

COEFICIENTE DE ESCOAMENTO E VAZÃO MÁXIMA DE BACIAS URBANAS

Carlos E. M. Tucci

Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS
Caixa Postal 15029 - CEP 91501-970 Porto Alegre, RS
tucci@if1.if.ufrgs.br

RESUMO

O coeficiente de escoamento e a vazão máxima de pequenas bacias urbanas tem sido determinado através de tabelas estabelecidas em manuais com base em estimativas geralmente teóricas.

Neste estudo é apresentada a relação do coeficiente de escoamento de bacias urbanas brasileiras em função da área impermeável e a vazão máxima correspondente.

Os resultados obtidos apresentaram um bom ajuste com dados observados, considerando que apenas a área impermeável foi utilizada como variável independente. Este tipo de relação foi utilizada para analisar a vazão específica de bacias urbanas em função das áreas impermeáveis e estabelecer relações com parâmetros de urbanização.

INTRODUÇÃO

O coeficiente de escoamento de enchentes (C) de uma bacia representa a quantidade de água de escoamento gerada pela bacia em eventos chuvosos. O coeficiente de escoamento médio anual (Ca) representa a parcela total escoada na bacia com relação à precipitação total anual. Estes coeficientes devem variar à medida que a bacia se urbaniza e com a magnitude da enchente.

A tendência é de que o coeficiente de escoamento Ca seja maior que C devido às pequenas precipitações de grande frequência e no período em que é definido cada evento. A diferença diminui à medida que a bacia se impermeabiliza.

Os referidos coeficientes variam numa mesma bacia, de acordo com o ano (Ca) e com o evento (C) em função da intensidade, distribuição temporal e espacial da precipitação, condições de umidade do solo e retenções. A avaliação dos valores médios permite analisar cenários médios com relação ao balanço hídrico da bacia e à interferência da urbanização.

Geralmente estes coeficiente são estimados com base em tabelas de manuais (ASCE, 1992 e Wilken, 1978). Neste artigo são analisados estes

coeficientes e estabelecidas relações com as áreas impermeáveis, com base em dados de bacias urbanas e suburbanas brasileiras. O coeficiente de escoamento de enchentes é definido aqui como a relação entre o volume total de escoamento superficial no evento e o volume total precipitado.

O coeficiente de escoamento deve variar com a magnitude da precipitação, já que a medida que aumenta a precipitação as perdas iniciais e a capacidade de infiltração é atendida, desta forma o escoamento superficial aumenta o que resulta num maior coeficiente de escoamento.

A análise realizada neste artigo não tem o objetivo de determinar este coeficiente para projeto, mas para permitir analisar o impacto das áreas impermeáveis no gerenciamento do espaço urbano.

A vazão máxima de uma bacia é determinada com base na observação da vazão em períodos longos na bacia e/ou na transformação de precipitação em vazão (Tucci, 1993). Neste estudo é apresentada a variação da vazão máxima de pequenas bacias urbanas com base no método racional e na variação do coeficiente de escoamento.

Esta síntese é possível em pequenas bacias quando se deseja estimar uma vazão limite de projeto e não existe o compromisso em retratar eventos específicos.

EQUAÇÃO DO COEFICIENTE

O coeficiente de escoamento de uma bacia de superfícies variáveis pode ser estimado pela ponderação do coeficiente de diferentes superfícies. Considerando uma bacia urbana onde podem existir dois tipos de superfícies: permeável e impermeável é possível estabelecer que:

$$C = \frac{C_p A_p + C_i A_i}{A_t} \quad (1)$$

onde C_p é o coeficiente de escoamento de área permeável da bacia; A_p é a área da bacia com superfície permeável; C_i é o coeficiente de escoamento de área impermeável da bacia; A_i é a área da bacia com superfície impermeável; A_t é a área total da bacia.

mento de uma área impermeável; A_i é a parcela da bacia com área impermeável.

