

AVALIAÇÃO DAS CHEIAS EM BACIA URBANA COM DIFERENTES GRAUS DE IMPERMEABILIZAÇÃO

Joaquin I. Bonnetarrère GARCIA

*Eng.º Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Campus Universitário – Santa Maria – RS – Brasil - CEP: 97105-900, (55)99849621,
jigarcia@mail.ufsm.br*

Eloiza Maria Cauduro Dias de PAIVA

*Professora Doutora, Universidade Federal de Santa Maria, Campus Universitário – Santa Maria – RS – Brasil - CEP: 97105-900, (55)220-8483,
eloiza@ct.ufsm.br*

Resumo – O processo de urbanização causa preocupação devido à falta de planejamento nas cidades de países em desenvolvimento, onde o crescimento ocorre de maneira desordenada e sem um estudo planejado de sua infra-estrutura. Este trabalho tem o objetivo de avaliar o impacto que o processo de urbanização causa nos eventos de cheia em uma bacia urbana. Foi analisada a bacia hidrográfica do Arroio Cancela, com área de 4,95 km², com monitoramento hidrológico, na cidade de Santa Maria, RS, Brasil. O monitoramento consiste em duas estações, uma fluviográfica e a outra pluviográfica. Para análise do uso do solo foi adquirida, em maio de 2004, uma imagem do satélite Ikonos com resolução de 1 metro. O modelo SWMM foi utilizado nas simulações, sendo a área subdividida em 18 sub-bacias e utilizado módulo hidrodinâmico para a propagação no rio, de forma a obter discretização adequada ao grau de crescimento populacional previsto. Para a situação atual da bacia o modelo SWMM foi calibrado para os eventos de cheia monitorados, entre dezembro de 2003 e outubro de 2004, obtendo um coeficiente de correlação médio de 0,96. Após a obtenção dos parâmetros calibrados, foram simulados três cenários futuros de urbanização, cenário 1, 2 e 3, os quais foram determinados com base nos dados obtidos do zoneamento especificados no Plano Diretor Urbano de Santa Maria (1980), no Projeto de Lei do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental (PDDUA) e nos valores de taxas de impermeabilização obtidos para uma área real da bacia, respectivamente. Os cenários 1, 2 e 3 apresentaram aumento na vazão de pico e no volume escoado de 31,8% e 31,9%, 20,8% e 21,4%, 60% e 59%, respectivamente. Os aumentos, na vazão de pico e no volume escoado, verificados nos cenários mostram a necessidade de legislações rígidas e bem elaboradas que conduzam a urbanização a um crescimento sustentável.

Palavras-Chave – Drenagem urbana, expansão urbana, inundações, modelagem.

1 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.

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).

As bacias são usadas como unidade de planejamento e gerenciamento não só da água, mas também de outros recursos e atividades econômicas e humanas (Maksimovic, 2001). Marin et al. (1999) citam que o planejamento de um sistema de drenagem urbana deve ser concebido e executado dentro de um contexto mais abrangente do planejamento de todo o ambiente urbano em uma bacia hidrográfica e estar de acordo com o Plano Diretor de Drenagem Urbana, o qual indica as principais linhas de ação para a área. Planejar de maneira integrada significa prever o funcionamento simultâneo do sistema de drenagem, com todas as outras partes do sistema de saneamento e desse com outros sistemas do ambiente urbano.

Araújo et al. (1999) apontam que com a falta de planejamento na ocupação das áreas urbanas têm-se notado alterações significativas nas taxas de impermeabilização das bacias, ocasionando transtornos e prejuízos em razão do aumento significativo das inundações, devido o aumento das vazões máximas e a redução no tempo de concentração e do volume escoado. O volume que escoava lentamente no solo e ficava retido pela vegetação e em depressões, passa a escoar em canais, exigindo maior capacidade de escoamento das seções.

Quando o sistema de drenagem não é considerado desde o início da formulação do planejamento urbano, é bastante provável que este sistema, ao ser projetado e implantado, revele-se ao mesmo tempo, de alto custo e ineficiente (CETESB, 1986).

Este trabalho tem o objetivo de avaliar o impacto que o processo de urbanização causa nos eventos de cheia em uma bacia urbana. Foi analisada a bacia hidrográfica do Arroio Cancela, com área de 4,95 km², com monitoramento hidrológico, na cidade de Santa Maria, RS, Brasil.

2 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.

O monitoramento na bacia hidrográfica do Arroio Cancela é realizado pelo GHIDROS (Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria) 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.

