

Monitoramento Hidrológico e Modelagem da Drenagem Urbana da Bacia do Arroio Cancela - RS

Joaquín Ignacio Bonnetarrère García e Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva

GHIDROS – Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - UFSM

jigarcia@mail.ufsm.br, eloiza@ct.ufsm.br

Recebido: 26/12/05 – revisado: 07/02/06 – aceito: 01/09/06

RESUMO

O crescimento planejado e sustentável das bacias hidrográficas urbanas torna cada vez mais necessário o estudo de ferramentas que possibilitem um melhor entendimento e previsão dos processos ocorridos nas mesmas. Este trabalho tem o objetivo de avaliar a aplicabilidade do modelo Storm Water Management Model (SWMM) em uma bacia hidrográfica urbana monitorada. Foi realizado um estudo da sensibilidade dos parâmetros e da influência do grau de discretização da bacia na simulação de eventos e analisadas as mudanças ocorridas nos hidrogramas de cheia causadas pelo processo de urbanização para a bacia hidrográfica do Arroio Cancela, em três períodos com dados de uso e ocupação do solo. O aplicativo SWMM apresentou bons resultados na simulação dos eventos através da calibração de seus parâmetros. Na análise da sensibilidade do módulo Runoff, responsável pela geração do escoamento superficial, os parâmetros que apresentaram maior sensibilidade, quanto à vazão de pico foram: porcentagem de área impermeável (AI) e largura do escoamento das sub-bacias (W). A análise temporal dos hidrogramas de cheia para as datas de 1980, 1992 e 2004 mostram a necessidade urgente de planejamento.

Palavras-chave: Drenagem urbana, uso do solo, sensibilidade de parâmetros, modelo SWMM

INTRODUÇÃO

O estudo de bacias hidrográficas urbanas ganhou maior importância nos últimos anos, devido à necessidade do desenvolvimento de técnicas que minimizem os problemas gerados pelo crescimento acelerado e a falta planejamento de grande parte das cidades brasileiras.

A necessidade do entendimento dos processos ocorridos no escoamento pluvial e as implicações do processo de urbanização no seu funcionamento são de relevada importância para o planejamento sustentável de bacias urbanas.

Na bibliografia existem diversos trabalhos que procuram entender o comportamento do escoamento pluvial em áreas urbanas. Podemos citar Meller (2004) e Silveira & Desbordes (1999) que desenvolveram trabalhos, aplicando modelos distribuídos, para regiões com características semelhantes.

A modelagem na drenagem urbana se propõe atender a diversos objetivos, tais 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).

A heterogeneidade do ambiente urbano torna a utilização destas ferramentas mais complexa. Os modelos distribuídos são os mais indicados para a representação destes ambientes, tendo como dificuldade o entendimento e o domínio dos parâmetros envolvidos na representação dos cenários urbanos.

Choi & Ball (2001) mostram que os parâmetros do escoamento superficial, do modelo Storm Water Management Model (SWMM), são influenciados por diversos fatores relacionados com as características de cada sub-bacia.

Maksimovic (2001) alerta que as bacias devem ser usadas como unidade de planejamento e gerenciamento não só da água, mas também de outros recursos e atividades econômicas e humanas, onde qualquer intervenção deve ser estudada e avaliada suas consequências e benefícios para a bacia.

O conhecimento das modificações do uso e ocupação do solo e suas interferências nos hidrogramas de cheia são essenciais para a elaboração de

diretrizes que conduzam à bacia hidrográfica a um desenvolvimento sustentável.

O presente trabalho tem o objetivo de avaliar o modelo Storm Water Management Model (SWMM) para a bacia hidrográfica urbana, monitorada, do Arroio Cancela. Foi realizado um estudo da sensibilidade dos parâmetros e da influência do grau de discretização da bacia, na simulação de eventos com o modelo, e analisadas as mudanças ocorridas nos hidrogramas de cheia causadas pelo processo de urbanização, para a bacia, em três períodos em que se têm dados de uso e ocupação do solo.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

O trabalho realizou-se na bacia hidrográfica do Arroio Cancela, localizada 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, com área de 4,95 km². Na figura 1 pode ser visualizada a localização da bacia hidrográfica.

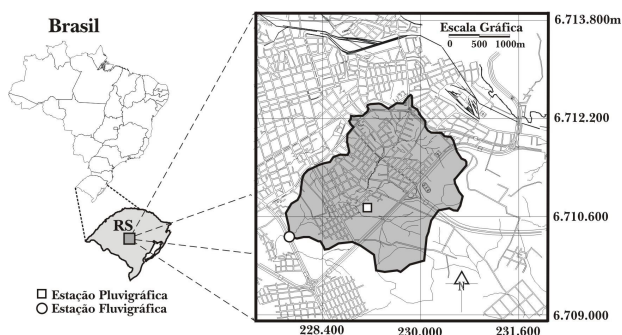


Figura 1 - Localização geográfica da bacia hidrográfica do Arroio Cancela.

O monitoramento na bacia hidrográfica do Arroio Cancela foi 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.