Esta equação pode ser transformada de acordo com o seguinte:

$$C = C_p \frac{A_p}{A_t} + C_i \frac{A_i}{A_t} = C_p + (C_i - C_p) \cdot AI \quad (2)$$

onde $AI = A_i/A_t$, representando a parcela de áreas impermeáveis.

O coeficiente de escoamento pode ser expresso por uma relação linear com a taxa de áreas impermeáveis, onde os coeficientes representam os valores das áreas permeável e impermeável. A influência de AI depende da diferença entre os coeficientes, como se observa no segundo termo da equação.

Coefficiente de escoamento de eventos

Com base em 44 pequenas bacias urbanas americanas (Schueler, 1987) foi obtida a relação:

$$C = 0,50 + 0,91 AI \quad (3)$$

Esta equação foi obtida com $R^2 = 0,71$. Como os dados utilizados se referem a dois anos de dados, provavelmente o coeficiente se refere a uma precipitação com risco de mesma ordem (Urbanas e Roesner, 1992).

Neste caso, $C_i - C_p = 0,9$, $C_p = 0,05$, $C_i = 0,95$. O resultado do ajuste mostra que o coeficiente de áreas impermeáveis é de 0,95, devido a uma perda de 5%, que pode ser causada por imprecisão da estimativa das áreas impermeáveis; infiltração das juntas da superfície e mesmo evaporação de superfícies quentes.

No Brasil não existe uma amostra deste tamanho de bacias urbanas, mas a amostra disponível, anteriormente utilizada (Tucci, 1995) é apresentada na Tabela 1. Os dados foram selecionados considerando o seguinte:

- bacias com pelo menos cinco eventos;
- valores consistentes de áreas impermeáveis;
- valores consistentes quanto aos eventos hidrológicos.

As bacias resultantes em número de 12 possuem diferentes graus de urbanização e de tamanho. Na Figura 1 é apresentado o ajuste a uma reta, representada por:

$$C = 0,04 + 0,8 AI \quad (4)$$

onde AI é obtido para valores entre 0 e 1 e a correlação apresentou $R^2 = 0,81$. Na Figura 1 pode-se observar que existe uma bacia que tende a reduzir o coeficiente. Retirando esta bacia, resulta

$$C = 0,047 + 0,9 \cdot AI \quad (5)$$

onde $R^2 = 0,92$. Esta última equação se aproxima muito dos resultados obtidos por Schueler (1987).

Tabela 1. Características de bacias urbanas brasileiras.

Bacia	Cidade	Área da bacia (km ²)	AI (%)	C	Fonte	Número de eventos
Bela Vista	Porto Alegre	2,6	50,4	0,58	1	20
Dilúvio/Ipiranga (a)	Porto Alegre	25,5	19,7	0,16	2	27
Dilúvio/Ipiranga (b)	Porto Alegre	25,5	40	0,37	2	12
Beco do Carvalho	Porto Alegre	3,4	15,6	0,16	1	15
Cascata	Porto Alegre	7,6	16,4	0,15	1	14
Casa de Portugal	Porto Alegre	6,7	1	0,09	3	7
Agronomia	Porto Alegre	17,1	4	0,11	3	5
Jaguarão	Joinville	6,5	8	0,137	3	6
Mathias	Joinville	1,86	16	0,23	3	8
Belém/Prado Velho	Curitiba	42	40	0,42	4	10
Meninos	São Paulo	106,7	40	0,37	2	5
Gregório	S. Carlos	15,6	29	0,12	3	5

1 – Silveira (1999); Santos et al. (1999); 3 Diaz e Tucci (1987) e Germano (1998). (a) condições urbanas de 1979 - 1982; (b) condições urbanas de 1996 - 1997.

