

IMPACTO DA OCUPAÇÃO URBANA NA QUALIDADE DA ÁGUA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Anísio de Sousa Meneses Filho¹ & Carlos Eduardo Morelli Tucci²

Resumo - Historicamente, a questão das cheias urbanas e sua mitigação, sob os aspectos dos volumes e picos de vazão envolvidos, recebe maior atenção nos projetos de drenagem e nos planos diretores de gestão das águas urbanas. Em anos recentes, porém, os aspectos qualitativos das águas pluviais das cidades brasileiras vêm sendo crescentemente abordados, a partir de evidências, colhidas alhures, de que significativa carga poluente é transferida aos mananciais pelo escoamento superficial das águas de chuva. Este trabalho apresenta uma metodologia para a estimativa dos polutogramas de projeto, baseada no comportamento probabilístico lognormal da variável concentração média de eventos, aproveitando um parâmetro ocupacional básico: a densidade demográfica espacialmente distribuída na bacia. Numa abordagem preliminar, isso permite sua aplicação sem a exigência de dados locais obtidos de monitoramento sistemático, associando os aspectos de volume e concentração de poluentes na avaliação dos impactos da ocupação urbana. Estudo de caso é desenvolvido para a Bacia do Arroio Moinho, na cidade de Porto Alegre (RS), Brasil, sob três cenários de uso e ocupação do solo, atual e projetados. Foram adotados como parâmetros (média e variância da distribuição de frequência do índice de qualidade) valores típicos da literatura, compilados de monitoramento de bacias de diversos outros países.

Abstract – Historically, the drainage projects and the master management plans of the urban waters are oriented, in the main aim, to the reduction of the flood peaks and of the flooded areas. In recent years, however, the qualitative aspects have also been concerned, due the evidences, in several countries, the high pollutant load transferred for the lakes and rivers by the superficial drainage of the runoff. This work presents a methodology for the estimate of the project pollutograph, starting from a basic occupational parameter: the inhabitants density. In the absence of local data on the concentration level of pollutant in the runoff, typical values are adopted from the referring literature to the parameter of quality event mean concentration, assumed as a random variable lognormally

¹ Doutorando do Instituto de Pesquisas Hidráulicas / UFRGS – Rua Joaquim Nabuco, 2560 – ap. 701 – Bairro Dionísio Torres, CEP 60125-121 – Fortaleza (CE). E-mail: anisiomeneses@secrel.com.br

² Professor Titular do Instituto de Pesquisas Hidráulicas / UFRGS – Avenida Bento Gonçalves, 9500 – Bairro Agronomia, CEP 91501-970 – Porto Alegre (RS) – Caixa Postal 15029.

distributed. That allows a preliminary evaluation preliminary evaluation of the impacts of the urbanization process, even in places not monitored. The case study is made in Arroio Moinho Basin, in Porto Alegre (RS), Brazil. Three occupational sceneries are analyzed: current and future (projected).

Palavras-chave – poluição difusa, drenagem urbana, urbanização

CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

No Brasil, ainda é bastante limitado o monitoramento da qualidade das águas do escoamento superficial. Isso restringe bastante o uso de modelos mais sofisticados, com alguma base física. Então, os modelos mais simples, parcimoniosos, passam a ser, em alguns casos, as únicas ferramentas de implementação viável. A exemplo do que ocorre em diversos outros países, embora algumas bacias estejam razoavelmente monitoradas quanto à precipitação, nível e vazão, os aspectos qualitativos não recebem a mesma atenção, com campanhas apenas esporádicas, assistemáticas. Geralmente, os dados de campo são colhidos para fins bem específicos de pesquisa e não se estendem por amplo período de tempo. Também pouco se podem explorar os aspectos de escala espacial e temporal dos mecanismos de transporte de massa, já que, não raro, as bacias estudadas são de reduzida área de drenagem. Em muitas situações, o melhor a fazer é *adaptar* as informações obtidas em bacias com características físicas similares. Reforçam, ainda, essa argumentação os custos envolvidos que são significativamente mais elevados, em função das análises de amostras feitas em laboratório, sob condições especiais.

O analista hidrólogo encontra, portanto, dois caminhos alternativos: subtrair do projeto de drenagem a avaliação dos processos de produção e transporte de poluentes, porquanto *questionável* a calibração e *duvidosa* a resposta de modelos preditivos, ou operar na faixa de valores comumente reportados na literatura, isto é, recorrendo a parâmetros típicos. A adoção desse último caminho é o que se busca relatar neste trabalho, demonstrando a possibilidade do aproveitamento de informações dispersas, concatenadas parametricamente³, na avaliação dos aspectos qualitativos, com o foco principal voltado para a produção de cargas difusas em áreas urbanas.

³ Quando dados específicos locais não estão disponíveis para a calibração de modelos com alguma base física, empregam-se variáveis de mais fácil apuração que se correlacionem com os parâmetros exigidos na modelagem. Por exemplo, a densidade populacional exibe nítida correlação com a taxa de impermeabilização do solo; esta, por sua vez, *determina* o coeficiente de escoamento superficial, do qual depende a capacidade de transferência de cargas poluentes depositadas sobre o solo. Além disso, a associação de parâmetros a aspectos físicos mensuráveis (área, comprimento de talvegue, declividade) é bastante útil para calibração de modelos em bacias não-monitoradas.

METODOLOGIA

O parâmetro qualitativo básico, explorado aqui, é a *concentração média de evento (CME)*, definida como a razão entre a massa total (L) do poluente lavada pelo escoamento superficial numa ocorrência de precipitação e o volume total (V) escoado. Corresponde, portanto, à média da concentração ponderada pelo fluxo. A carga mássica total do poluente equivale, então, ao produto da *CME* pelo volume total escoado superficialmente.

Matematicamente, assim se apresenta:

$$CME = \frac{L}{V} = \frac{\int C(t).Q(t).dt}{\int Q(t).dt} \quad (1)$$

onde $C(t)$ e $Q(t)$ são, respectivamente, a concentração do poluente e a vazão do escoamento pluvial no instante t .

