

COMPARAÇÃO DE METODOLOGIAS PARA CÁLCULO DE RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO EM BACIAS URBANAS

Vitor Rafael de Andrade Assunção

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Mestrando do Programa de Pós Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Endereço eletrônico: vitorraa@usp.br

Rodrigo de Melo Porto

Engenheiro Civil, mestre e doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor Associado da Universidade de São Paulo (USP).

ABSTRACT

The use and land occupation can cause floods. The stormwater detention appears as an alternative to solve the problem. The design of these structures requires specific knowledge, and many designers have problems to evaluate such projects, there came the need for proposing methods of calculation simple, practical and safe to generated values that assist in the pre-sizing of reservoirs. The proposed technique is based on the rational method to estimates the design flow. For evaluation of the proposed calculation was conducted a case study in a urban watershed located in the city of Pirassununga, São Paulo, Brazil, where the proposed method was compared with the SCS (1986) and the FAA method, and the Porto (2002) dimensionless method. The results showed that the method can be used satisfactorily for pre-sizing of detention basins.

Keywords: urban drainage, rational method, sizing.

INTRODUÇÃO

Problemas de inundações são encontrados em diversas cidades brasileiras. Dentre os inconvenientes inerentes às enchentes destacam-se os problemas ambientais, de ordem sanitária, de perdas materiais e humanas.

Os sistemas de drenagem atuais são projetados seguindo duas vertentes: a canalização e a retenção. O primeiro tipo de solução tem como princípio básico o rápido escoamento das águas pluviais, enquanto que o segundo propõe o retardamento do pico de volumes escoados superficialmente. Os dispositivos de drenagem que se utilizam do princípio da retenção dos fluxos são considerados inovadores e combatem às inundações com o aumento do tempo de concentração, mitigação das vazões máximas e redução dos volumes escoados.

As bacias de retenção — obras destinadas inicialmente ao amortecimento dos picos de cheias por meio da reservação de parte dos volumes escoados — são utilizadas na contenção de volumes provenientes de áreas consideráveis. Os reservatórios de retenção são caracterizados também por servirem a fins de remoção de detritos e poluentes carregados pelas águas pluviais, e assumirem funções paisagísticas e recreativas.

Porém o dimensionamento destas estruturas não é simples e diversos engenheiros enfrentam problemas na concepção e/ou avaliação de tais projetos, seja por falta de conhecimento técnico ou por falta de informações.

Diversas são as metodologias utilizadas para dimensionamento de bacias de amortecimento, o que torna o trabalho de fiscalização exaustivo e árduo para profissionais não habituados ao serviço. Isso é identificado principalmente quando o projeto envolve uma pequena área, e os projetistas utilizam os chamados “métodos simplificados” (TASSI, 2005).

Uma avaliação rápida, prática e segura de projetos de obras de bacias de contenção se faz então necessária — auxiliando o trabalho de diversos corpos técnicos de prefeituras de pequeno e médio porte, bem como de profissionais que necessitem realizar serviços

semelhantes — e uma proposta baseada no método racional é incumbida para realização de tal, mormente no aspecto de pré-dimensionamento.

A metodologia proposta foi aplicada em uma bacia hidrográfica urbana localizada na cidade de Pirassununga, São Paulo, Brasil, para determinação do volume de retenção necessário. O método proposto foi comparado ao modo de dimensionamento de bacias de retenção do *Soil Conservation Service* (SCS, 1986), bastante difundida entre projetistas, ao método de cálculo da *Federal Aviation Administration* (MCCUEN, 1989) e à metodologia adimensional proposta por Porto (2002) que se mostrou de grande acurácia para pré-dimensionamento dessas estruturas. Esta comparação permitiu estudar as condições de aplicação do procedimento proposto.

Foi realizada também uma análise da influência do tempo de concentração no volume final de armazenamento dos reservatórios de retenção, sendo avaliadas as fórmulas de cálculo propostas por George-Ribeiro (PINTO *et al.*, 1975), a equação desenvolvida por Chow, da *Federal Aviation Administration* e da *Soil Conservation Service* (1975) (MATA-LIMA *et al.*, 2007; MCCUEN, 1989).