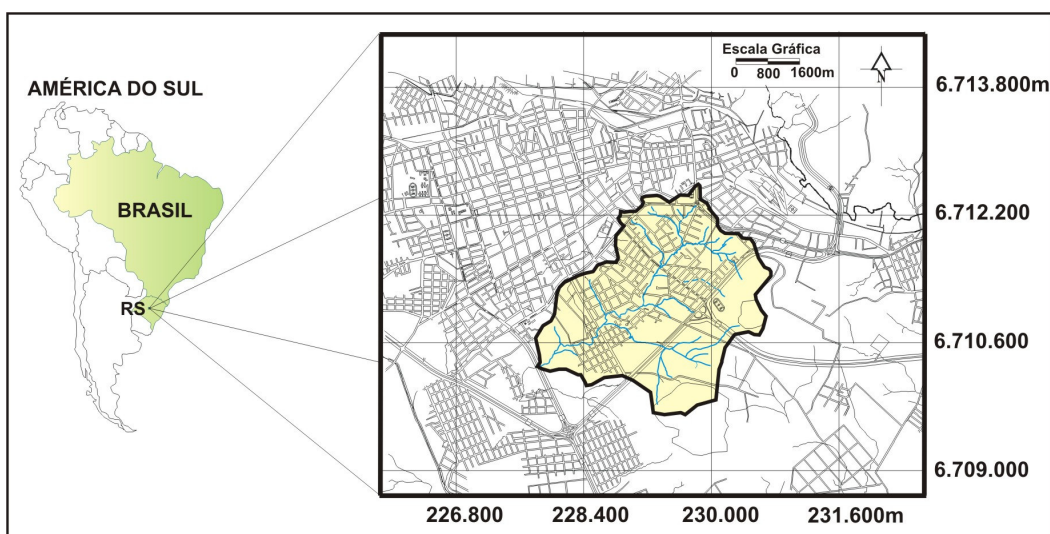


Figura 1 – Localização da Bacia hidrográfica do Canela

A estação fluviométrica está equipada com registrador de nível digital do tipo Orphimedes (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.

Quadro 1 - Características físicas da Bacia Hidrográfica do Canela

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	0,013 m/m
Declividade Média da Bacia	0,1098 m/m

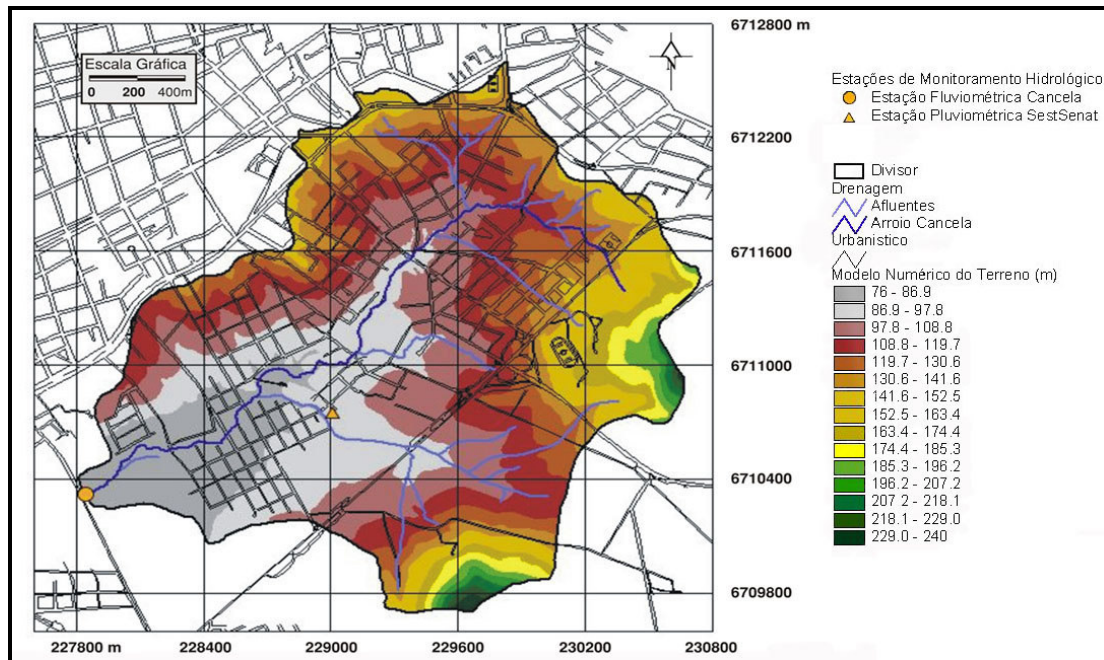


Figura 2 – Modelo numérico do terreno para a Bacia Hidrográfica do Arroio Cancela

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.