Diversos estudos autorizam o aproveitamento desse parâmetro (Novotny (1992), Schueler (1987), Porto (1995), dentre outros). Segundo Charbeneau & Barrett (1998), o uso de *CMEs* é conveniente para a avaliação dos efeitos do escoamento superficial de chuvas nos corpos de água receptores. Isso se justifica pelo fato de a resposta destes ser relativamente lenta aos influxos da precipitação; assim, a taxa de variação da concentração do poluente durante um certo evento é parâmetro bem menos importante do que a carga total efetivamente transferida.

Abordando melhor, pelo menos duas etapas podem ser identificadas como precedentes ao aporte de cargas ao manancial hídrico. Inicialmente, o processo de acumulação (“*build up*”), notadamente no período seco, intereventos. Em seguida, o processo de lavagem (“*wash off*”), que consiste na dissolução e transporte de cargas dispostas na superfície da bacia durante o escoamento superficial.

Modelos simples, com alguma base conceitual, têm-se revelado capazes de reproduzir satisfatoriamente o fenômeno. Entre estes, o proposto por Sartor & Boyd (1979) apud James et al. (1999), envolvendo relacionamento exponencial - formulação matemática do processo de lavagem da carga acumulada na superfície da bacia costuma estabelecer que a quantidade de poluente disponível para lavagem decresce exponencialmente com o volume de escoamento acumulado (Grottker, 1987). Ou seja, a carga remanescente P_t na bacia após t intervalos de tempo, decorridos desde o início da chuva, se expressa por:

$$P_t = P(1).e^{-k_2.V_t} \quad (2)$$

onde V_t é o volume escoado até o instante t e k_2 é o coeficiente de lavagem (parâmetro a ser ajustado). Este parâmetro tende a decrescer com o tamanho das partículas do poluente.

Portanto, para um evento que produza um total de escoamento V_T , a carga total lavada L pode ser computada como:

$$L = P(1) \cdot (1 - e^{-k_2 \cdot V_T}) \quad (3)$$

A expressão entre parênteses no segundo membro da Equação 3 corresponde à parcela da carga acumulada que foi efetivamente lavada durante o evento chuvoso.

Sendo A a área da bacia sobre a qual ocorre a precipitação, a concentração C do poluente varia, a cada instante t , conforme a expressão seguinte:

$$C(t) = -\frac{1}{A} \cdot \frac{dP_t}{dV_t} \quad (4)$$

A Equação 4 é equivalente a:

$$C(t) = \frac{k_2 \cdot P_1}{A} \cdot e^{-k_2 \cdot V_t} = C(1) \cdot e^{-k_2 \cdot V_t} \quad (5)$$

onde $C(1)$ denota a concentração inicial do escoamento de chuva.

Reconhece-se, desse modo, que a concentração C também exhibe um decrescimento exponencial com o volume escoado durante o evento. A carga inicial $P(1)$ e a concentração inicial $C(1)$ assim se relacionam:

$$P(1) = C(1) \cdot \frac{A}{k_2} \quad (6)$$

O parâmetro de lavagem (k_2) apresenta variação de uma bacia para outra, assim como entre eventos numa mesma bacia; por outro, ele exhibe uma significativa correlação com o volume total escoado (Charbeneau & Barrett, 1998). Seu valor é tanto menor quanto maior o volume total do escoamento. A determinação da *concentração média de evento* pode ser feita com base no parâmetro de lavagem, haja vista que, por definição:

$$CME = \frac{L}{A \cdot V_T} \quad (7)$$

Pela associação das expressões precedentes, chega-se a:

$$CME = \frac{C(1)}{k_2 \cdot V_T} \cdot (1 - e^{-k_2 \cdot V_T}) \quad (8)$$

Dificuldades operacionais surgem quando não se dispõe de eventos para a identificação da concentração inicial (imediatamente anterior ao escoamento superficial) e o coeficiente de lavagem. No entanto, essa restrição pode ser vencida considerando que uma relação funcional tende a estabelecer que o produto desse coeficiente de lavagem pelo volume total escoado (V_T) aproxima-se de um valor constante para bacias de diferentes áreas e uso do solo; quanto maior esse produto, maior o percentual da carga mobilizada durante o evento. Portanto, parece aceitável promover uma

estimativa preliminar com base nessa convergência, diretamente vinculada à parcela de carga mobilizada pelo escoamento.

Nessas circunstâncias, duas situações alternativas podem ocorrer: na primeira, em se tratando de bacias bem monitoradas, é informado o valor de k_2 , próprio da bacia em análise; na outra, recorre-se a valores típicos da literatura. Assim, permite-se a composição de *polutograma* a partir do *hidrograma de projeto*⁴. São cumpridos os seguintes passos:

- i. gerar valor aleatório y uniformemente distribuído no intervalo percentual de lavagem de carga que um evento de chuva é capaz de proporcionar (em geral, entre 80% e 90%);
- ii. computar o produto do parâmetro de lavagem pelo volume total de escoamento ($k_2 \times V_T$):
$$k_2 \times V_T = \ln\left(\frac{1}{1-y}\right)$$
- iii. computar k_2 , conhecido V_T ;
- iv. gerar valor aleatório C_1 (concentração inicial), a partir de *CME* lognormalmente distribuído, com a média e a variância informadas (valores locais ou da literatura);
- v. aplicar, na sucessão dos intervalos de tempo do hidrograma, as funções $C(t)$ (concentração do escoamento no tempo t) e $L(t)$ (carga lavada acumulada até o tempo t);
- vi. repetir os passos precedentes n vezes (por exemplo, $n=1000$), para a obtenção de n polutogramas a partir de um mesmo hidrograma.

A sequência do trabalho envolve a apuração das características físicas da bacia, diagnóstico da situação atual, análise das repercussões hidrológicas das diretrizes de desenvolvimento, nos diversos cenários de uso e ocupação do solo, seguidos da estimativa (com base em valores típicos da literatura) da produção e lavagem de cargas poluentes.

O indicador básico de ocupação urbana, utilizado nas diversas etapas de análise, foi a *taxa de área impermeável*. Sua determinação é feita indiretamente, a partir do conhecimento da *densidade populacional* (razão entre a população e a área). Vários estudos de correlação estatística, inclusive em cidades brasileiras (e.g., Gluck & McCuen (1975), Campana & Tucci (1994) e Silveira (2000)),

⁴ O polutograma gerado tem caráter *de projeto*; ou seja, pode não corresponder a um fiel reprodução de um certo evento. Embora a metodologia descrita aqui seja mais apropriada para a simulação de sólidos totais, ela é também aplicada aos demais poluentes, sempre na perspectiva de uma resposta preliminar quanto à magnitude das cargas de lavagem.

autorizam o aproveitamento do indicador de adensamento para a avaliação dos impactos hidrológicos.