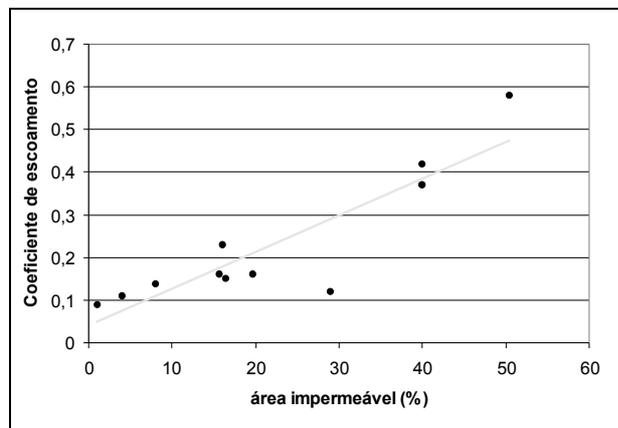


Figura 1. Coeficiente de escoamento em função da área impermeável.

Na Tabela 2 são apresentados os valores comparativos de C_p e C_i . Pode-se observar que os resultados apresentam tendência aceitável dentro da variabilidade que este tipo de coeficiente pode possuir.

Os valores obtidos com base nas bacias brasileiras não são uma amostra suficientemente grande para serem definitivos, mas permitem uma estimativa aceitável dentro do erro esperado para este tipo de coeficiente.

Considerando que C_i representa o coeficiente de escoamento de uma parcela urbanizada, o valor de 0,95 obtido retrata principalmente superfícies de asfalto e concreto onde o valor é próximo do limite superior.

Adicionalmente deve-se considerar que o próprio coeficiente de escoamento não é um valor fixo, mas varia com a magnitude das enchentes (Urbonas e Roesner, 1992), condições iniciais, características da distribuição da precipitação, tipo de solo, entre outros. Numa bacia rural o valor do coeficiente de escoamento não é sempre o correspondente a C_p , mas varia de acordo com condicionantes físicos. Estas equações permitem uma estimativa média deste valor.

Coeficiente de escoamento anual

Silveira (1999) apresentou os coeficientes de escoamentos anuais para cinco bacias de Porto Alegre com base em 2 a 5 anos de dados. Na Figura 2 são apresentados os valores de C_a e de C para as mesmas bacias, a tendência média dos valores de C_a e à reta correspondente a Equação (5). Pode-se observar que $C_a > C$, mas que a diferença se reduz à medida que aumentam as áreas impermeáveis.

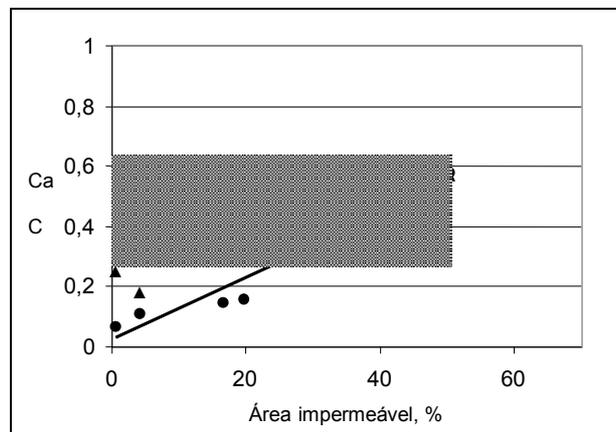


Figura 2. Comparação entre os coeficientes de escoamento.

Tabela 2. Resultados comparativos dos coeficientes.

Alternativa	C_p	C_i	R^2
Brasil (12 postos)	0,04	0,84	0,81
Brasil (11 postos)	0,047	0,947	0,92
USA (44 postos)	0,05	0,95	0,71

Apesar do reduzido número de postos foi obtida a equação seguinte:

$$C_a = 0,27 + 0,72 AI \quad (6)$$

Esta equação tem pouca significância, devido ao reduzido número de bacias e $R^2 = 0,67$. Os resultados de C_a se referem muito mais a bacias em Porto Alegre e, portanto estão condicionados às bacias desta região.