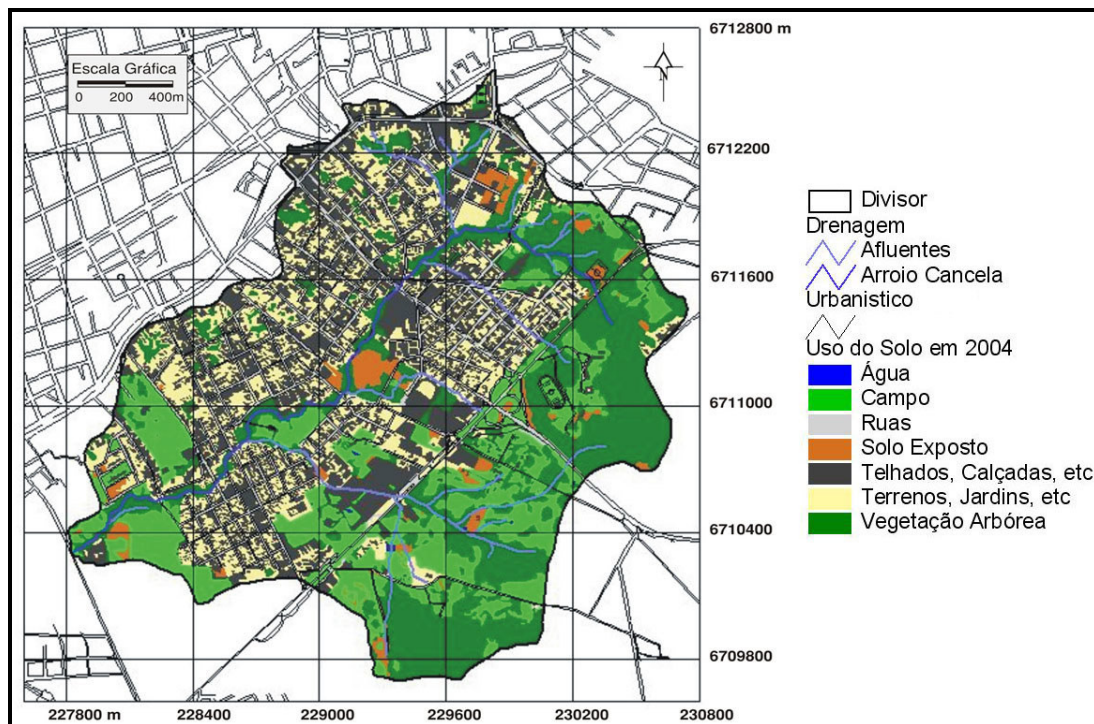


Figura 3 – Uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Arroio Cancela.

2.1 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 módulo Runoff permite a simulação quali-quantitativa 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), detenção 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 cada sub-área e pode ser representado pela combinação das equações de Manning e da continuidade. A resolução da equação diferencial não linear é ser resolvida através do processo iterativo de Newton-Raphson.

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

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 adiantado no tempo, segundo o método de Euler modificado. Nas simulações são utilizados intervalos de tempo pequenos, menores que 60 segundos, fazendo com que o tempo de simulação seja uma variável importante no uso do modelo (Roesner et al (1988)).

O módulo simula efeitos de jusante, fluxo reverso, fluxo a superfície livre e ou 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).

2.2 Discretização da bacia hidrográfica

Os dados de precipitação utilizados são provenientes da estação pluviográfica Sest Senat, com uma discretização temporal de 1 minuto. A bacia foi discretizada em 18 sub-bacias e 23 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.

2.3 Calibração dos eventos

Os eventos foram calibrados individualmente tentando obter-se o melhor ajuste individual dos eventos monitorado, isto resultou em conjuntos de parâmetros específicos para cada evento, não foi utilizado algoritmo de otimização na calibração dos eventos.

A calibração foi realizada de forma independente buscando a melhor representatividade dos 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.

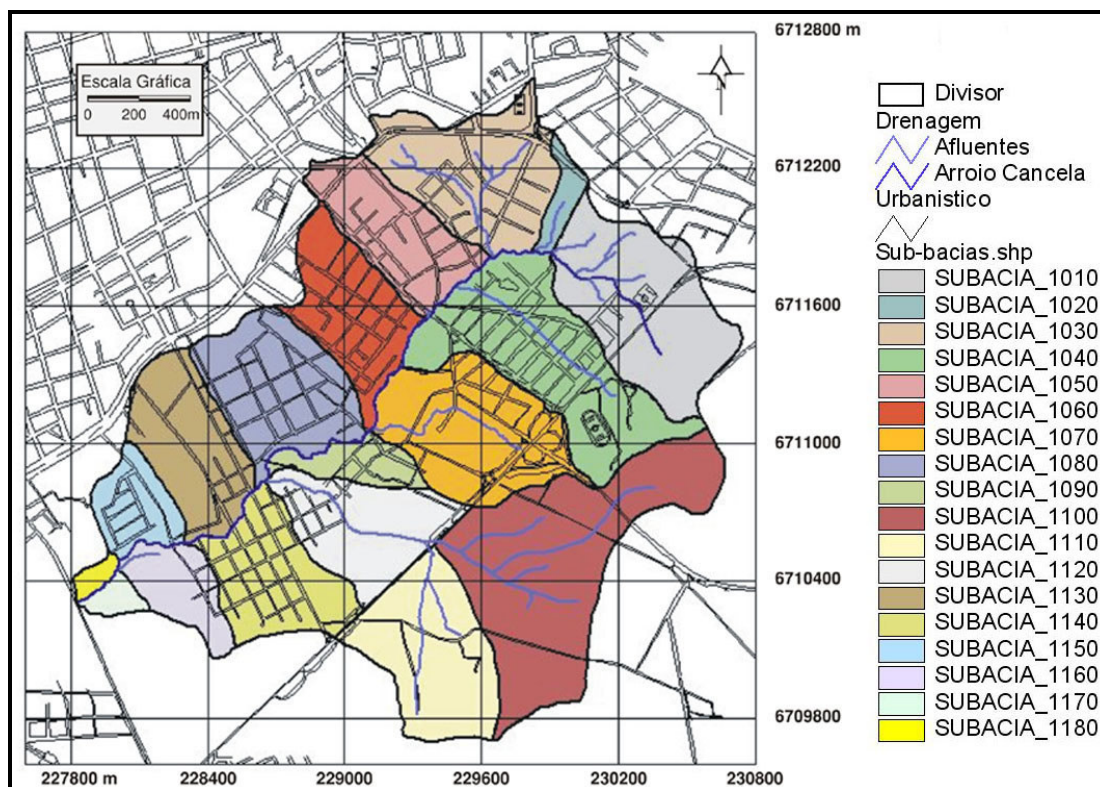


Figura 4 – Discretização das sub-bacias

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, equações 1 e 2.

