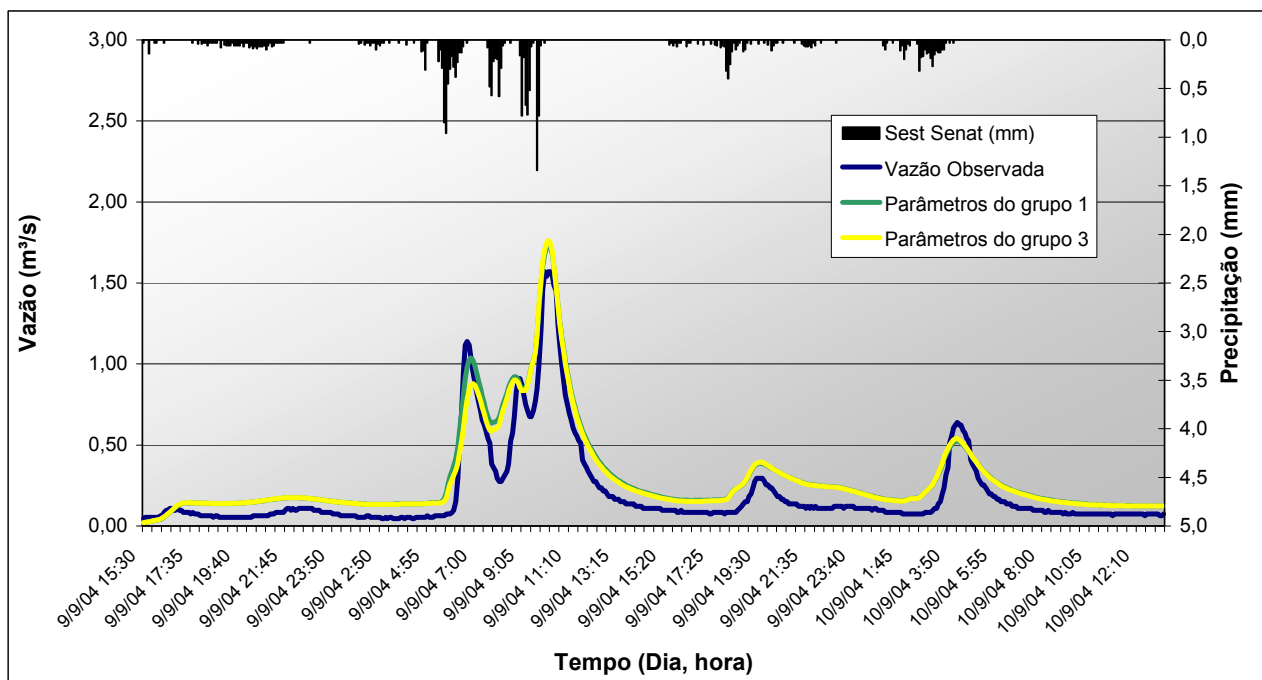


Figura 8 – Evento de baixa intensidade do dia 10/09/2004

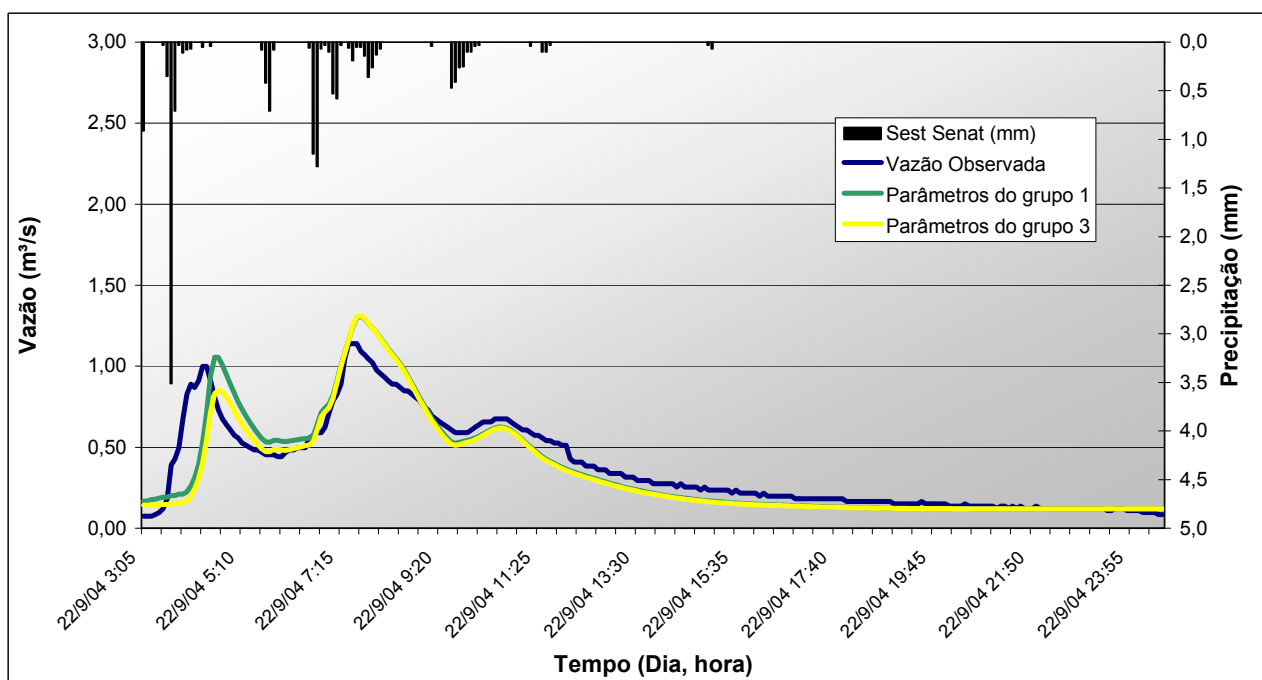