O coeficiente de escoamento também pode ser relacionado com a densidade habitacional (DH), utilizando a função desenvolvida por Campana e Tucci (1994) com dados de Curitiba, São Paulo e Porto Alegre. Esta relação, válida para $DH < 120$ hab/ha, fica:

$$AI = 0,00489 DH \quad (7)$$

onde DH é obtido em hab/ha e AI é a parcela de área impermeável da área total (entre 0 e 1). A equação acima foi ajustada à tabela fornecida pelos autores com $R^2 = 0,997$. Deve-se ressaltar que este tipo de função somente deve ser utilizada para bacias acima de 2 km² e com ocupação predominantemente residencial.

A relação entre o coeficiente de escoamento e a densidade de drenagem é obtida subs-

tituindo nas Equações (4) e (5) a Equação (8), resultando, respectivamente:

$$C = 0,0768 + 0,0041DH \quad (8)$$

$$C = 0,0783 + 0,0035DH \quad (9)$$

Com estas relações é possível estabelecer o aumento do coeficiente de escoamento de eventos de uma bacia com base na área impermeável ou na densidade de habitação. Estas relações ficam:

$$\frac{C}{C_p} = 1 + mAI = 1 + rDH \quad (10)$$

onde C_p é o coeficiente de escoamento para as condições rurais. Os valores de m e r são obtidos pelo uso das equações anteriores e são apresentados na Tabela 3. Destas equações pode-se observar que para cada aumento de 10% de área impermeável ocorre aumento de 191 a 200% no coeficiente de escoamento.

Da mesma forma, para cada 10 hab/ha de aumento ocorre de 93,6 a 97,8% de aumento no coeficiente de escoamento de eventos. Equação semelhante a esta pode ser estabelecida para o coeficiente de escoamento anual com base na Equação (6).

Estas relações foram estabelecidas dentro de várias premissas apresentadas ao longo deste texto e, portanto não devem ser tomados como valores pontuais. Além disso, a relação entre a densidade habitacional e a área impermeável também apresenta restrições.

As equações apresentadas são úteis para o planejamento urbano quanto à ocupação do espaço e sua influência na drenagem.

Estimativa do coeficiente de escoamento com base em características das superfícies

O valor de C_p na Equação (1) representa o coeficiente de escoamento de uma superfície permeável pode ser estimada com base na equação do SCS (SCS, 1975)

$$C_p = \left[\frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \right] \cdot \frac{1}{P} \quad (11)$$

onde P é a precipitação total do evento em mm; S é o armazenamento, que está relacionado com o parâmetro que caracteriza a superfície (CN) por:

Tabela 3. Fatores da equação do coeficiente de escoamento em função da área impermeável e da densidade de drenagem.

Tipo	m	r
Equação (4)	20	0,0978
Equação (5)	19,1	0,0936

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (12)$$

O valor de CN depende do tipo de solo e características da superfície.

A precipitação total do evento para o método racional é:

$$P = I \cdot t_c \quad (13)$$

onde I é a intensidade em mm/h e t_c o tempo de concentração em horas.

Na Tabela 4 são apresentados alguns valores de S para algumas superfícies, obtidos com base em CN das tabelas de SCS (1975). Nesta mesma tabela são apresentados valores de C_p para precipitação de 1 h e 2 anos de tempo de retorno de Porto Alegre (risco aproximado dos valores médios obtidos dos eventos da Tabela 1). Estes valores estão na vizinhança do valor ajustado de C_p . A bacia do Dilúvio, na qual grande parte das bacias analisadas tem predominância dos solos A, B e C, sendo que os postos com características rurais estão em solos do tipo A e B, com predominância para solo tipo A.

O valor de C_p para algumas superfícies urbanas podem ser estimados com base em valores da Tabela 5.

Tabela 4. Valores de S e C_p .