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

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

em que:

l_e – 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.

No quadro 2 podem ser visualizados os resultados obtidos para a largura do escoamento de cada sub-bacia, a área, a percentagem de área impermeável e da área e declividade das sub-bacia, respectivamente. A percentagem de área impermeável para as sub-bacias foi obtida do uso do solo e a declividade obtida da análise do modelo numérico do terreno.

Quadro 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 podem ser vistos no quadro 3.

Quadro 3 – Parâmetros utilizados na simulação

Evento	n_i	n_p	d_i	d_p	l_0	l_b	k	n_{alagado}	n_{margem}	n_{leito}	R
15/12/03	0,029	0,43	6,0	10,0	230	5	0,00558	0,1	0,07	0,023	0,96
13/3/04	0,027	0,42	6,0	9,0	270	7	0,00558	0,11	0,07	0,023	0,98
10/06/04	0,020	0,25	4,5	5,5	100	3	0,00558	-	0,065	0,023	0,95
09/11/04	0,017	0,23	4,4	5,3	60	2	0,00558	-	0,064	0,023	0,98

em que: n_i e n_p - coeficiente de Manning das áreas impermeáveis e permeáveis; d_i e d_p - parâmetros de armazenamento nas áreas impermeável e permeável; l_0 e l_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 R . No quadro 4 apresentam-se os resultados obtidos na simulação para a vazão de pico e o volume escoado.

2.4 Determinação dos cenários futuros de expansão urbana

Para avaliar o comportamento da bacia, em condições diversas de urbanização, foram avaliados três cenários. Estes foram determinados com base nos dados obtidos do zoneamento especificados no Plano Diretor Urbano de Santa Maria (1980), no Projeto de Lei do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental (PDDUA) e nos valores de taxas de impermeabilização obtidos para uma área real da bacia.

Quadro 4 – Resultados obtidos na calibração dos eventos

Evento	$Q_{p \text{ cal}}$	$Q_{p \text{ obs}}$	$V_{\text{esc cal}}$	$V_{\text{esc obs}}$	$Q_{p \text{ cal}} / Q_{p \text{ obs}}$	$V_{\text{esc cal}} / V_{\text{esc obs}}$	Erro no Q_p (%)	Erro no V_{esc} (%)	Erro no tp
15/12/03	25,3	24,1	459037	554846	1,05	0,83	4,98	17,27	0:25:00
13/03/04	20,9	20,0	173917	154058	1,04	1,13	4,50	12,89	0:00:00
10/06/04	17,7	17,8	104385	105377	0,99	0,99	0,56	0,9	0:05:00
09/11/04	7,9	8,3	183903	171936	0,95	1,07	4,82	7,0	0:00:00

Para os cenários 1 e 2 foram utilizados os valores estabelecidos pelo zoneamento do Plano Diretor vigente (PDV) para o município de Santa Maria e do Projeto de Lei do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental (PDDUA), respectivamente. Sendo utilizados, para as porcentagens de impermeabilização dos lotes, os valores máximos do índice de ocupação permitidos pelo zoneamento, e para ruas e calçadas públicas foi adotado 100% de impermeabilização. No cenário 3 foi utilizada uma condição extrema de impermeabilização, a partir dos dados obtidos em uma região da bacia, com elevado grau de impermeabilização. No quadro 5 são apresentados os valores de impermeabilização para a bacia.

Quadro 5 – Valores das porcentagens de área impermeáveis para a bacia nos diferentes cenários futuros de expansão urbana

Cenário Atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
34,62%	53,12%	46,74%	71,23%

As áreas de inundação observadas nas simulações dos eventos foram classificadas em áreas de risco A e B, e podem ser visualizadas na figura 5.

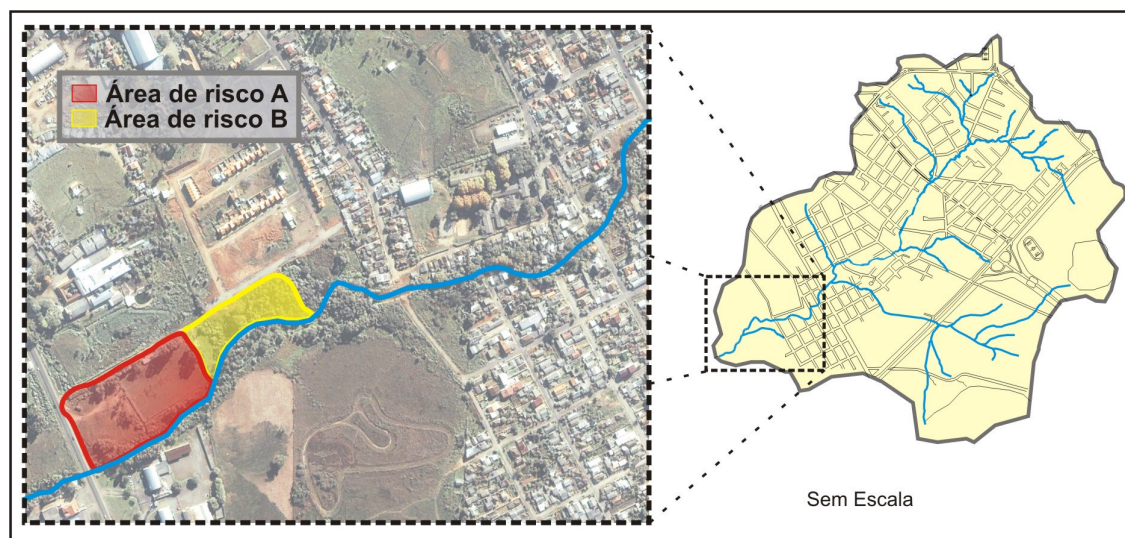


Figura 5 – Discretização das sub-bacias

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A simulação dos cenários futuros apresenta grande importância para o entendimento da influência do processo de urbanização no sistema de drenagem.