As densidades populacionais, verificadas pelos censos demográficos promovidos pelo IBGE⁵, ou previstas em planos diretores, são, na prática, atributos de bairro. Em geral, uma bacia compreende mais de um bairro, de forma total ou parcial. Um ajuste de ponderação (Equação 9) é empregado, então, para a estimativa da área impermeável, de modo a levar em conta a parcela de sub-bacia pertencente a um ou mais bairros.

$$AI = \sum_{i=1}^{nb} f\left(\frac{P_i}{AB_i}\right) \cdot \frac{PB_i}{100} \quad (9)$$

onde f é uma função que relaciona densidade habitacional e área impermeável; P_i é a população do bairro i ; AB_i , a área do bairro i ; PB_i , a porcentagem do bairro i na bacia; nb , o número de bairros.

Na simulação das bacias hidrográficas, empregaram-se alguns dos modelos hidrológicos referentes à transformação chuva-deflúvio e à propagação de vazão em rios e canais. Os hidrogramas básicos foram obtidos com o modelo SCS, propagados superficialmente pelo método de Clark. Os condutos e canais foram modelados hidrodinamicamente (resolução das equações de *Saint-Venant* associada à fenda de *Preissman*), de modo a permitir a consideração de efeitos de jusante e pressão na rede.

APLICAÇÃO

Estudo de caso foi conduzido para a Bacia do Arroio Moinho, a seguir sucintamente caracterizada.

Sub-bacia do Arroio Dilúvio, afluindo à sua esquerda, a Bacia do Arroio do Moinho tem área de 4,5km² (Figura 1). Uma característica marcante dessa bacia é a sua grande declividade: num comprimento de 4,0km, o desnível é superior a 200m, conferindo-lhe um tempo de concentração estimado em 37min. A drenagem natural na bacia é feita pelo curso principal (Arroio do Moinho); este, em seu trecho inferior, recebe um pequeno contribuinte, o Arroio do Meio; na porção superior, a drenagem se estende a três pequenas nascentes entre os morros Pelado e da Polícia. O ingresso das águas no Arroio Dilúvio ocorre através de conduto enterrado entre as avenidas Bento Gonçalves e Ipiranga; daí para montante, o córrego se desenvolve a superfície livre, com seção menor entre 2,0 e 4,0m de largura e profundidade entre 20 e 50cm; nas seções maiores, a largura pode chegar a 10,0m, com muita vegetação às margens. Geologicamente, na bacia do Arroio Moinho, predominam rochas graníticas com porosidade secundária devido a fraturas (Menegat et al., 1998). De acordo com estudos de Bastos et al. (1998), os solos nessa área são do tipo podzólico

⁵ Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. A pesquisa é feita em cada domicílio e os dados colhidos são tabulados e informados por setor censitário, cuja área, variável conforme o local, abrange cerca de 250 domicílios.

vermelho-amarelo e associação litólico. Pela classificação americana do SCS, solo do tipo A (baixo escoamento gerado) é encontrado na parte superior da bacia, e solo do tipo C (escoamento acima da média), na porção inferior. A ocupação urbana, iniciada antes da década de 1970, vem-se desenvolvendo de jusante para montante, como costuma ocorrer na maioria das bacias. Atualmente, a urbanização se encaminha para os morros, atingindo, inclusive, área de preservação. Em alguns casos, os loteamentos foram implantados com o arroio principal passando pelo fundo das residências. São observadas diversas alterações no sistema de drenagem natural em decorrência do sistema implantado nos diferentes loteamentos. A própria delimitação da área do canal se dá de forma irregular, pela construção de muros no fundo de propriedades; aterros e muros chegam a estrangular o arroio.

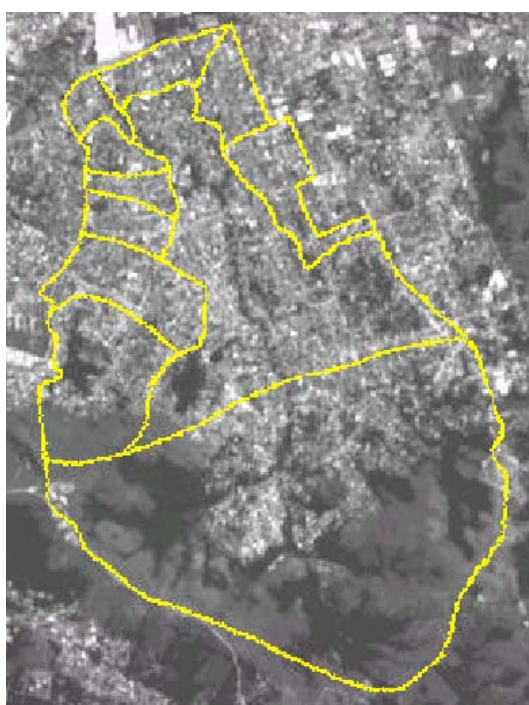


Figura 1 – Urbanização atual, com a identificação da mancha urbana nas sub-bacias

Com base nas condições de fluxo e de urbanização, a bacia foi subdividida em 5 sub-bacias, cuja configuração está mostrada na Figura 2. A Tabela 1 lista as características físicas dessas sub-bacias.

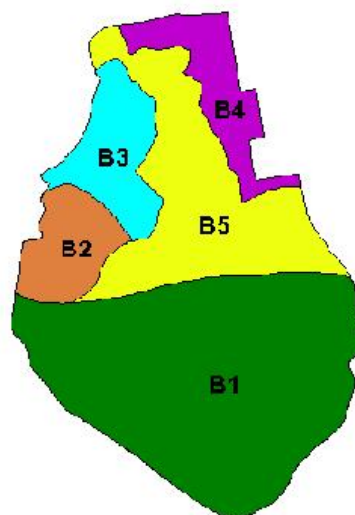


Figura 2 – Discretização da bacia para a análise hidrológica

Na estimativa da precipitação de projeto, empregou-se curva intensidade-duração-freqüência (i-d-f) do posto 8°. Distrito de Meteorologia (Porto Alegre), cuja Equação (10) foi ajustada com dados de mais de 23 anos (setembro de 1974 a abril de 1998) (Bemfica, 1999).

$$i = \frac{1297,9.T^{0,171}}{(t + 11,69)^{0,85}} \quad (10)$$

onde i é a intensidade da chuva, em mm/h; T , o período de retorno, em anos; t , a duração, em min.