Tipo de solo	Campo	Ruas de terra	Área agrícola
A			
S(mm)	19,8	52,9 - 79,5	31,1 - 19,8
C_p	0,032	0	0 - 0,03
B			
S(mm)	11,2	22,8 - 32,5	11,91 - 20,7
C_p	0,158	0 - 0,015	0,025 - 0,14
C			
S(mm)	7,6	13,5 - 17,8	6,9 - 14,3
C_p	0,277	0,049 - 0,108	0,094 - 0,31
D			
S(mm)	6,3	9,7 - 12,7	5,0 - 11,9
C_p	0,34	0,12 - 0,20	0,14 - 0,42

Tabela 5. Valores de coeficientes para algumas superfícies.

Tipo de superfície	de Valor médio	C_i
Cimento e asfalto	0,95	0,90 - 0,95
Paralelepípedo	0,60	0,58 - 0,81
Blockets	0,78	0,70 - 0,89
Concreto e asfalto poroso	0,03	0,05
Solo compactado	0,66	0,59 - 0,79

O coeficiente de escoamento (Equação 1) pode ser determinado com base na precipitação, tipo de solo, e superfície impermeável.

VAZÃO MÁXIMA

A urbanização de uma área aumenta o escoamento superficial. O método usualmente utilizado para determinar a vazão máxima de projeto dos condutos pluviais de pequenas áreas é o Racional, que utiliza a equação:

$$Q = C \cdot I \cdot A \quad (14)$$

onde C é o coeficiente de escoamento; I é a intensidade da precipitação e A é a área total da bacia. O valor de I depende da curva de Intensidade - Duração - Freqüência e do tempo de concentração, já que neste método a duração da precipitação é adotada igual ao tempo de concentração; A é um valor fixo.

Germano et al. (1998) apresentaram uma relação para o tempo de concentração com base no comprimento e nas áreas impermeáveis, obtidos através do ajuste do modelo IPH II às mesmas bacias utilizadas neste estudo. A relação obtida foi:

$$t_c = g(AI, L) = 5,32 \cdot \frac{L^{0,882}}{IMP^{0,272}} \quad (15)$$

para t_c em minutos; L em km e IMP ($IMP = AI.A$) é a área impermeável em km^2 , e A é a área total em km^2 , sendo $R^2 = 0,82$. A relação IDF para uma freqüência escolhida pode ser expressa por (Tucci, 1993):

$$I = \frac{a}{(t_c + b)^d} \quad (16)$$

onde $a = rT^p$; r , p , b e d são parâmetros de cada local; T é o tempo de retorno em anos.

Substituindo a Equação (2), (15) e (16) em (14) e consideradas as unidade usuais, resulta a seguinte expressão:

$$\frac{Q}{A} = \frac{0,278 \cdot C_p \cdot a \cdot (1 + \frac{C_i - C_p}{C_p} \cdot AI)(AI \cdot A)^{0,272d}}{[18,628L^{0,882} + b(AI \cdot A)^{0,272}]^d} \quad (17)$$

Uma das limitações desta equação é que a equação do tempo de concentração foi determinada com base em bacias de tamanho superior ao de aplicabilidade do método Racional.

A Equação (17) pode ser expressa por ($m^3/s/km^2$) e generalizando:

$$\frac{Q}{A} = f(AI, L) = \frac{k_1(1 + k_2 \cdot AI) \cdot (AI \cdot A)^{0,272d}}{[18,628L^{0,882} + b(AI \cdot A)^{0,272}]^d} \quad (18)$$

onde $k_1 = 0,278C_p a$ e $k_2 = (C_i - C_p)/C_p$.

Nesta equação a vazão específica é nula para $AI = 0$, o que é incoerente. Isto foi produzido pela equação do tempo de concentração, que é obtida por ajuste empírico. Para evitar este problema, basta utilizar uma área impermeável pequena.

Para cada localidade é possível estimar a , b e d da IDF com um tempo de retorno escolhido. Para os valores de $a =$ (tempo de retorno de 2 anos); $b = 10$; $d = 0,72$ (posto IPH, Tucci, 1993) resultam $k_1 = 7,62$ $k_2 = 19,15$ para a Equação (5).

A vazão específica em função da área impermeável para alguns comprimentos é apresentada na Figura 3.