Para a análise das condições diversas de urbanização quatro eventos foram selecionados, 15/12/2003, 13/03/2004, 10/06/2004 e 09/11/2004, os quais forneceram dados importantes para o entendimento da dinâmica das cheias no local do estudo. No quadro 6 podem ser visualizados os resultados obtidos na simulação, para vazão de pico e volume escoado nos diferentes cenários analisados.

Quadro 6 – Valores obtidos na simulação dos cenários futuros

Cenários	Evento	Qp cal (m³/s)	Qp atual (m³/s)	Vesc cal (m³)	Vesc atual (m³)	Aumento na Qp (%)	Aumento no Vesc (%)
1	15/12/03	34,5	25,3	583615	459037	36	27
	13/03/04	28,1	20,0	231936	154058	40	51
	10/06/04	21,0	17,8	121091	105377	18	15
	09/11/04	11,0	8,3	232571	171936	33	35
2	15/12/03	30,6	25,3	544130	459037	21	19
	13/03/04	25,8	20,0	211372	154058	29	37
	10/06/04	19,8	17,8	109602	105377	11	4
	09/11/04	10,1	8,3	216382	171936	22	26
3	15/12/03	41,2	25,3	686225	459037	63	49
	13/03/04	36,2	20,0	290392	154058	81	88
	10/06/04	24,0	17,8	147704	105377	35	40
	09/11/04	13,4	8,3	275870	171936	61	60

As figuras 6 a 9 mostram os hidrograma obtidos na simulações dos diferentes cenários de expansão urbana.

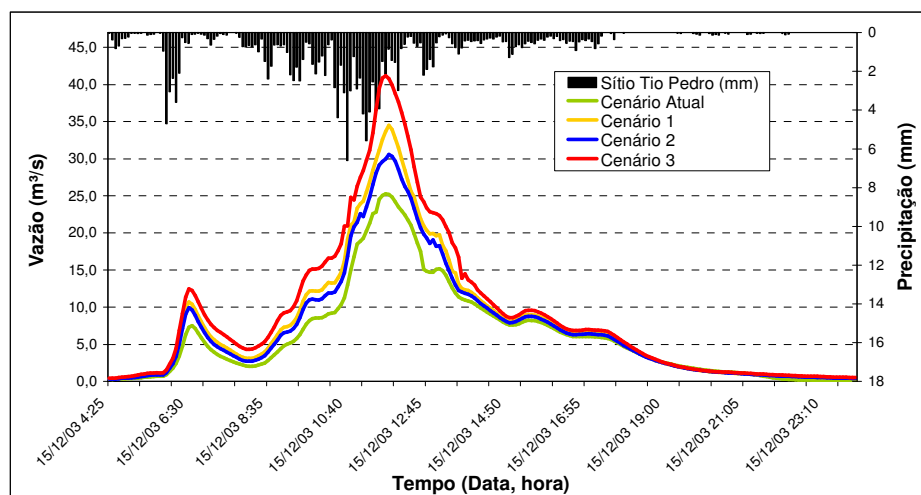


Figura 6 – Hidrogramas do evento do dia 15/12/2003, para os cenários de urbanização

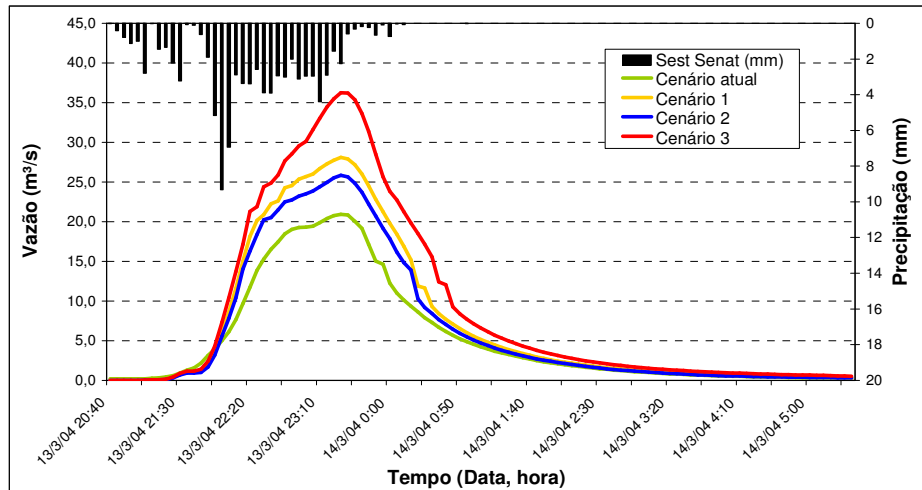


Figura 7 – Hidrogramas do evento do dia 13/03/2004, para os cenários de urbanização