Para a cidade de Porto Alegre (RS), pode ser adotada a seguinte relação, extraída de Campana e Tucci (1994).

$$AI(\%) = 24,416.\ln(DP) - 68,065 \quad (11)$$

onde $AI(\%)$ representa a porcentagem de áreas impermeáveis e DP a densidade populacional (em hab/ha).

Dois critérios serviram para definir os cenários de planejamento da bacia do Arroio do Moinho: a *ocupação urbana* e o *risco de enchentes*. A partir da densificação urbana prevista para cada um dos bairros da cidade, foram analisados três cenários: i) atual; ii) atual acrescido das projeções do *PDDUA* (*Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental*, Porto Alegre (1994)); e iii) ocupação máxima. O primeiro cenário envolve as condições de urbanização no ano de 2000, levantadas com base em estimativas demográficas e sensoriamento remoto (imagens de satélite). O segundo cenário assume uma situação pretensamente mais realista: ocupação atual para as partes da bacia onde as previsões do *PDDUA* já foram superadas e, para as demais áreas, as projeções desse Plano; busca-se, nesse cenário, congelar os avanços além do Plano Diretor. O cenário de máximo adensamento do espaço urbano foi traçado de acordo com o que vem sendo observado em diferentes partes da cidade de Porto Alegre que se encontram nesse estágio de desenvolvimento, e resultaria de um eventual relaxamento (ou o não cumprimento) da legislação que disciplina o uso e ocupação do solo.

As Figuras 3, 4 e 5 apresentam, distribuídos espacialmente na Bacia, os valores do parâmetro *CN* (*curve number*) do modelo chuva-vazão SCS.

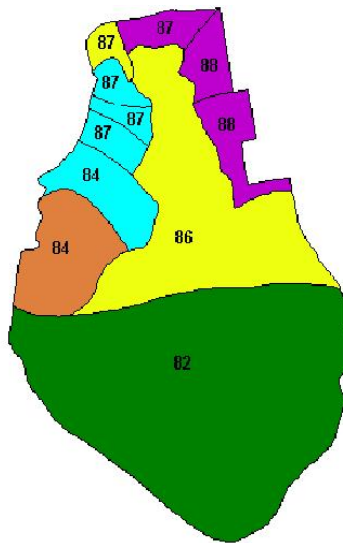


Figura 3- Parâmetro *CN* (*Curve Number*, do SCS), no cenário atual

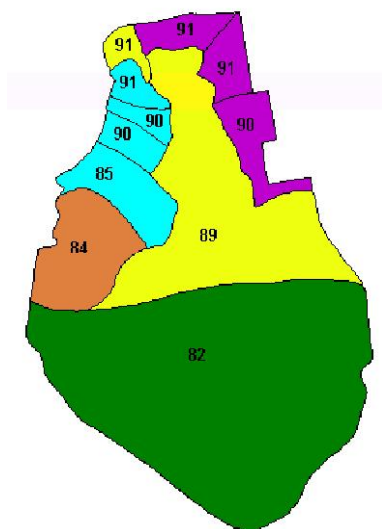


Figura 4 - Parâmetro *CN* (*Curve Number*, do SCS), no cenário atual + PDDUA

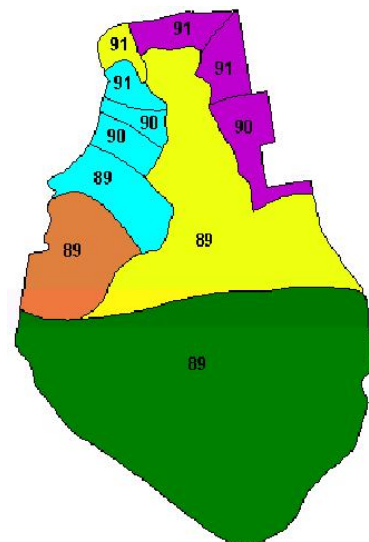


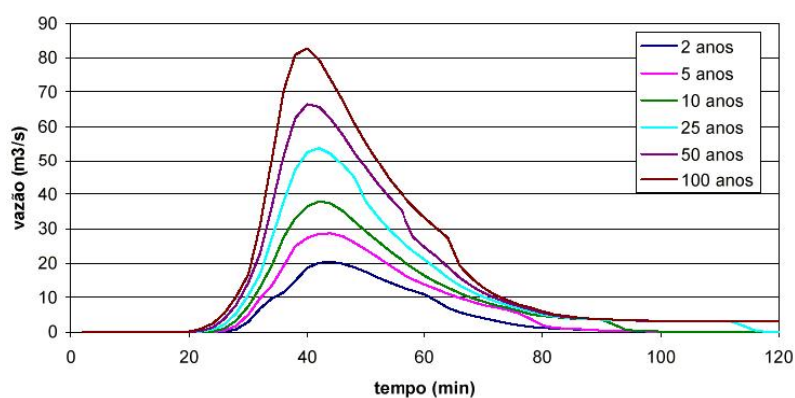
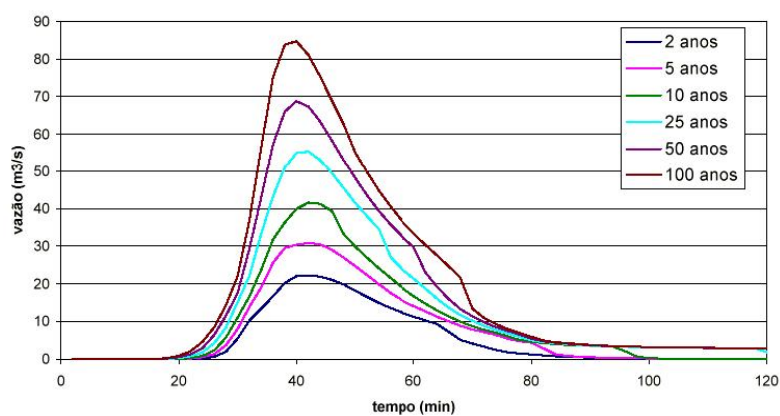
Figura 5 - Parâmetro *CN* (*Curve Number*, do SCS), no cenário de ocupação máxima