Para a estação fluviográfica Cancela, Garcia (2005) determinou uma curva-chave, onde a vazão foi obtida na seção de medição através da medição da velocidade em períodos de cheia.

ANÁLISE DO PROCESSO DE URBANIZAÇÃO NA BACIA

As características físicas da bacia foram obtidas através da digitalização das cartas topográficas na escala 1:2000, que contém o plano do sistema de esgotos pluviais de Santa Maria-RS. A bacia possui 4,95 km² e 10,29 km de perímetro, sua declividade média é 0,1098 m/m. O rio principal tem 3,74 km de extensão com uma declividade de 0,013 m/m.

As análises do uso e ocupação do solo foram determinadas para três datas 1980, 1992 e 2004.

Para os anos de 1980 e 1992 o uso do solo foi determinado a partir de fotos aéreas nas escalas 1:15000 e 1:10000, respectivamente. Na análise do uso do solo a área foi dividida em sete classes: densidade alta, com mais de 40% de área impermeável; densidade média, com áreas impermeáveis entre 20 e 40%; densidade baixa, com áreas impermeáveis menores que 20%; campo, vegetação arbórea, agricultura e água.

Para o ano de 2004 o uso e ocupação do solo foi determinado a partir de uma imagem do satélite Ikonos. Esta imagem proporciona dados precisos da urbanização, devido sua resolução de um metro. Após o georreferenciamento da imagem foram digitalizadas as classes de usos.

A tabela 2 apresenta os valores obtidos para as classes de uso do solo nas datas de 1980, 1992 e 2004.

Tabela 2- Valores do uso do solo para as datas analisadas

Data	Vegetação Arbórea	Campo	Urbano	Área Impermeável
1980	17,6%	43,4%	39,0%	11,0%
1992	23,0%	29,4%	47,6%	19,0%
2004	26,9%	17,2%	55,9%	34,6%

As figuras 2, 3 e 4 mostram o resultado espacial da análise do uso do solo para as datas de 1980, 1992 e 2004, respectivamente.

Através da análise dos dados obtidos do uso e ocupação do solo constata-se que a bacia hidrográfica do Arroio Cancela encontra-se em processo de urbanização acelerado. A densificação desta área pode ser devida a sua localização e valorização.

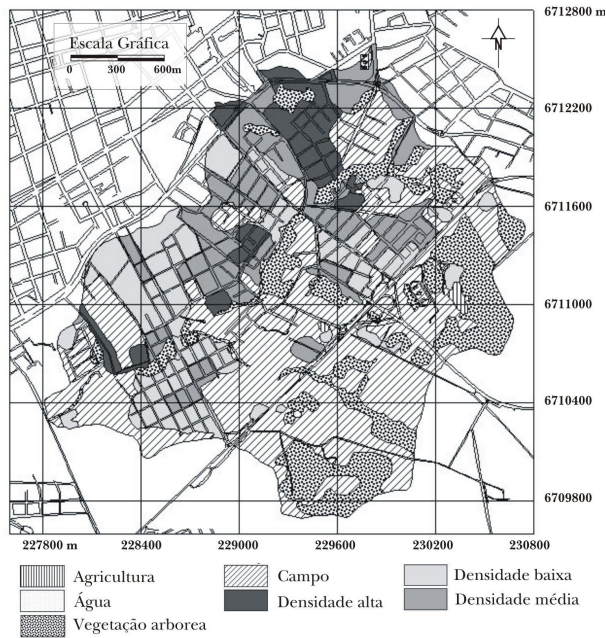


Figura 2 – Uso do solo para a data de 1980.

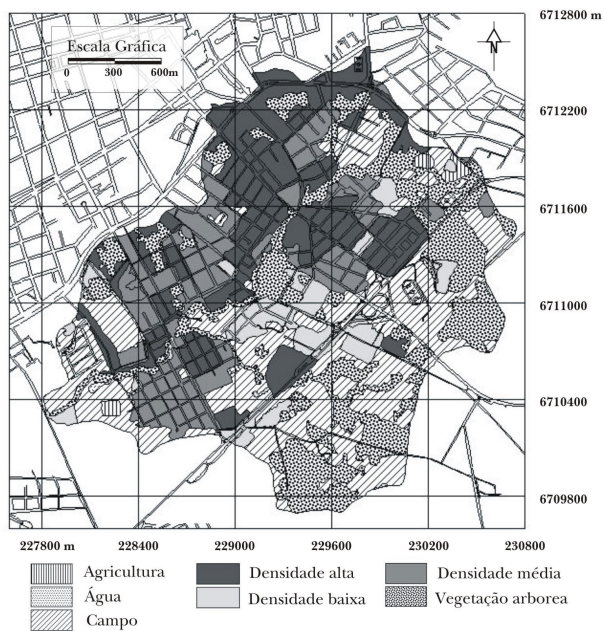


Figura 3 – Uso do solo para a data de 1992.