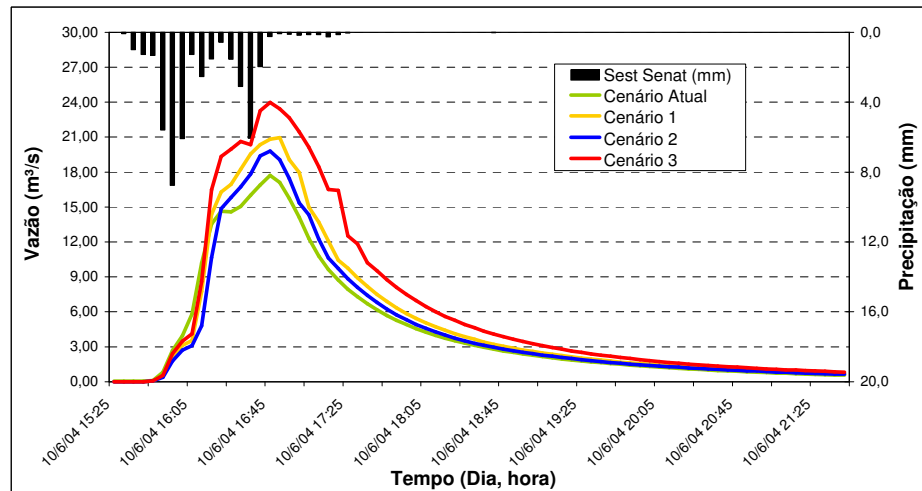


Figura 8 – Hidrogramas do evento do dia 10/06/2004, para os cenários de urbanização

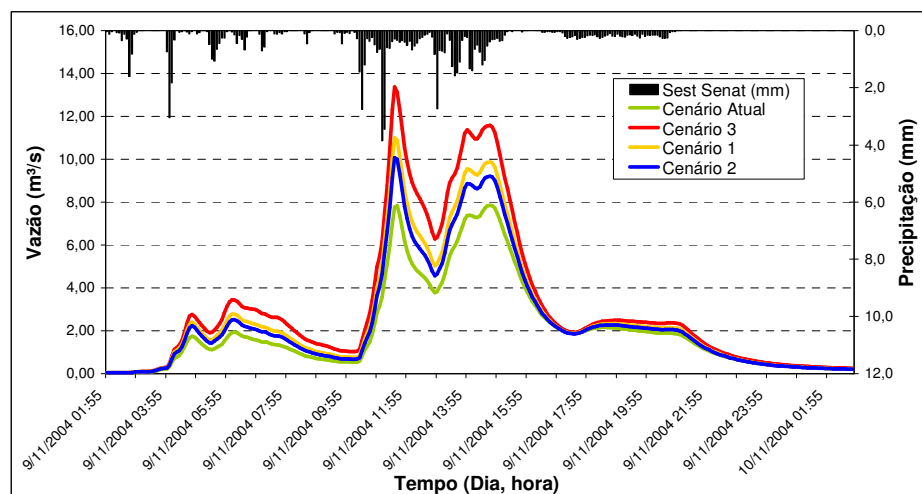


Figura 9 – Hidrogramas do evento do dia 11/09/2004, para os cenários de urbanização

Analisando os dados obtidos, na simulação, foi verificado que no cenário de expansão 1, houve um aumento médio na vazão de pico de 31,8% e no volume escoado de 31,9%, no cenário 2, os valores médios encontrados, para o aumento da vazão de pico e do volume escoado, foram de 20,8% e 21,4%, respectivamente.

Para o cenário 3 o aumento médio da vazão de pico e do volume escoado foi de 60% e 59%, respectivamente.

Os cenários 1 e 2 mostram que a redução da ocupação da bacia, determinados pelo zoneamento, conduzem a uma diminuição da vazão de pico e do volume escoado. A redução do cenário 1 para o cenário 2 foi, aproximadamente, 10% na vazão e no volume.

O cenário 3 foi simulado com base no índice de impermeabilização existente, em uma área da bacia, apresentando um aumento de, aproximadamente, 60% na vazão de pico e no volume escoado. Este aumento significativo alerta sobre os problemas provocados pela urbanização desordenada nos sistemas de drenagem. A figura 60 mostra a relação entre o aumento da percentagem de impermeabilização e o aumento da vazão de pico.