Tabela 1 – Características básicas das sub-bacias

sub-bacia	área de drenagem (km ²)	Simulação	extensão (km)	desnível (m)
B1	2,25	Concentrada	1,30	165
B2	0,36	Concentrada	0,61	177
B3	0,41	Distribuída	0,84	28
B4	0,40	Concentrada	2,10	98
B5	1,08	Distribuída	1,93	39

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os hidrogramas de saída da bacia do Arroio Moinho, para os cenários simulados e os diversos períodos de retorno, estão exibidos nas Figuras 6, 7 e 8. A duração adotada para os eventos de precipitação foi de 60 minutos, aproximadamente o dobro do tempo de concentração da Bacia.

**Figura 6** – Hidrogramas na saída da bacia, no cenário atual**Figura 7** – Hidrogramas na saída da bacia, no cenário atual mais PDDUA

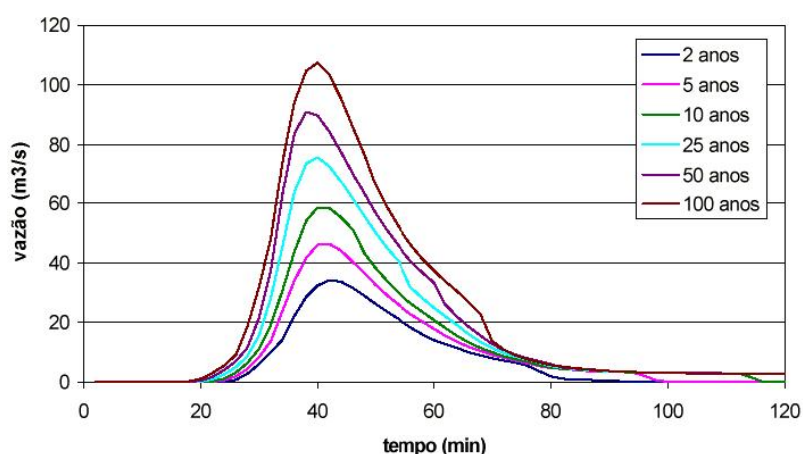


Figura 8 – Hidrogramas na saída da bacia, no cenário de ocupação máxima

Cotejando-se as respostas hidrológicas dos cenários simulados, podem ser aduzidos as seguintes comentários: i) os valores de vazão de pico nos cenários PDDUA e atual não exibem variações acentuadas; ii) embora o pico de vazão, nos hidrogramas de projeto, seja nitidamente crescente com o adensamento ocupacional, a sua antecipação não é muito evidente; iii) no cenário de ocupação máxima, são estimados valores de vazão de pico que superam, entre 41% e 76%, os dos outros cenários; iv) os acréscimos percentuais, de um cenário a outro, das vazão de pico são decrescentes com o aumento do período de recorrência.

A aplicação da metodologia descrita aos dados da bacia do Arroio Moinho, resultou nos polutogramas (taxa de lavagem *versus* tempo) mostrados nas Figuras 9 a 20. Estão destacados, neste trabalho, quatro poluentes (variáveis qualitativas ou parâmetros): sólidos suspensos totais, demanda química de oxigênio, fósforo total e chumbo. Os gráficos foram confeccionados com os valores médios. Os elementos estatísticos da *concentração média de evento*, foram empregados aqueles tipicamente reportados na literatura (disponíveis em Huber (1992), Marsalek et al. (1993), dentre outros). Estão embutidas no processamento as hipóteses de comportamento lognormal daquela variável, com a lavagem, por evento, entre 80% e 90% da massa dos poluentes depositada na superfície da bacia. Nas Tabelas 2, 3 e 4, estão informadas as magnitudes de cargas totais lavadas, em cada um dos cenário simulado, para os períodos de recorrência de 2, 5 e 10 anos.

Tabela 2 – Carga lavada (em kg), cenário atual

poluente	2 anos		5 anos		10 anos	
	mediana	Média	mediana	média	mediana	média
sólidos totais	2.304,98	3.175,78	3.350,16	4.615,82	4.437,03	6.113,29
DQO	1.752,73	1.974,79	2.547,49	2.870,24	3.373,96	3.801,41
fósforo total	9,75	10,89	14,17	15,83	18,77	20,97
chumbo	4,329	4,842	6,292	7,037	8,332	9,320

Tabela 3 – Carga lavada (em kg), cenário atual mais PDDUA

	2 anos		5 anos		10 anos	
	mediana	Média	mediana	média	mediana	Média
sólidos totais	2.556,37	3.522,14	3.764,26	5.186,37	4.857,05	6.691,99
DQO	1.943,88	2.190,16	2.862,38	3.225,02	3.693,34	4.161,26
fósforo total	10,82	12,08	15,92	17,79	20,55	22,95
chumbo	4,801	5,370	7,068	7,907	9,122	10,202

Tabela 4 – Carga lavada (em kg), cenário de ocupação máxima

	2 anos		5 anos		10 anos	
	mediana	média	mediana	Média	mediana	média
sólidos totais	3.663,48	5.047,51	5.114,07	7.046,11	6.148,96	8.471,98
DQO	2.785,74	3.138,68	3.888,78	4.381,46	4.675,72	5.268,10
fósforo total	15,50	17,31	21,63	24,17	26,02	29,06
chumbo	6,879	7,695	9,603	10,742	11,548	12,916