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

Para possibilitar o estudo do equacionamento proposto foi escolhida uma bacia hidrográfica situada na cidade de Pirassununga, São Paulo, mais precisamente no Bairro Cidade Jardim. A região estudada enfrenta problemas de inundação devido à falta de capacidade de escoamento de um de seus canais durante chuvas críticas.

A área de drenagem da sub-bacia hidrográfica estudada é de aproximadamente 1,40 km², com número de deflúvio médio de 85 (ESA, 2006), possuindo declividade média de aproximadamente 2%, com predominância de edificações residenciais e provida de sistema de micro-drenagem. O comprimento estimado do talvegue foi de 1,7 km.

A instalação da bacia de retenção ocorrerá no início do canal, onde atualmente existe uma praça, com área aproximada de 4700 m². Estudos realizados indicam que a máxima capacidade de escoamento no trecho inicial — entre a Alameda das Açucenas e a Rua Martiniano dos Santos — do canal é de 2,8 m³/s (ESA, 2006).

ESTUDO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

O tempo de concentração assume vital importância no cálculo de vazões geradas por eventos chuvosos, visto que a máxima vazão da chuva crítica é determinada pelo tempo em que toda a bacia passa a contribuir para a vazão na seção estudada.

A comparação entre as metodologias de cálculo do tempo de concentração se faz necessária visto que erros nesta fase dos projetos podem ocasionar subestimação ou superestimação dos volumes a serem armazenados em estruturas de retenção de água.

As formulações utilizadas que permitem o cálculo do tempo de concentração são mostradas entre a Equação 1 e Equação 4.

Formulação de Ven Te Chow (PINTO *et al.*, 1975; MATA-LIMA *et al.*, 2007):

$$t_c = 25,20 * \left(\frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0,64} \quad \text{Equação 1}$$

Equação do *Soil Conservation service* (MATA-LIMA *et al.*, 2007):

$$t_c = \frac{L}{k * \sqrt{I}} \quad \text{Equação 2}$$

Equação *Federal Aviation Administration* (MATA-LIMA *et al.*, 2007):

$$t_c = 1,8 * (1,1 - C) * L^{0,5} * i^{-0,333} \quad \text{Equação 3}$$

Formulação de George-Ribeiro (PINTO *et al.*, 1975):

$$t_c = \frac{16 * L}{(1,05 - 0,2p) * (100 * I)^{0,04}}$$

Equação 4

MÉTODO PROPOSTO

O modelo de cálculo proposto é baseado na metodologia de cálculo de volume de detenção desenvolvido por Franco (2004) e Matias (2006) que leva em consideração o esvaziamento da bacia hidrográfica após o término do evento chuvoso.

A chuva de projeto considerada baseia-se na chuva crítica do método racional, na qual o máximo volume de detenção é correspondente a uma duração igual ao tempo em que as vazões afluentes e efluentes se igualam, conforme ilustrado na Figura 1.

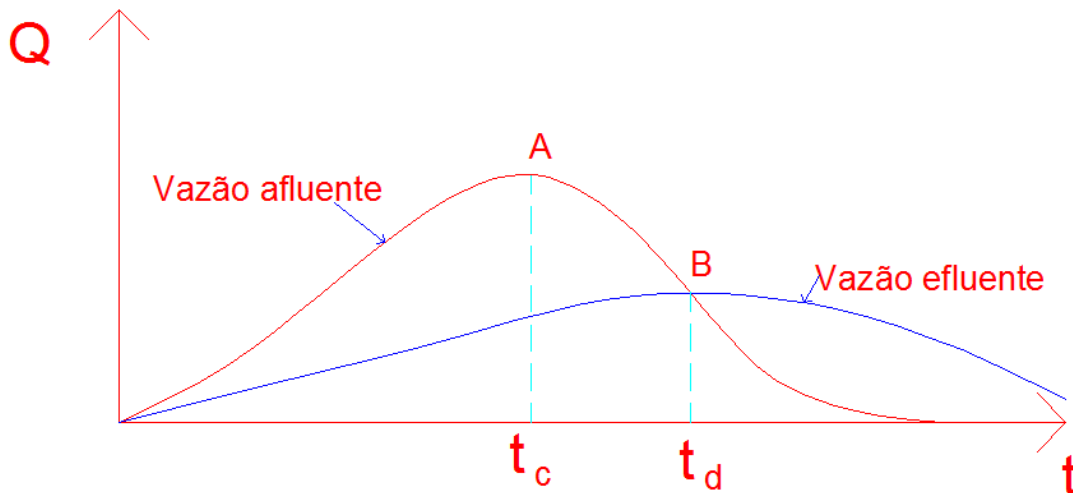


Figura 1: Definição do tempo de duração da chuva crítica.