A área urbana apresentou crescimento de 17%, principalmente sobre as áreas de campo, indicando a urbanização da bacia. Outro fator de elevada importância que se deve analisar é a porcentagem de áreas impermeáveis, pois representa o aumento da densidade das áreas já urbanizadas. O

aumento das áreas impermeáveis foi de 24%, entre 1980 e 2004, sendo que a maior parcela da impermeabilização ocorreu entre os anos de 1992 e 2004 com uma taxa de impermeabilização de 1,3% ao ano.

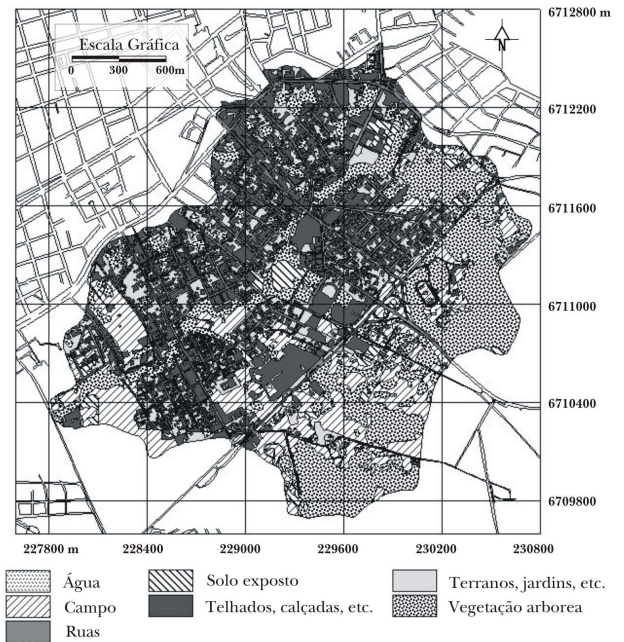


Figura 4 – Uso do solo para a data de 2004.

MODELO STORM WATER MANAGEMENT MODEL - SWMM

O SWMM 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 módulos ou blocos, sendo quatro módulos computacionais e cinco módulos de serviços, além do módulo 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 módulo Runoff permite a simulação qualitativa do escoamento gerado em áreas urbanas e sua propagação na superfície ou através de canais de forma simplificada. 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.

O escoamento superficial é obtido através de um reservatório não-linear para as sub-bacia e pode ser representado pela combinação das equações de Manning e da continuidade. A resolução da equação diferencial não linear é efetuada através do processo iterativo de Newton-Raphson.

O modelo hidrodinâmico Extran propaga o escoamento utilizando as equações completas de Saint Venant tendo a vazão e a cota piezométrica como variáveis. A solução se dá através de um esquema explícito, segundo o método de Euler modificado, e sua condição de estabilidade é definida pelo critério de Courant. O módulo simula efeitos de jusante, fluxo reverso, fluxo a superfície livre e sob pressão. O sistema de drenagem é concebido como uma série de vínculos e nós. Os vínculos (links) transmitem fluxo entre os nós, sendo a variável dependente a vazão. Os nós tem características de armazenamento, sendo a equação da continuidade aplicada aos nós e a equação da quantidade de movimento ao longo dos vínculos (links).

Discretização da bacia

As discretizações realizadas para a bacia em estudo buscaram a subdivisão da área em sub-bacias homogêneas. Para isso foram utilizadas as características físicas, obtidas no modelo numérico do terreno, as informações sobre os sistemas de drenagem existentes e análise do uso e ocupação do solo. Destas análises foram propostos dois níveis de discretização, sendo o primeiro com um maior detalhamento, 18 sub-bacias e 23 trechos do arroio, estes classificados em 13 canais irregulares, 7 orifícios, 2 canais retangulares e 1 trecho com condutos circulares. Os orifícios representam os bueiros nos cruzamento do canal com as ruas existente. Esta discretização denominou-se de discretização detalhada. O segundo nível de discretização, denominado simplificado, possui uma subdivisão em seis sub-bacias e 4 trechos do arroio, todos com seções irregulares. A figura 5 mostra a esquematização da bacia com nível de discretização detalhada.

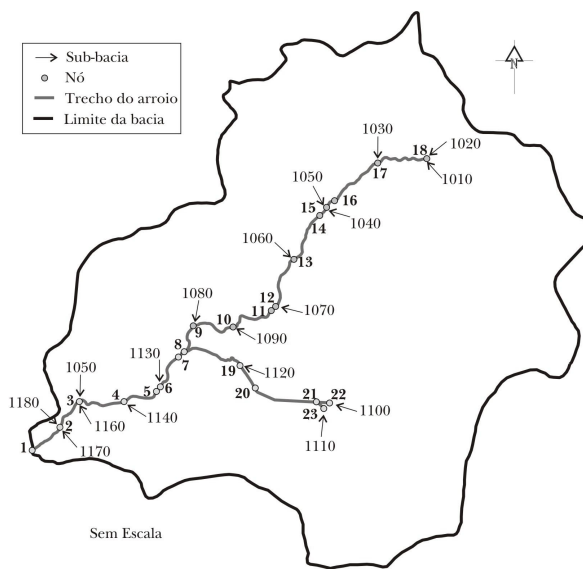


Figura 5 – Esquema das sub-bacias e canais utilizados na simulação com discretização detalhada.