Na Figura 4 é apresentado o aumento da vazão específica de acordo com a urbanização. Este gráfico foi construído considerando que a vazão específica da bacia no seu estágio rural tem 1% de área impermeável.

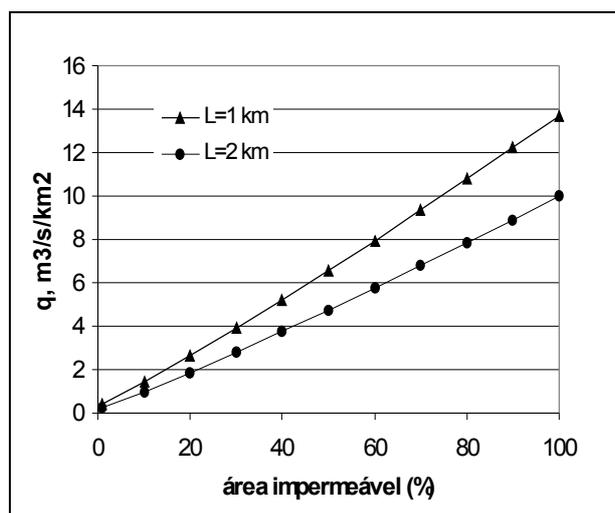


Figura 3. Vazão específica em função da área impermeável para alguns comprimentos para T = 2 anos (Equação 4) em Porto Alegre.

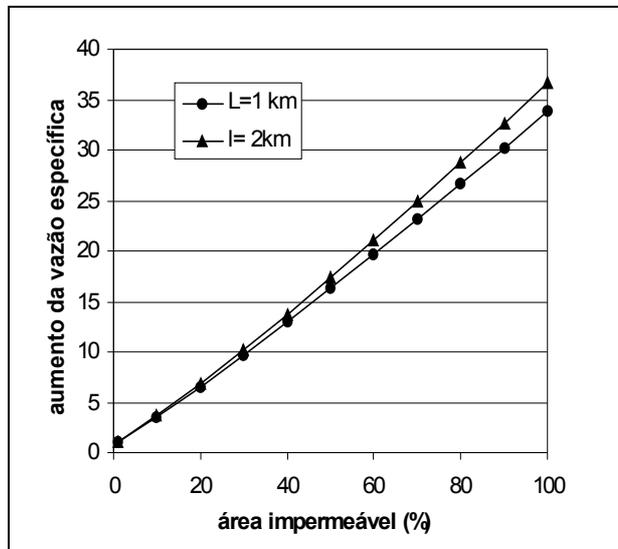


Figura 4. Aumento da vazão específica (número de vezes) para a cidade de Porto Alegre com base na Equação (5).

VOLUME DE DETENÇÃO

O volume de detenção necessário para reduzir a vazão às condições pré-existentes pode ser estimado com base na seguinte equação:

$$V = (Q_d - Q_a).t \quad (19)$$

onde V é o volume de detenção; Q_d é vazão de pico após o desenvolvimento e t é o tempo da precipitação que produz o maior volume; Q_a é a vazão correspondente a condição natural. O valor da vazão natural é calculado com base na Equação (18) como a capacidade a ser mantida pelo dispositivo para jusante. O volume V necessário à manutenção desta vazão depende da precipitação P (=I.t), que depende da duração da precipitação t.

A Equação (19) fica:

$$\frac{V}{A} = [0,278.C. \frac{a}{(t+b)^d} - Q_a].t.60 \quad (20)$$

onde a duração t é usada em minutos e o volume é obtido em m^3/km^2 .

A duração que produz o maior volume é obtida pela derivada da Equação (20).

A equação resultante é não-linear, que é resolvida por iteração.

$$t = \left(\frac{t+s}{w}\right)^r - b \quad (21)$$

$$\text{onde } w = \frac{Qa}{0,278.a.C(1-d)} ; s = -\frac{b}{1-d} \text{ e } r = \frac{1}{d+1}.$$

Esta equação tende a superavaliar o volume na medida que não considera a ascensão e recessão dos hidrogramas.