Figura 9 – Evento de baixa intensidade do dia 22/09/2004

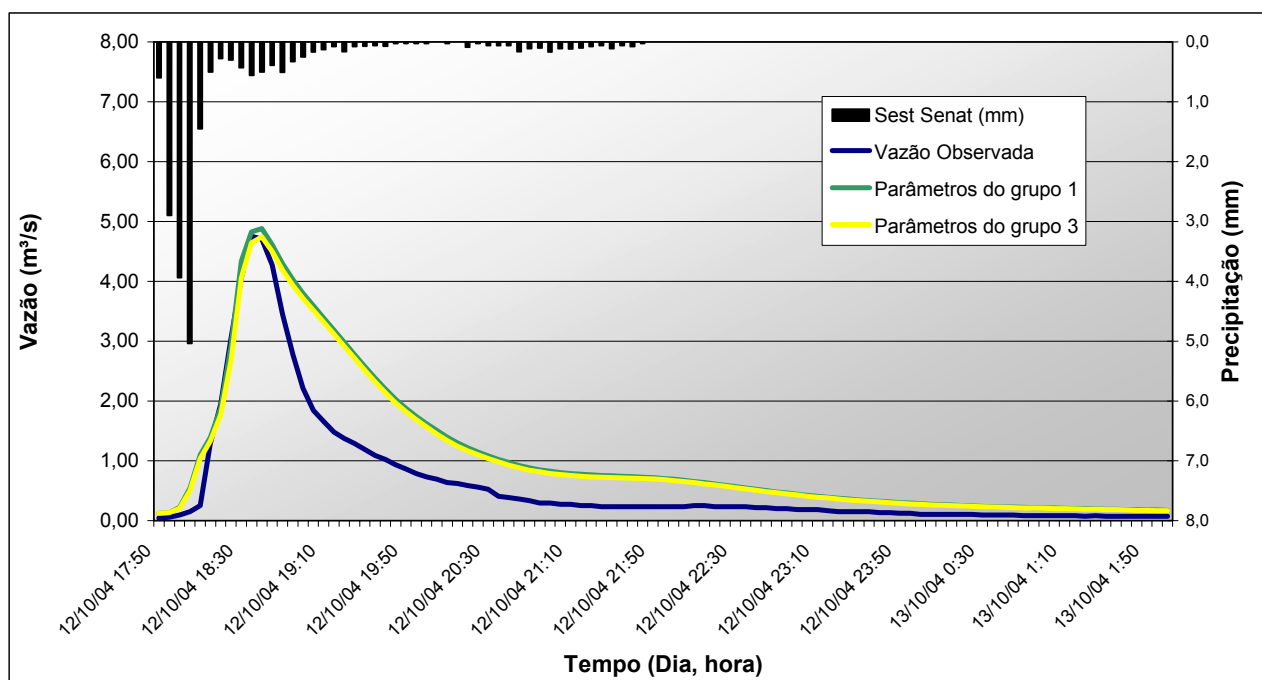


Figura 10 – Evento de baixa intensidade do dia 12/10/2004

CONCLUSÕES:

O trabalho teve por objetivo comparar a resposta do modelo SWMM na calibração de seus parâmetros para eventos de faixas de intensidades diferentes, buscando o melhor grupo de parâmetros que represente os fenômenos ocorridos na bacia hidrográfica para uma determinada condição. A simulação dos eventos de chuva foi realizada na bacia hidrográfica do Arroio Cancela na cidade de Santa Maria-RS, utilizando dados de monitoramento hidrológico.

Na análise dos parâmetros foi possível verificar um comportamento bem definido para o coeficiente de rugosidade de Manning e os parâmetros de armazenamento entre os eventos de baixa e alta intensidade. Para os eventos de baixa intensidade foram encontrados coeficientes de rugosidade maiores e os parâmetros de armazenamento menores, se comparados com os eventos de alta intensidade de precipitação.

Os grupos de parâmetros calibrados para eventos com faixas similares de intensidade de precipitação (grupos 1 e 2) apresentaram resultados melhores que o grupo com os parâmetros médios de todos os eventos (grupo 3). Os eventos de alta intensidade, calibrados com os parâmetros específicos para sua faixa de intensidade (grupo 2), apresentaram coeficientes de correlação C maiores que 0,96, erro médio no ajuste das vazões de pico 2,8 % e do volume escoado 2,3 %. Utilizando os parâmetros determinados para todas as faixa de intensidade de precipitação (grupo 3), foram encontrados coeficientes de correlação C maiores que 0,94, erro médio no ajuste das vazões de pico 7,1 % e do volume escoado 9,6 %. Para os parâmetros determinados para as faixas de baixa

intensidade de precipitação (grupo 1), os coeficientes de correlação C foram maiores que 0,94, o erro médio no ajuste das vazões de pico foi 9,5 % e do volume escoado 13,4 %.

O pior ajuste ocorreu na tentativa de simulação dos eventos de alta intensidade calibrados com os parâmetros obtidos na calibração dos eventos de baixa intensidade, representados pelo grupo 1. Os eventos de baixa intensidade de precipitação também apresentaram uma perda na qualidade da calibração quando utilizado os parâmetros médios de todos os eventos, representados pelo grupo 3.

A calibração realizada para um conjunto de eventos de características semelhantes, objetivando eventos específicos, como eventos de cheia, apresentam melhores resultados que uma calibração realizada para eventos de diferente magnitude, mesmo que em número maior de eventos.

Recomenda-se para trabalhos futuros que seja analisada uma bacia com um período de monitoramento maior, pois neste trabalho a escassez de dados, para a calibração, não possibilitou uma maior subdivisão das faixas de precipitação.

AGRADECIMENTOS:

Os autores agradecem ao GHIDROS pelo apoio e equipamentos disponibilizados, ao CNPq e FINEP pelo apoio financeiro, ao servidor técnico Alcides Sartori pelo auxílio nos trabalhos de campo e aos bolsistas de iniciação científica Rodrigo C. Dias de Paiva e Leandro Pochmann pela ajuda no trabalho de campo e preparação e formatação de dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

HUBER, W.C.; DICKINSON, R.E., 1992. Storm Water Management Model, Version 4: User's Manual. U.S. Environmental Protection Agency.

JAMES, W.; HUBER, W.C.; PITT, R. E.; JAMES, W. R. C.; ROESNER, L. A.; ALDRICH, J. A., 2003. Water Systems Models User's guide to SWMM, Version 9: User's Manual. U.S. Environmental Protection Agency.

MAKSIMOVIC, C., 2001. General overview of urban drainage principles and practice. In: Urban drainage in Specific climates. Volume 1: urban drainage in humid tropics. 227p. Unesco: Paris.

MELLER, A., 2004. Simulação Hidrodinâmica Integrada de Sistema de Drenagem em Santa Maria-RS Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Dissertação (Mestrado Engenharia).

TUCCI, C. E. M., 1998. Modelos Hidrológicos Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS: ABRH.