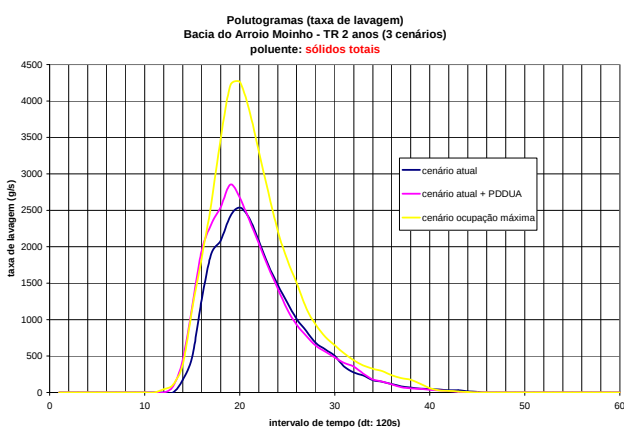


Figura 9

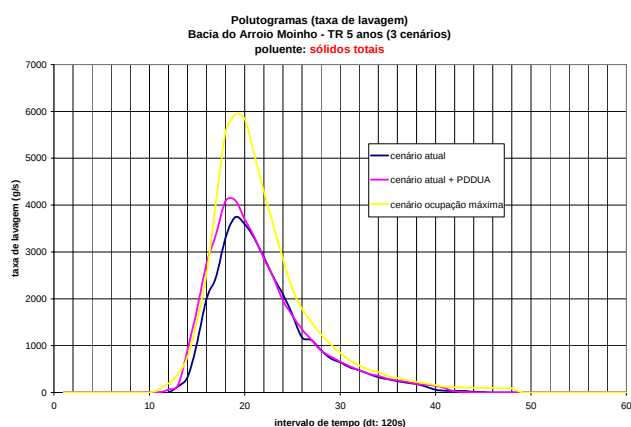


Figura 10

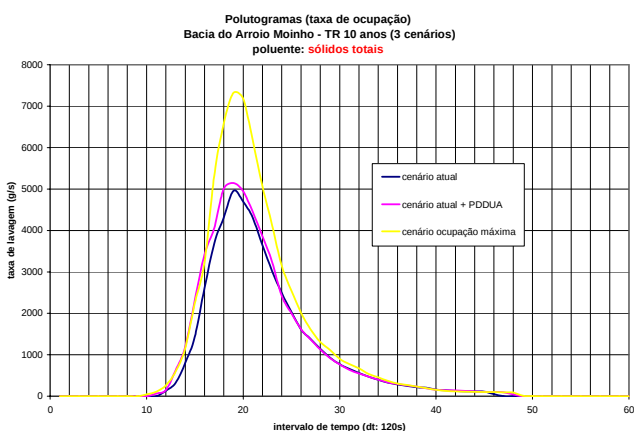


Figura 11

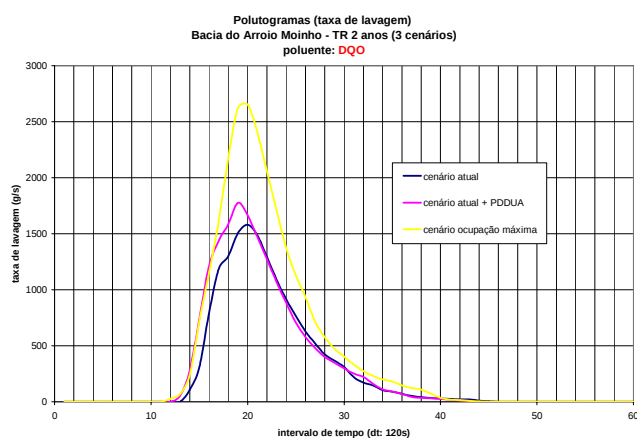


Figura 12

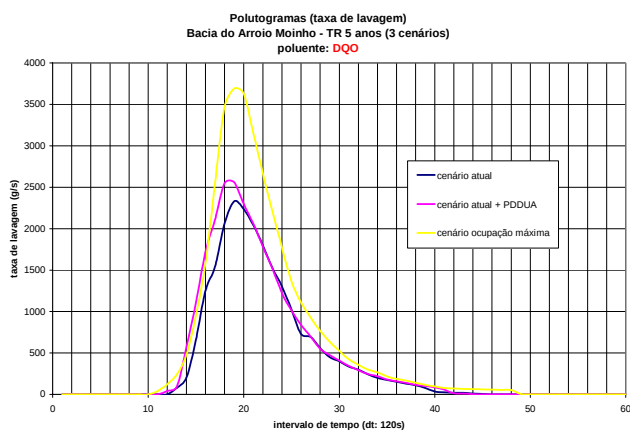


Figura 13

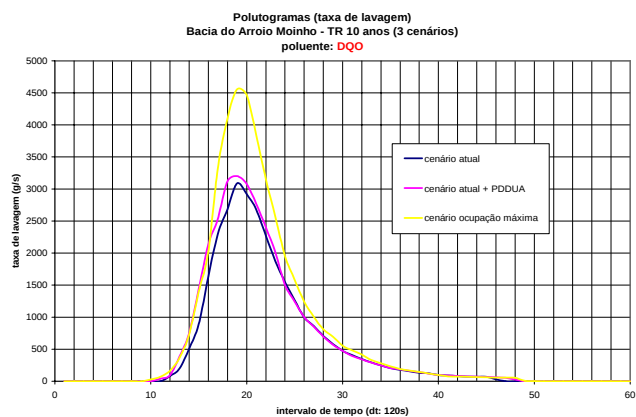


Figura 14

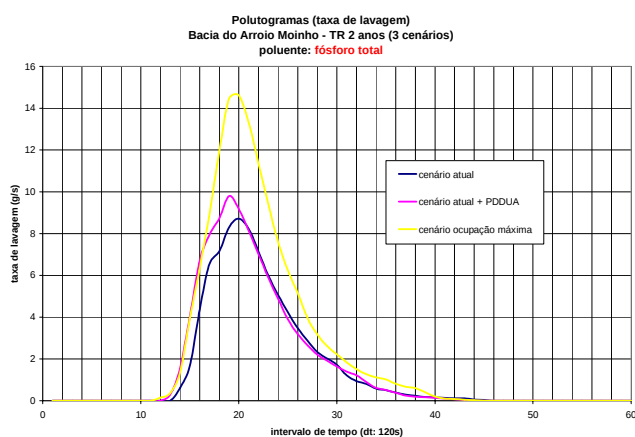


Figura 15

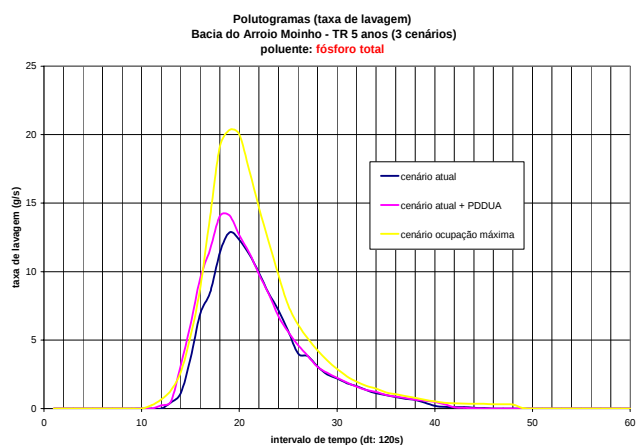


Figura 16

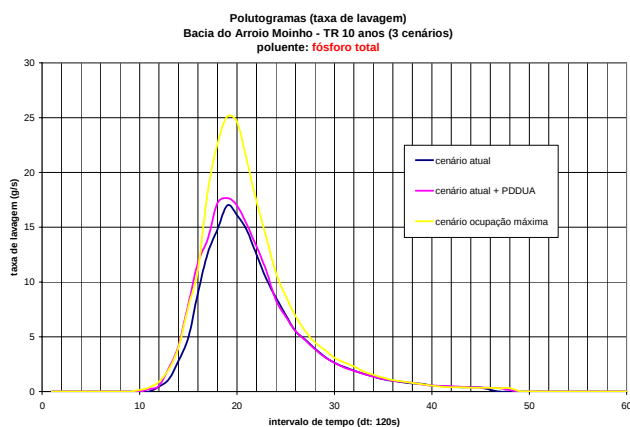


Figura 17

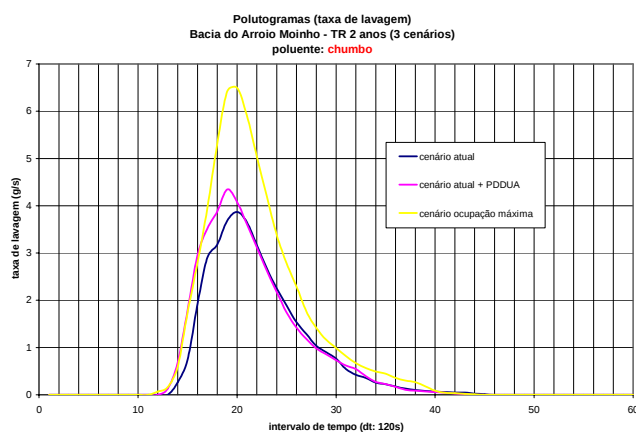


Figura 18

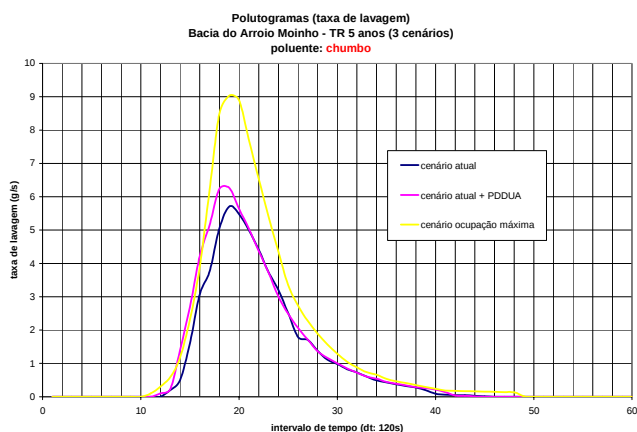


Figura 19

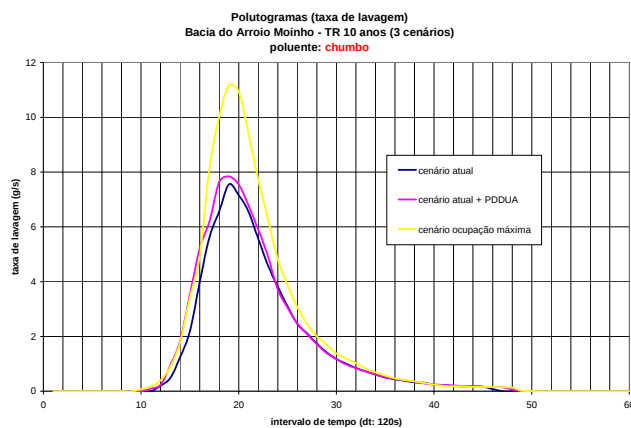


Figura 20

A evolução da magnitude de cargas poluentes lavadas, nos sucessivos cenários de ocupação, tende a acompanhar o comportamento dos respectivos hidrogramas. Além da configuração temporal das vazões, que repercute taxa de lavagem, a carga poluente transferida é, evidentemente, tanto maior quanto maior o volume produzido num dado evento. Por outro lado, as limitações que decorrem do caráter ‘*de projeto*’ dos hidrogramas também estão presentes nos polutogramas exibidos.

Os resultados obtidos para as concentrações durante eventos, as cargas lavadas e as taxas de transferências podem ser conservadoras, na medida em que também o são os parâmetros alimentadores do modelo. Em termos relativos, os valores tendem a ser mais confiáveis.

Os polutogramas assim gerados varrem uma suposta faixa de possibilidades para o processo de lavagem. Isso viabiliza a análise de incerteza, bem assim o tratamento estatístico das concentrações, mesmo na ausência de dados de qualidade da água no escoamento. Os polutogramas podem ser exibidos como mostram, à guisa de exemplo, as Figura 21 e 22.