IMPACTO DA URBANIZAÇÃO

Numa área urbana as áreas impermeáveis podem ser desdobradas na expressão:

$$AI = \alpha i_m + \beta i_l \quad (22)$$

onde α é a parcela da área com arruamentos e logradouros públicos, como parques e praças; i_m é a parcela impermeável desta área; β é a parcela da área ocupada pelos lotes urbanos; i_l é o índice de impermeabilização do lote. Neste caso, $\beta = 1 - \alpha$. A equação acima fica:

$$AI = \alpha.i_m + (1-\alpha)i_l \quad (23)$$

Substituindo na equação da vazão é possível determinar a vazão específica em função das características de desenvolvimento urbano. O valor de α usualmente varia de 0,25 a 0,30 da área loteada. Usualmente seu arruamento corresponde a 15% da área, representando 60% de área impermeável (i_m), à medida que os parques e praças sejam de superfícies permeáveis. O índice de impermeabilização do lote varia de acordo com cada usuário, entre o índice de ocupação e 100% da área do lote. Desta forma a Equação (23) fica:

$$AI = 0,15 + 0,75.i_l \quad (24)$$

Considerando i_l igual a zero, a área impermeável apenas do arruamento é de 15%, o que representa aumento de 160%.

Para área impermeável igual a 60%, na Equação (24), obtém-se que o lote tem 60% de áreas impermeáveis (incluindo passeio e recuo).

Aumento do coeficiente de escoamento

- este aumento representa também o acréscimo do volume de escoamento superficial. A Tabela 6 apresenta a relação entre a urbanização no lote, área impermeável e aumento no volume de escoamento superficial.

Aumento da vazão específica - pode-se estimar o aumento da vazão específica com base

Tabela 6. Impacto da urbanização.

Área impermeável no lote %	Área impermeável na bacia %	Aumento da vazão específica	Aumento do volume de escoamento superficial
7	20	6,52	2,15
20	30	9,65	3,22
33,3	40	12,90	4,29
46,7	50	16,24	5,36
60	60	19,65	6,44
73,3	70	23,14	7,51
80	80	26,67	8,58

*Aumento em número de vezes com relação a condição rural.

na urbanização do lote utilizando a Equação (24) na Equação (18). O resultado é semelhante ao da Figura 3. A ocupação com áreas impermeáveis de 80% no lote representaria 75% de área impermeável e aumento da vazão específica de 20 vezes com relação à situação rural ($L = 1$ km). Este resultado pode ser teórico a medida que a Equação do Tempo de Concentração (16) foi ajustada para bacias com áreas impermeáveis e comprimentos de canal maiores que os experimentados. Na sua extrapolação os resultados podem ser irreais.

Na Tabela 6 são apresentadas as relações entre área impermeável, impermeabilização do lote e aumento da vazão específica, com relação à situação de área rural. Os valores utilizados para o cenário rural correspondem a $L = 1$ km, área da bacia de 1 km^2 , taxa de área impermeável de 1% e o coeficiente de escoamento foi avaliado pela Equação (5).

Volume de retenção - a Equação (21) foi utilizada em conjunto com os dados citados no item anterior de Porto Alegre e comprimento principal. Os resultados do volume de retenção são apresentados na Tabela 7 para níveis de urbanização de lote e área impermeável iguais aos da Tabela 6. Na última coluna é apresentada a parcela da área necessária para a retenção, considerando um reservatório de 2,0 m de profundidade. Pode-se observar que a área necessária seria muito pequena, com relação à área de drenagem.

CONCLUSÃO

Os resultados apresentados sobre o coeficiente de escoamento e a vazão máxima baseado no método racional estão limitados pelo seguinte: i) a bacias pequenas onde o método pode ser apli-

Tabela 7. Volume de retenção.