Neste ponto o produto da intensidade instantânea da chuva, pelo coeficiente de escoamento e pela área deverá igualar-se a vazão, como observado na Equação 5.

$$Q_s = \frac{C * A * I_s}{N_1}$$

Equação 5

Em que: Q_s – vazão escoada (m^3/s);

A – área de drenagem (km^2);

I_s – intensidade efluente equivalente (mm/h);

N_1 – coeficiente de conversão de unidades que, para I_s em mm/h , A em km^2 e Q_s em m^3/s , vale 3,6.

A definição das relações Intensidade – Duração – Frequência (IDF) permite calcular a intensidade de projeto adotando um período de recorrência para a obra e definindo seus parâmetros — trabalho realizado a partir de análises estatísticas de dados de postos pluviométricos. A utilização de curvas IDF é aconselhada em casos nos quais não há disponibilidade de dados fluviométricos que permitam a correlação entre a chuva e a vazão. As equações IDF's são em geral postas na forma da Equação 6. A equação utilizada neste trabalho foi desenvolvida seguindo a metodologia exposta em ESA (2006), utilizando uma série histórica de 67 anos a partir de 1940, para aplicação numa bacia da cidade de Pirassununga, São Paulo, e é mostrada na Equação 7.

$$\bar{I}_{(t)} = \frac{k * T^m}{(t + b)^n}$$

Equação 6

$$\bar{I}(t) = \frac{951,504 * T^{0,1614}}{(t + 13)^{0,7674}} \quad \text{Equação 7}$$

Na qual: $\bar{I}(t)$ – intensidade média da precipitação em mm/hr;

T – tempo de recorrência da obra em anos;

t – tempo de duração da chuva em minutos.

Para cálculo da intensidade efluente equivalente utiliza-se da definição de intensidade média em função do tempo, conforme mostrado na Equação 8. Fazendo-se a igualdade entre a Equação 6 e Equação 8 e derivando-as em função do tempo chega-se a Equação 9, que permite através da definição de um tempo de recorrência e um tempo de duração da chuva a determinação da vazão efluente máxima.

$$\bar{I}(t) = \frac{1}{t} \int_0^t I(t) * dt \quad \text{Equação 8}$$

$$I_s(t) = \frac{k * T^m}{(t + b)^n} * \left[1 - \frac{n * t}{(t + b)} \right] \quad \text{Equação 9}$$

A hipótese assumida para cálculo do volume do reservatório de detenção foi hidrograma efluente linear variando de 0 a t_d com valor máximo igual a Q_s , conforme mostrado na Figura 2.