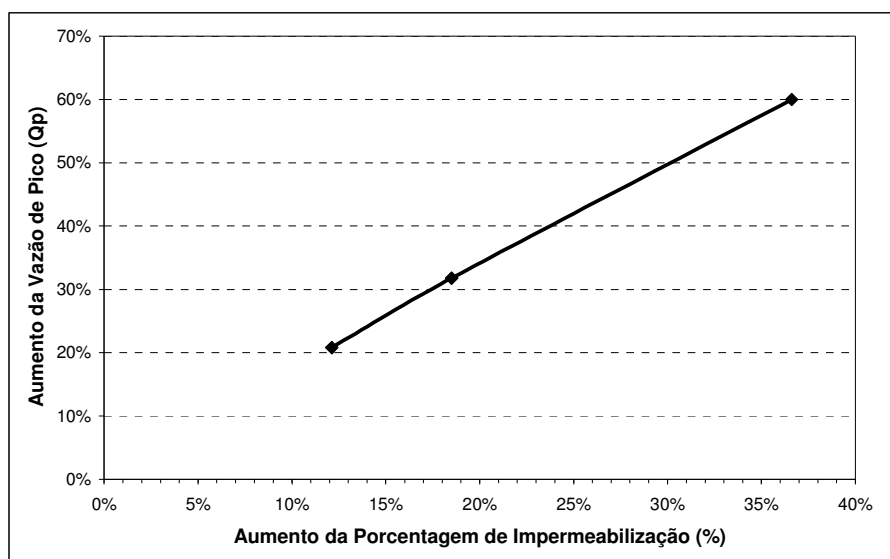


Figura 10 – Relação entre o aumento da percentagem de impermeabilização e vazão de pico

O aumento da vazão de pico apresentou um comportamento diretamente proporcional com a percentagem de impermeabilização. A vazão de pico e o volume escoado mostram-se bons indicadores do impacto da urbanização no sistema de drenagem, mas é de extrema importância analisar a ocorrência das inundações e de seus riscos.

Os riscos associados às inundações podem estar relacionados com a profundidade e a velocidade do escoamento. A análise do risco, para os diferentes cenários considerados, foi verificada pela profundidade do escoamento nas áreas inundadas. O valor adotado para a profundidade, que potencializa risco a população, foi 1 metro, proposto pela metodologia de Témez (1992) apud Valentin (2004). A metodologia de Témes foi escolhida devido a áreas analisadas possuírem baixa velocidade, com características de armazenamento.

Nas figuras 61 a 63 são apresentadas as profundidades de alagamento e o potencial de risco associado a elas, para as áreas de risco A e B, nos eventos analisados.

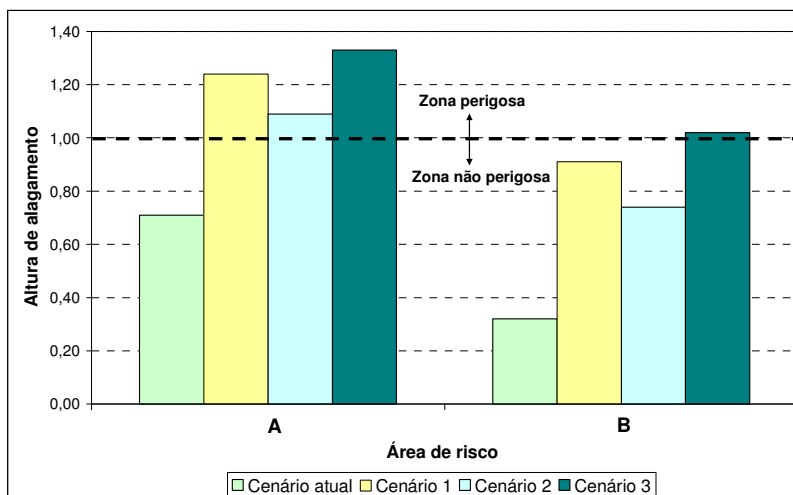


Figura 11 – Avaliação das áreas com potencial de risco à população – Evento: 15/12/2003

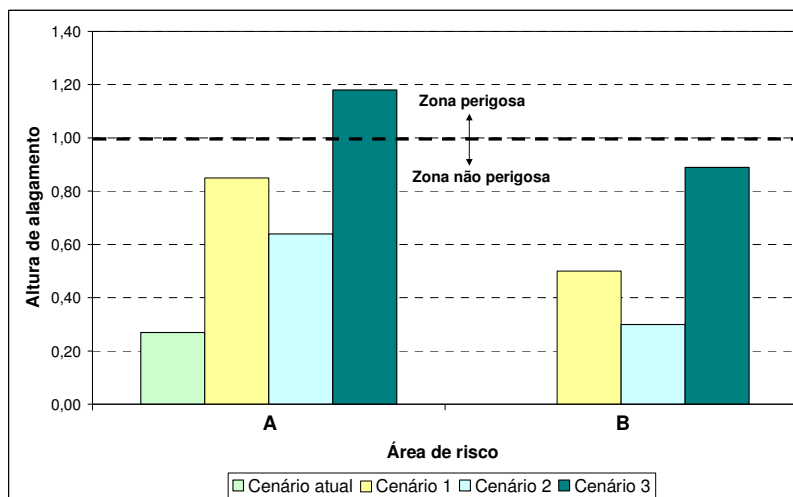


Figura 12 – Avaliação das áreas com potencial de risco à população – Evento: 13/03/2004