Calibração dos eventos

Os eventos foram calibrados individualmente tentando obter o melhor ajuste individual dos eventos monitorados. Não foi utilizado algoritmo de otimização na calibração dos eventos.

A calibração foi realizada de forma independente buscando a melhor representatividade dos eventos. Foram calibrados os parâmetros hidrológicos, coeficiente de rugosidade de Manning, 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 (l_e), para a representação da bacia hidrográfica de forma retangular, conforme equações 1 e 2.

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

$$k_c = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Onde: l_e – largura do retângulo equivalente; A – área da bacia hidrográfica ou sub-bacia; k_c – coeficiente

ente de compacidade; P – perímetro da bacia hidrográfica ou sub-bacia.

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.

Na tabela 2 podem ser visualizados os valores dos parâmetros obtidos para cada evento durante a calibração.

Tabela 2 – Parâmetros obtidos na calibração dos eventos.

Evento	ni	np	di	dp	I ₀	I _b
10/06/04	0,020	0,25	4,5	5,5	100	3,0
16/10/04	0,019	0,25	4,1	4,7	80	1,5
03/11/04	0,026	0,32	4,9	5,8	160	4,0
09/11/04	0,017	0,23	4,4	5,3	60	2,0
06/12/04	0,027	0,34	4,7	5,9	350	5,0
01/04/05	0,026	0,37	4,8	5,9	300	5,5
média	0,023	0,29	4,6	5,5	175	3,5

Na tabela 2 tem-se: ni e np – coeficiente de rugosidade de Maninng das áreas impermeáveis e permeáveis, respectivamente; di e dp – altura de detenção para as sub-bacias nas áreas impermeáveis e permeáveis, respectivamente; I₀ e I_b parâmetros da equação de infiltração de Horton, que representam as capacidades inicial e mínima de infiltração do solo, respectivamente.

O valor da constante de decaimento (k) da equação de Horton foi mantido constante para todos os eventos e igual a 0,00558, este valor aproxima-se aos encontrado por Paiva et al. (2004) em ensaios de infiltração realizados em uma bacia de características físicas semelhantes. Os valores médios calibrados obtidos para o coeficiente de rugosidade de Maninng para o leito do canal e a suas margens foi de 0,023 e 0,064, respectivamente.

Tabela 3 – Resultados da qualidade do ajuste do modelo para os eventos analisados.

Evento	R	Erro na Q _p (%)	Erro no Vesc (%)
10/06/04	0,95	0,56	0,9
16/10/04	0,93	1,23	20,1
03/11/04	0,97	1,09	7,0
09/11/04	0,98	4,82	7,0
06/12/04	0,95	5,2	27,1
01/04/05	0,94	8,2	1,3

A qualidade do ajuste dos eventos foi verificada pelo coeficiente de correlação (R) e pelo erro na vazão de pico e no volume escoado. Na tabela 3

são apresentados os valores que expressam a qualidade do ajuste para os eventos.

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS DO MODELO

A análise de sensibilidade dos principais parâmetros dos módulos Runoff e Extran foi realizada com o objetivo de verificar a influência dos parâmetros nas variáveis de saída do modelo. As variáveis dependentes utilizadas na análise foram: a vazão de pico, o volume escoado e o tempo de pico da onda de cheia.

Para esta análise foi selecionado o evento do dia 09/11/04, com uma precipitação acumulada de 73,21 mm. Este evento de chuva foi escolhido devido ao bom ajuste obtido na calibração dos parâmetros.

A análise foi realizada para a bacia discretizada em 18 sub-bacias e 23 trechos do arroio, buscando a melhor representatividade para a bacia hidrográfica. A sensibilidade dos parâmetros foi obtida variando um destes por vez, deixando os demais fixos, atribuindo-se a mesma variação do parâmetro em análise, em todas as sub-bacias ou trechos de rio. Foram utilizados, como valor base de cada parâmetro, os valores obtidos no ajuste do modelo aos dados observados em campo para o evento em questão.

Os parâmetros analisados referentes ao módulo Runoff foram: largura das sub-bacias (W), porcentagem de áreas impermeáveis (AI), coeficiente de rugosidade de Manning nas sub-bacias (n), capacidade de infiltração (I) e a altura de armazenamento (d).

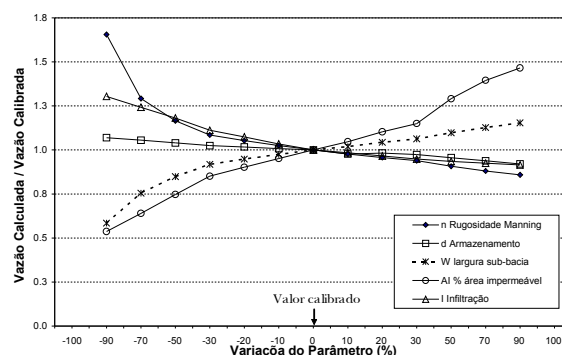


Figura 6 – Influência dos parâmetros na vazão de pico

Para o módulo Extran foram analisados os parâmetros que representam o coeficiente de ru-

sidade de Manning no canal e o coeficiente de descarga dos orifícios.