Área impermeável no lote %	Área impermeável na bacia %	Volume de retenção m^3/ha	Parcela da bacia da área para retenção %
7	20	50,64	0,26
20	30	83,41	0,42
33,3	40	120,20	0,60
46,7	50	160,38	0,80
60	60	203,55	1,04
73,3	70	249,41	1,25
80	80	297,72	1,50

cado; ii) ao uso para situações limites como a de projeto, sem um compromisso com um evento específico; iii) a variabilidade que o coeficiente de escoamento possui em função dos outros componentes da bacia como: declividade, perdas iniciais, outros tipos de cobertura, tipo de solo, entre outros; iv) os valores médios obtidos foram ajustados com dados de bacias com dimensões as mais variadas e superiores ao que seria aceitável para o método racional.

De outro lado, as equações do coeficiente de escoamento permitem analisar o impacto sobre este coeficiente de bacias de diferentes tamanhos. As equações de vazão permitem analisar o impacto sobre bacias pequenas onde o método racional é aplicável.

Nos resultados foram obtidos alguns valores médios que permitem analisar o impacto da urbanização a nível de bacia. Um resumo destes indicadores são:

- um habitante introduz cerca de 49 m^2 de área impermeável numa bacia (Equação 7);
- para cada 10% de aumento de área impermeável ocorre cerca de 100% de aumento no coeficiente de escoamento de cheia e no volume de escoamento superficial;
- apenas o arruamento produz aumento do volume e do coeficiente de escoamento de 260% e para cada 13% de ocupação com área impermeável no lote ocorre aumento de 115% no coeficiente de escoamento.

Estes números são médios e dependem de toda a análise realizada neste artigo, mas permitem analisar o impacto quantitativo das ações sobre a bacia hidrográfica na urbanização.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi realizado dentro da pesquisa desenvolvida com apoio do CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico; PRONEX – MCT Programa de Núcleos de Excelência do Ministério de Ciência e Tecnologia.

REFERÊNCIAS

- ASCE (1992). *Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems*. American Society of Civil Engineer. p753.
- CAMPANA, N. & TUCCI, C. E. M. (1994). Estimativa de área impermeável de macrobacias urbanas, *RBE Caderno de Recursos Hídricos* v.12 n° 2 p19-94.
- GERMANO, A; TUCCI, C. E. M. & SILVEIRA, A. L. L. (1998). Estimativa dos Parâmetros do Modelo IPH II para algumas bacias urbanas brasileiras. *RBRH* v.3 n° 4, p89-101.
- SCHUELER, T. (1987). *Controlling Urban Runoff*. Washington Metropolitan Water Resources Planning Board. p210.
- SILVEIRA, A. L. L. (1999). *Impactos Hidrológicos da urbanização em Porto Alegre*. 4º Seminário de Hidrologia Urbana e Drenagem. Belo Horizonte ABRH.
- TUCCI, C. E. M. (1993). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. EDUSP, Editora da UFRGS, ABRH, p952.
- TUCCI, C. E. M. (1995). *Impacto da urbanização nas cheias urbanas e na produção de Sedimentos*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, relatório de pesquisa FAPERGS. p120.
- URBONAS, B. & ROESNER, L. A. (1992). Hydrologic Design for Urban Drainage and Flood Control in: *Handbook of Hydrology*, David Maidment (ed.) McGraw Hill Book Co.
- WILKEN, P. S. (1978). *Engenharia de drenagem superficial*. São Paulo: CETESB p477.

Runoff Coefficient and Maximum Discharge of Urban Basins

ABSTRACT

The runoff coefficient and maximum discharge from small urban basins have been determined by tables established in manuals, based on generally theoretical estimates.

In this study, the runoff coefficient relationship of Brazilian urban basins is presented, taking into account impervious areas and the corresponding maximum discharge.

The results obtained showed a good fit to the data observed, considering that only the impervious area was used as a dependent variable. This type of relationship was used to analyse the specific discharge of urban basins as a function of impervious areas and to establish relationships to urbanisation parameters.