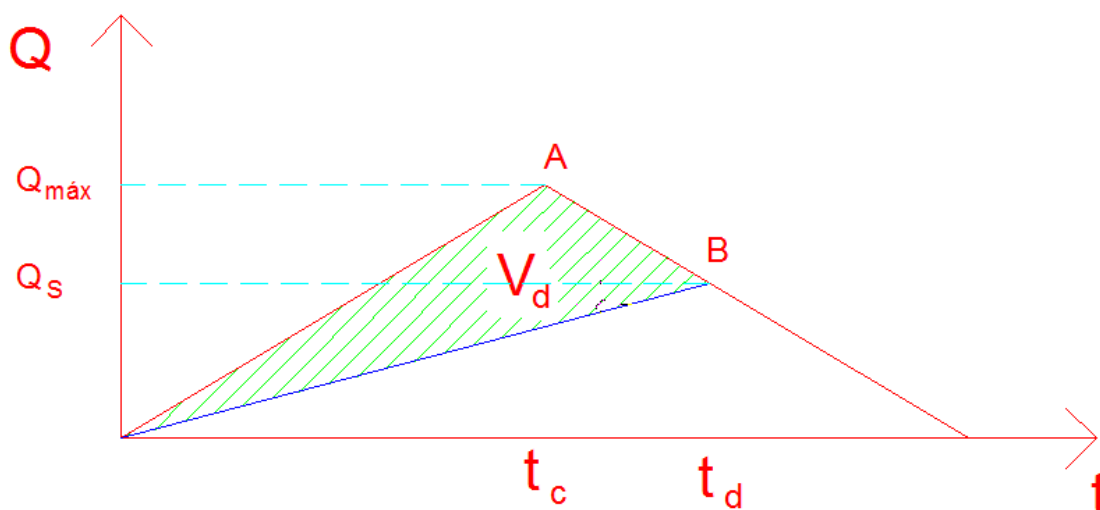


Figura 2: estimativa gráfica do volume do reservatório de detenção.

O volume afluente à bacia no intervalo $0 < t < t_d$, quando o volume retido é máximo pode ser visto na Equação 10.

$$V_{af} = \frac{C * A}{N_1} * \frac{k * T^m * t_d}{(t_d + b)^n} * N_2 \quad \text{Equação 10}$$

Em que N_1 e N_2 são coeficientes de conversão de unidades, sendo $N_1=3,6$ para área em km^2 e $\bar{I}(t)$ em mm/h e V_{af} em m^3 , e $N_2=60$ para t_d em minutos.

Observa-se que o volume de detenção pode ser calculado conforme a Equação 11.

$$V_d = V_{af} - \frac{Q_s * t_d}{2} \quad \text{Equação 11}$$

Associando a Equação 10 a Equação 11 o volume de detenção assume a forma apresentada na Equação 12.

$$V_d = \frac{C * A}{N_1} * N_2 * t_d * \left[\frac{k * T^m}{(t_d + b)^m} - \frac{I_s}{2} \right] \quad \text{Equação 12}$$

DESCOBERTAS E DISCUSSÕES

De forma que houvesse igualdade de condições na comparação entre os métodos avaliados no estudo a vazão máxima de saída foi fixada como em 2,8 m³/s, limitação de vazão imposta pelo canal, como informado por ESA (2006). A partir desta vazão foi possível determinar a intensidade efluente equivalente com o auxílio da Equação 5.

Os períodos de retorno estudados foram tempos usualmente utilizados em obras de macro drenagem sendo utilizados os períodos de 20, 25, 50 e 100 anos. Partindo destes períodos de recorrência, após a definição da vazão máxima efluente de projeto, foi possível determinar a duração da chuva de projeto com o auxílio da Equação 9. A relação entre a intensidade efluente equivalente e a duração da precipitação em função do período de recorrência pode ser vista na Figura 3.