Sensibilidade do módulo Runoff

O parâmetro que apresentou maior sensibilidade foi o que representa a porcentagem de área impermeável (AI). Este apresentou um comportamento, aproximadamente, linear, aumentando a vazão de pico e o volume escoado com o acréscimo da porcentagem de área impermeável. A figura 6 mostra o comportamento da vazão de pico com a variação dos parâmetros analisados.

A figura 7 mostra o comportamento do volume escoado com a variação dos parâmetros analisados.

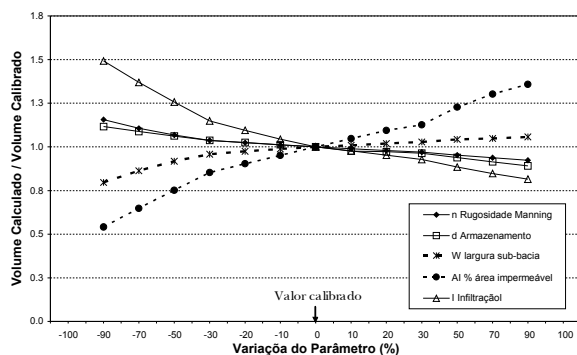


Figura 7 – Influência dos parâmetros no volume escoado

Outro parâmetro bastante sensível principalmente quando a vazão de pico é analisada é a largura da sub-bacia (W). Apresentando maior sensibilidade para os valores menores de W, a vazão de pico e o volume escoado apresentaram comportamento similar. Uma redução da largura da sub-bacia pode provocar um retardamento e atenuação do pico do hidrograma.

O coeficiente de rugosidade de Manning (n) causa o decréscimo da vazão de pico e do volume escoado, quando seu valor é aumentado, mostrando uma sensibilidade maior para a vazão de pico. Os valores baixos do coeficiente de rugosidade de Manning apresentam maior sensibilidade.

A taxa de infiltração também foi analisada, apresentando uma sensibilidade maior para o volume escoado. A taxa de infiltração inicial, ou máxima, e a taxa de infiltração final, ou mínima, de Horton foram variadas mantendo-se constante a taxa de decaimento (k) igual a 0,00558. A variação encontrada para a vazão de pico foi, aproximadamente,

38%, enquanto que, para o volume escoado a variação foi de 67%.

O parâmetro d, que representa a altura de detenção para as áreas permeáveis e impermeáveis, apresentou uma sensibilidade maior para o volume escoado. A variação encontrada para a vazão de pico foi, aproximadamente, 15%, enquanto que, para o volume escoado a variação foi 23%. Este parâmetro tem uma influência maior sobre a ascensão do hidrograma.

O comportamento dos parâmetros obtidos na análise de sensibilidade foram semelhantes aos apresentados por Zaghoul (1983) para uma bacia hipotética.

Sensibilidade do módulo Extran

Para o módulo Extran o parâmetro que apresentou maior sensibilidade na vazão de pico foi o coeficiente de rugosidade de Manning (n), tendo maior sensibilidade para os valores baixos de n. O coeficiente de descarga (orifícios) não apresentou grande influência sobre a vazão de pico.

A influência dos parâmetros não foi significativa quando o volume escoado foi analisado como variável dependente. Torna-se importante ressaltar que as condições analisadas não incluíram condutos sobpressão, o que poderia causar mudanças significativas no volume escoado, devido à atenuação do pico da onda de cheia causado pelo armazenamento provocado pela falta de capacidade de escoamento dos canais (Garcia, 2005).

Verificação dos graus de discretização da bacia

A bacia com discretização simplificada foi simulada, mantendo-se os parâmetros médios da rugosidade de Manning, a altura de armazenamento e os parâmetros de infiltração de Horton obtidos na calibração da bacia com discretização detalhada. As figuras 8 e 9 representam os hidrogramas para as diferentes discretizações da bacia.

O valor da largura do escoamento para as novas sub-bacias foi calculado pelas equações 1 e 2. Para esta situação foram encontrados aumentos médios, na vazão de pico e volume escoado de 18,5% e 1,4%, respectivamente, em relação aos valores obtidos com a discretização detalhada.

Na verificação do tempo de pico foi constatada uma antecipação média de 8,75 minutos. Zaghoul (1983) também encontrou aumento para a vazão de pico em bacias com discretização menor. Os valores do aumento foram da ordem de 10 a 20%.