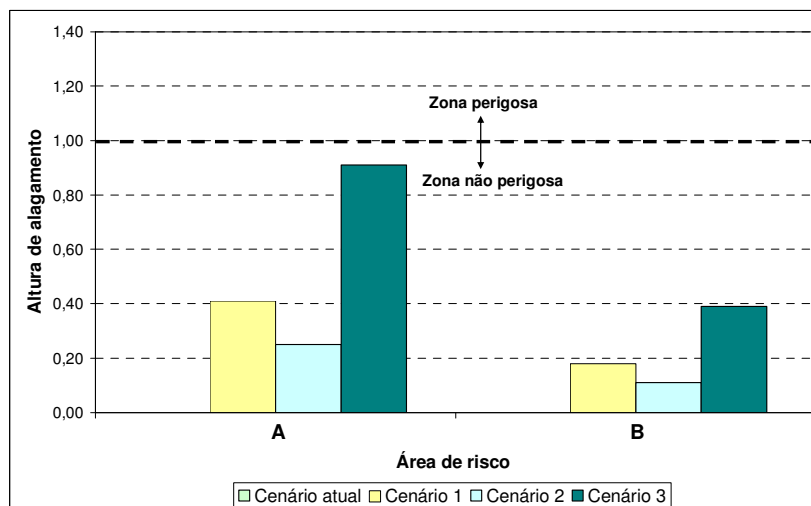


Figura 13 – Avaliação das áreas com potencial de risco à população – Evento: 10/06/2004

No cenário atual foram observadas inundações para a área de risco A nos eventos do dia 15/12/03 e 13/03/04, na área de risco B observou-se inundações no dia 15/12/03. Nestas inundações não foram atingidas as profundidades que apresentam risco a população.

Os cenários 1 e 2 apresentaram inundações nas áreas de risco A e B, nos eventos dos dias 15/12/03, 13/03/04 e 10/06/04. Nestes cenários a área A apresentou risco a população no evento do dia 15/12/03.

No cenário 3 as áreas de risco A e B apresentaram inundações, para os eventos dos dias 15/12/03, 13/03/04 e 10/06/04. Neste cenário a área A apresentou risco a população nos eventos dos dias 15/12/03 e 13/03/04, a área B apresentou risco no evento do dia 15/12/04.

O processo de urbanização da bacia é inevitável, devido à localização e valorização da área. A impermeabilização do solo, consequência direta da urbanização necessita ser regulamentada, pois os índices de ocupação propostos pelo plano diretor vigente, para a área, não determinam as porcentagens máximas de impermeabilização para os lotes. Tornando-se de extrema importância que novas Leis se preocupem com o aumento do escoamento superficial causado pela impermeabilização do solo.

O problema existente na bacia em estudo é bastante comum de outras cidades brasileiras onde existe um processo de urbanização. O aumento da impermeabilização de montante provoca a ampliação das cheias nas planícies de jusante.

4 CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou o impacto causado pelo processo de urbanização nos eventos de cheia em da bacia hidrográfica urbana do Arroio Cancela, localizada na cidade de Santa Maria-RS, apresentando área de 4,95 km².

Na avaliação do comportamento da bacia, para as condições de urbanização, foram avaliados três cenários, com o objetivo de propor novas condições de impermeabilização. O cenário 1 foi determinado através dos índices de ocupação obtidos no Plano Diretor vigente de Santa Maria, apresentando 53,12% de áreas impermeáveis; o cenário 2 determinado através dos índices de ocupação estabelecidos pelo Projeto de Lei do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental, com 46,74% de áreas impermeáveis; e o cenário 3 determinado a partir de uma área da bacia com elevado grau de impermeabilização, totalizando 71,23% de áreas impermeáveis.

Os cenários 1, 2 e 3 apresentaram aumento na vazão de pico e no volume escoado de 31,8% e 31,9%, 20,8% e 21,4%, 60% e 59%, respectivamente.

A simulação dos cenários futuros apresenta grande importância para o entendimento da influência do processo de urbanização no sistema de drenagem. Os aumentos, na vazão de pico e no volume escoado, verificados nos cenários mostram a necessidade de legislações rígidas e bem elaboradas que conduzam a urbanização a um crescimento sustentável, pois os planos diretores atuais preocupam-se em estabelecer índices de ocupação não restringindo a impermeabilização total dos lotes.

Os modelos hidrológicos e hidráulicos servem com ferramenta indispensável para o gerenciamento e planejamento da drenagem pluvial no ambiente urbano, possibilitando a verificação e antecipação dos impactos produzidos pela urbanização.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e FINEP (Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) 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.

6 BIBLIOGRAFIA

- ARAÚJO, P. R.; GOLDENFUM, J. A.; TUCCI, C. E. M.(1999). "Avaliação de Pavimentos Permeáveis no Controle da Geração de Escoamento Superficial". In. XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – Belo Horizonte, MG CD-ROM.
- CETESB. (1986) Drenagem urbana, manual de projeto. São Paulo: DAEE, CETESB/ASCETESB.
- 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.
- HUBER, W.C.; DICKINSON, R.E. (1992). Storm Water Management Model, Version 4: User's Manual. U.S. Environmental Protection Agency. Athens, Georgia.
- 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.
- MARIN, M.C.F.C.; ROSÁRIO, C.S.; RAMOS, F.A.; TAMAROZI, R. (1999). "Planejamento do Sistema de Drenagem Urbana: Concepção Ideal versus Prática do Poder Público". In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte, MG CD-ROM.
- ROESNER, A.R.; ALDRICH, J.A.; DICKINSON, R.E. (1998). Storm Water Management Model, version 4: EXTRAN ADDENDUM. EPA/600/3-88/001b (NTIS PB88-236658/AS). U.S. Environmental Protection Agency. Athens, Geórgia.
- VALENTÍN, M. G. (2004). "Problemática de las Aguas Pluviales en la Superficie de la Ciudad" In XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Campinas-SP, mesas redondas.