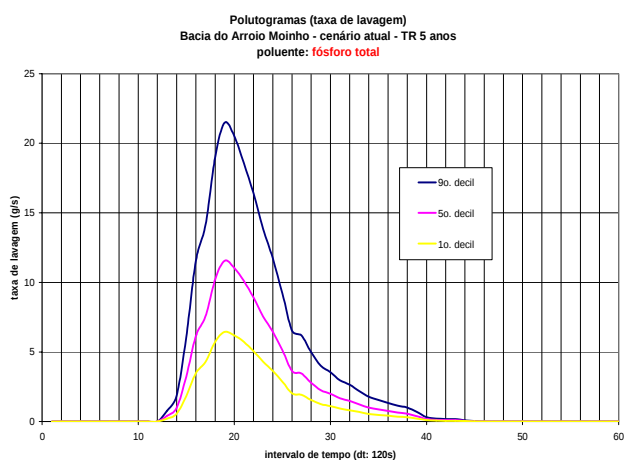


Figura 21

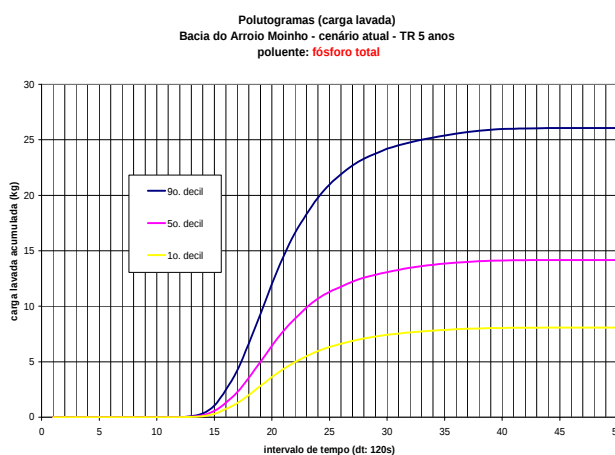


Figura 22

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Basicamente, quatro fatores concorrem para o estabelecimento da qualidade da água resultante de áreas urbanizadas: o sistema de coleta e tratamento de esgotos cloacais; o modo e a frequência da limpeza das ruas; o estágio de desenvolvimento no processo ocupacional da bacia; e as características da urbanização. Neste trabalho, ocupou-se das cargas lavadas pelas águas de pluviais, retratadas em polutogramas de projeto.

O conhecimento desses polutogramas em cenários ocupacionais diversos pode revelar-se bastante útil para a identificação (através de simulação e modelagem) das estratégias mitigadoras (ou medidas compensatórias) mais adequadas. O planejamento territorial de uso e ocupação do solo urbano, ao absorver também a avaliação dos aspectos qualitativos da drenagem de águas pluviais, torna-se ainda mais promissor para orientar desenvolvimento de menor impacto (ou agressão) ao ambiente natural.

A identificação de uma metodologia simples, aplicável a bacias urbanas, para a estimativa das cargas que podem aportar nos mananciais de água, em decorrência do processo ocupacional, não deixa de ser estimulante para que os aspectos qualitativos sejam, cada vez mais, incorporados nos estudos de planejamento e gestão.

Há de se enfatizar, porém, que, em face da adoção de parâmetros indicativos (concentração média de eventos) de outras regiões, persiste a necessidade de uma análise criteriosa dos resultados, que devem ser acolhidos sempre na perspectiva de uma abordagem preliminar. O que não substitui, tampouco torna prescindíveis, os dados localmente coletados em sistemático monitoramento. Subjacentes à determinação dos polutogramas de projeto estão os hidrogramas, estes, supostamente, obtidos de processo metodológico mais consistente. Em síntese, o que se procura demonstrar é a possibilidade de estender a abordagem quantitativa (volumes escoados e picos de vazão) da urbanização aos aspectos qualitativos (carga poluente sujeita a lavagem e transferência para os mananciais).

A partir da estimativa de carga produzida, conforme a metodologia explorada neste estudo, poder-se-ia, por exemplo, avaliar o impacto positivo (ou negativo) de um novo zoneamento ou de intervenções estruturais na bacia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASTOS, C. A. B.; VALENTE, A. L. S.; DIAS, R. D. (1998) Mapa geológico de solos. In: *Atlas Ambiental de Porto Alegre*. Editora da Universidade / UFRGS. Porto Alegre.

- BEMFICA, D. C. (1999) *Análise da aplicabilidade de padrões de chuva de projeto a Porto Alegre*. UFRGS – Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre.
- CAMPANA, N. A.; TUCCI, C. E. M. (1994). Estimativa da área impermeável de macro bacias urbanas, *RBE, Cadernos de Recursos Hídricos*, vol. 12, n. 2.
- CHARNENEAU, R. J.; BARRETT, M. E. (1998). Evaluation of methods for estimating stormwater pollutant loads. *Water Environment Research*, vol. 70, n. 7.
- GLUCK, W. R.; McCUEN, R. H. (1975). Estimating land use characteristics for hydrologic models. *Water Resources Research*, vol. 11, n. 1.
- GROTTKER, M. (1987) Runoff Quality from a Street with Medium Traffic Loading. *Sci. Total Environ.*
- HUBER, W. C. (1992). Contaminant transport in surface water. In: Maidment, D. R. (ed.) *Handbook of Hydrology*, McGraw-Hill.
- JAMES, W.; HUBER, W. C.; DICKINSON, R. E.; JAMES, R. C. (1999). *Users guide to SWMM4 Runoff and supporting modules*. Water systems models, Hydrology. University of Guelph and CHI, Ontario.
- MARSALEK, J.; BARNWELL, T. O.; GEIGER, W.; GROTTKER, M.; HUBER, W. C.; SAUL, A. J.; SCHILLING, W.; TORNO, H. C. (1993). Urban Drainage Systems: Design and Operation. In: *Interurba '92. Water Science & Technology*, vol. 27, n. 12.
- MENEGAT, R. (org.), PORTO, M. L., CARRARO, C. C., FERNANDES, L. A. D. (1998). *Atlas Ambiental de Porto Alegre*. Ed. Universidade / UFRGS.
- NOVOTNY, V. (1992) Unit pollutant loads: their fit in abatement strategies. *Water Environment & Technology*, vol. 4, n. 1.
- PORTO ALEGRE (1994). *1º PDDU: Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano*. Prefeitura Municipal. Secretaria de Planejamento Municipal. Porto Alegre.
- PORTO, M. (1995). Aspectos Qualitativos do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas Drenagem Urbana, In: Tucci, C. E. M., Porto, R. L. L. e Barros, M. T. (orgs.) *Drenagem Urbana*. Editora da Universidade / ABRH.
- SCHUELER, T. R. (1987) *Controlling Urban Runoff: a Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs*. Department of Environmental Programs Metropolitan Washington Council of Governments. Washington.
- SILVEIRA, A. L. L. (2000). Impactos hidrológicos da urbanização em Porto Alegre. In: Tucci, C. E. M. e Motta Marques, D. M. L. (orgs.) *Avaliação e Controle da Drenagem Urbana*. Editora da Universidade / FINEP.