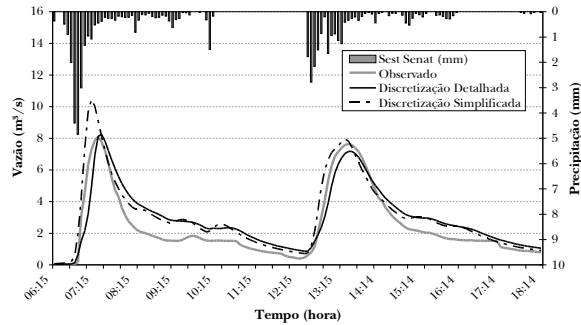


Figura 8 – Hidrograma obtido para a discretização detalhada e simplificada, para o evento do dia 16/10/04

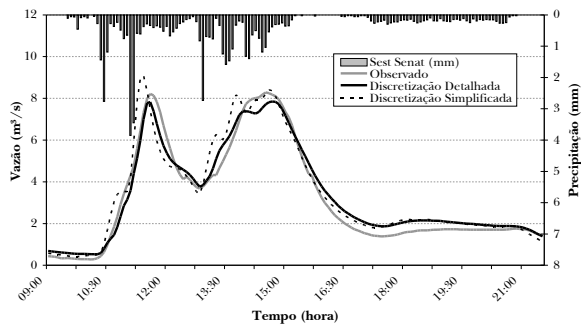


Figura 9 – Hidrograma obtido para a discretização detalhada e simplificada, para o evento do dia 09/11/04

O aumento na vazão de pico pode ser explicado pela diminuição do armazenamento presente nos canais da simulação. Os valores obtidos, para a largura do escoamento (W) através da largura do retângulo equivalente das sub-bacias, foram considerados satisfatórios, pois estes valores são obtidos das características físicas da bacia, sendo de fácil determinação.

Torna-se importante ressaltar que a bacia simplificada apresentou bons valores para quantificação do volume escoado e vazão de pico, no exutório da bacia. Para a análise da altura de inundação, construção de estruturas hidráulicas e análises específicas em outros pontos da bacia seus resultados podem ser imprecisos.

AVALIAÇÃO DOS HIDROGRAMAS DE CHEIA PARA AS DATAS DE 1980, 1992 E 2004

Para a análise dos diferentes cenários de urbanização seis eventos foram selecionados. As figuras 10 a 15 mostram os hidrograma obtidos nas simulações dos eventos, para os diferentes cenários 1980, 1992 e 2004.

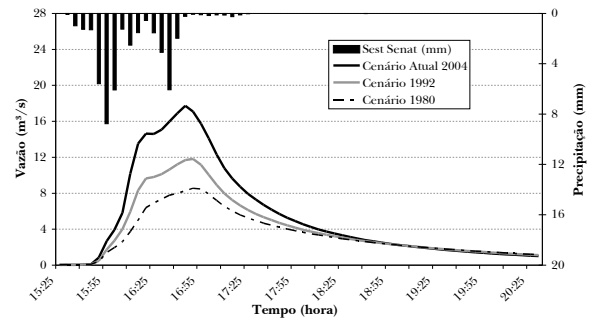


Figura 10 – Hidrogramas do evento do dia 10/06/2004

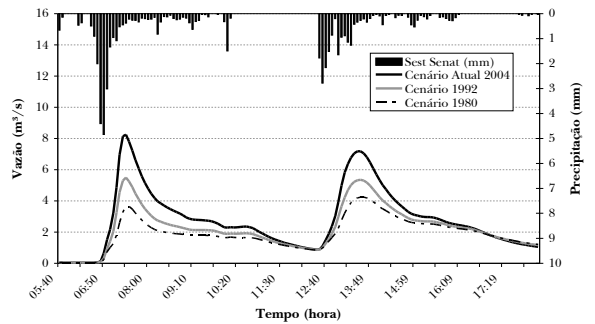


Figura 11 – Hidrogramas do evento do dia 16/10/2004

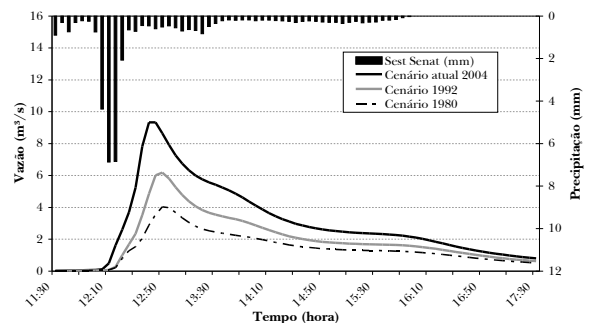


Figura 12 – Hidrogramas do evento do dia 03/11/2004

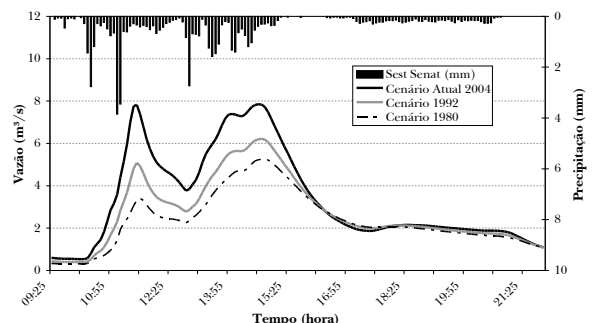


Figura 13 – Hidrogramas do evento do dia 09/11/2004

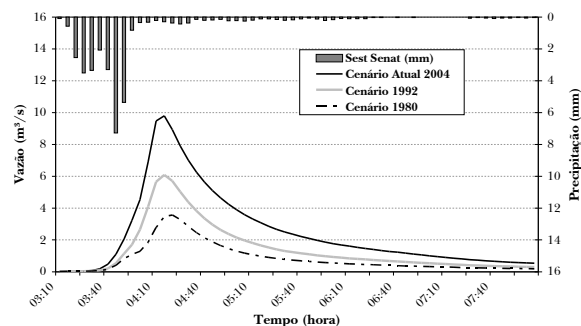


Figura 14 – Hidrogramas do evento do dia 06/12/2004

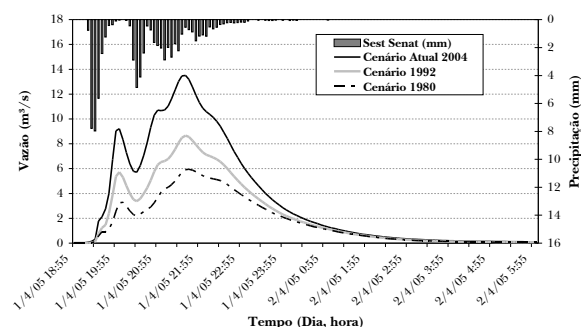


Figura 15 – Hidrogramas do evento do dia 01/04/2005

Na tabela 4 podem ser visualizados os resultados obtidos na simulação dos diferentes cenários analisados.

Tabela 4 – Valores obtidos na simulação dos anos analisados

Evento	Ano	Qp cal (m³/s)	Vesc cal (m³)
10/06/04	1980	8,5	67584
	1992	11,8	80911
	2004	17,7	104384
16/10/04	1980	4,2	86257
	1992	5,5	101706
	2004	8,2	127131
03/11/04	1980	4,0	35493
	1992	6,2	48436
	2004	9,3	70841
09/11/04	1980	5,3	125190
	1992	6,2	147146
	2004	7,9	183903
06/12/04	1980	3,6	16290
	1992	6,1	27040
	2004	9,8	47244
01/04/05	1980	5,9	70133
	1992	8,6	95192
	2004	13,5	141833

Analisando os dados obtidos, na simulação, foi verificado que no período entre 1980 e 1992, houve um aumento médio na vazão de pico de 42,4% e no volume escoado de 32,2%. Já entre 1992 e 2004, o aumento médio encontrado, para a vazão de pico e o volume escoado, foi de 49,1% e 41,4%, respectivamente.

No segundo período analisado, entre 1992 e 2004, observaram-se os maiores aumentos para a vazão de pico e volume escoado. Este resultado pode ser explicado pelo aumento da taxa de impermeabilização, 1,3% ao ano, encontrada para o período, enquanto que entre os anos de 1980 e 1992 a taxa foi de 0,67% ao ano.

Os aumentos expressivos apresentados ao longo dos anos para a vazão de pico e volume escoado na bacia do Arroio Cancela são evidências da falta de diretrizes que conduzam à urbanização de forma sustentável. Esta constatação alerta para a necessidade urgente de medidas que disciplinem o crescimento urbano e a impermeabilização do solo.

Os índices de ocupação propostos pelo plano diretor vigente na bacia em estudo, não determinam as porcentagens máximas de impermeabilização ou medidas que atenuem ou controlem o volume excedente de água gerado pela impermeabilização do solo. Portanto, torna-se de extrema importância que as leis determinem diretrizes rígidas e ao mesmo tempo estimulem e conduzam o desenvolvimento dos centros urbanos de maneira sustentável.

CONCLUSÕES

O modelo SWMM (Storm Water Management Model) apresentou bons resultados na simulação dos eventos através da calibração de seus parâmetros, para a bacia hidrográfica do Arroio Cancela. A qualidade da calibração dos eventos, pode ser representada pelo coeficiente de correlação R, com um valor médio de 0,95. O erro médio encontrado para vazão de pico e volume escoado foi de 3,5% e 10,6%, respectivamente, para os eventos simulados.

Na análise da sensibilidade do módulo Runoff, responsável pela geração do escoamento superficial, a porcentagem de área impermeável (AI) foi o parâmetro que apresentou maior sensibilidade, quanto à vazão de pico, seguido da largura do escoamento das sub-bacias (W) e do coeficiente de rugosidade de Manning para as sub-bacias (n). Quanto ao volume escoado os parâmetros mais sensíveis

foram: os parâmetros de infiltração da equação de Horton (I) e porcentagem de área impermeável (AI).

No módulo Extran o parâmetro que apresentou maior sensibilidade à vazão de pico foi o coeficiente de rugosidade de Manning (n), tendo maior sensibilidade para valores baixos de n.

A discretização simplificada da bacia apresentou um aumento na vazão de pico, quando comparados aos valores obtidos na discretização detalhada. Estes resultados alertam para os cuidados que devem ser tomados quanto à simplificação dos sistemas.

Os valores obtidos, para a largura do escoamento (W) pelo cálculo da largura do retângulo equivalente das sub-bacias, foram considerados satisfatórios, pois, estes valores são obtidos das características da bacia, sendo de fácil determinação.

Nas análises do uso e ocupação do solo foi constatado que bacia hidrográfica do Arroio Cancela apresenta processo acelerado de urbanização. A área urbana apresentou crescimento de 17%, entre 1980 e 2004, indicando o crescimento da urbanização na bacia. O aumento das áreas impermeáveis foi de 24%, entre 1980 e 2004, onde a maior parcela de impermeabilização ocorreu entre 1992 e 2004, com taxa de impermeabilização de 1,3% ao ano.

Na vazão de pico observou-se um aumento médio de 42,4% entre os anos de 1980 e 1992, e 49,1% entre 1992 e 2004. Para o volume escoado foi observado um aumento médio de 32,2% para o primeiro período e 41,4% para o segundo, mencionados anteriormente.

Constatou-se que as maiores modificações nos hidrogramas de cheia ocorreram com o período de maior taxa de impermeabilização, indicando os impactos do processo de urbanização sobre a vazão de pico e volume escoado.

A análise temporal dos hidrogramas de cheia para bacia do Arroio Cancela mostram-nos a necessidade de planejamento é urgente, pois um desenvolvimento continuado de maneira desordenada poderá trazer graves problemas ao sistema de drenagem da bacia em estudo.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem ao Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FNDCT/CT-HIDRO através do projeto CT Hidro/GURH: FINEP03/2002 pelos recursos financeiros, ao servidor técnico Alcides Sartori e aos

bolsistas Rodrigo C. D. Paiva e Leandro Pochmann pela ajuda no trabalho de campo e preparação dos dados.

REFERÊNCIAS

- CHOI, K. & BALL, J. E. 2002. IWA – Parameter Estimation for Urban Runoff Modelling. Urban Waterst, 4, p. 31 - 41.
- GARCIA, J. I. B. 2005. Monitoramento Hidrológico e Modelagem da Drenagem Urbana da Bacia Hidrográfica do Arroio Cancela. UFSM – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 169p. Dissertação de Mestrado. Santa Maria/RS.
- HUBER, W.C.; DICKINSON, R.E. 1992. Storm Water Management Model, Version 4: User's Manual. U.S. Environmental Protection Agency. Athens, Georgia.
- JAMES, W.; HUBER, W. C.; DICKINSON, R. E.; PITT, R. E.; JAMES, W. R. C.; ROSENER, L. A.; ALDRICH, J. A., 2003. User's Guide to SWMM, publicado por CHI, Guelph, Ontario, Canada.
- MAKSIMOVIC, C. 2001. General Overview of Urban Drainage Principles and Practice. Urban Drainage in Specific Climates (IHP-V-Technical Documents in Hydrology). Paris: UNESCO, Vol.1, n.40, p.1-21.
- MELLER, A. 2004. Simulação Hidrodinâmica Integrada de Sistema de Drenagem em Santa Maria-RS. Santa Maria: UFSM – PPGECC. Dissertação de Mestrado. Santa Maria. 180 pg.
- PAIVA, E. M. C. D., MELLER, A., PAIVA, R. C. D., PAIVA, J. B. D., 2004. Taxa de Infiltração em Pequena Bacia Suburbana. XXI Congresso Latinoamericano de Hidráulica, São Pedro, SP.
- SILVEIRA, A. L. L., DESBORDES, M., (1999) Modelo Hidrológico Distribuído Urbano com Poucos Parâmetros. Revista Brasileira de Recursos Hídricos V. 4, n. 1, p 35-48.
- ZAGHLOUL, N. A., 1983. Sensitivity analysis of the SWMM Runoff-Transport parameters and the effects of catchment discretisation Adv. Water Resources, Vol. 6.

Hydrologic Monitoring And Modeling of Urban Drainage In The Arroio Cancela –RS Basin

ABSTRACT

The planned and sustainable growth of the urban catchment makes it necessary to study tools, enabling improved understanding and prediction of the processes

taking place in them. The purpose of this study is to evaluate the applicability of the Storm Water Management Model (SWMM) in the Arroio Cancela urban catchment. While developing this study, the sensitivity of the parameters and the influences of the discretization level in the basin were studied in simulating events for the model. The changes that occurred in the flood hydrograph due to the urbanization process were examined, for the catchment, in three periods for which we have land use data. The SWMM presented good results in the simulation of the events through the calibration of its parameters. In the sensitivity analysis of the Runoff module responsible for the generation of superficial drainage, the most sensitive parameters for peak flow were: percentage of impermeable area (AI) and width of the sub-basins drainage (W). The temporal analysis of the 1980, 1992 and 2004 flood hydrographs shows that planning is urgently required.

Key-words: Urban drainage, land use, parameters sensitivity, SWMM model.