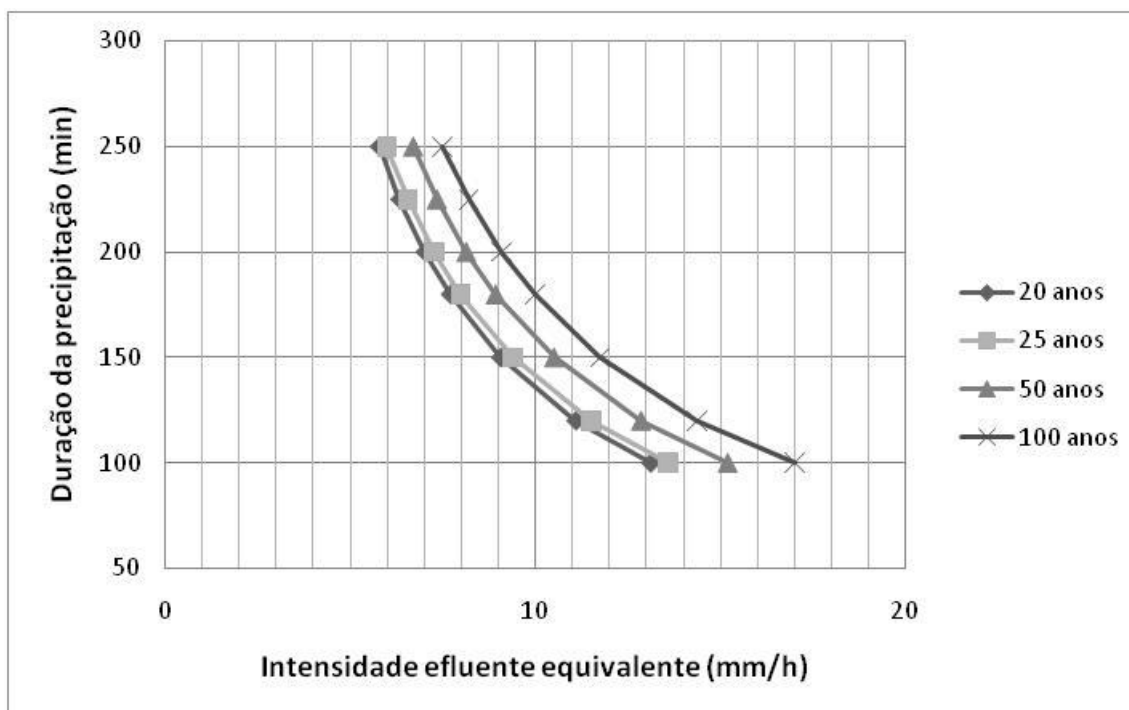


Figura 3: relação entre a intensidade efluente equivalente e a duração crítica da precipitação em função do tempo de retorno.

As durações das chuvas para cada período de retorno, assim como os tempos de concentração estudados são apresentadas em resumo na Tabela 1.

Tabela 1: duração da chuva crítica e tempos de concentração para os métodos avaliados.

Tempo de concentração		Duração da precipitação			
Método	T _c (min)	20 anos	25 anos	50 anos	100 anos
Chow	28	150	155	175	200
SCS (1975)	32,8				
FAA	33				
George-Ribeiro	26				

A avaliação dos volumes de detenção encontrados a partir do método proposto, da metodologia SCS (1986) e FAA foi realizada comparativamente ao método adimensional de

Porto (2002) que demonstrou bastante aplicabilidade no pré-dimensionamento de obras deste tipo. Para cada tempo de retorno foram analisados os volumes de detenção para os tempos de concentração iguais a 33, 28 e 26 minutos.

A Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4 apresentam os volumes obtidos da aplicação das chuvas de projetos, para períodos de recorrência avaliados, para os tempos de concentração de 26, 28 e 33 minutos, respectivamente.

Tabela 2: volumes de detenção para o tempo de concentração de 33 minutos.

Volume de detenção (m ³)				
Método	Tempo de recorrência			
	20	25	50	100
Porto (2002)	67.954,22	71.625,83	83.536,82	97.010,61
SCS (1986)	24.213,59	27.866,68	37.171,03	50.076,78
FAA	70.101,65	73.564,39	85.957,82	100.662,44
Proposto	72.856,66	76.337,58	88.740,96	103.428,67

Tabela 3: volumes de detenção para o tempo de concentração de 28 minutos.

Volume de detenção (m ³)				
Método	Tempo de recorrência			
	20	25	50	100
Porto (2002)	67.954,22	71.625,83	83.536,82	97.010,61
SCS (1986)	25.943,13	29.105,20	38.719,82	51.039,79
FAA	70.519,08	73.984,57	86.379,50	101.081,57
Proposto	72.856,66	76.337,58	88.740,96	103.428,67

Tabela 4: volumes de detenção para o tempo de concentração de 26 minutos.

Volume de detenção (m ³)				
Método	Tempo de recorrência			
	20	25	50	100
Porto (2002)	67.954,22	71.625,83	83.536,82	97.010,61
SCS (1986)	25.943,13	29.105,20	38.719,82	52.002,81
FAA	70.686,05	74.152,64	86.548,18	101.249,22
Proposto	72.856,66	76.337,58	88.740,96	103.428,67

Os tempos de concentração estudados mostraram que o método proposto e o método adimensional de Porto (2002) não sofrem alterações de volume ao serem variados os tempos de concentração em bacias de pequeno porte, onde o tempo do evento chuvoso é bastante superior.

O método FAA sofre variações ao passo em que se mudam os tempos de concentração da bacia hidrográfica, Porém as variações não são significativas e erros nos cálculos do tempo de obtenção da vazão máxima não interferem significativamente no processo. Ao passo em que se diminui o tempo de concentração da área de drenagem os volumes encontrados pelo método FAA se distanciam, de modo não significativo, dos volumes encontrados utilizando o método de Porto (2002). Em geral os volumes encontrados pela metodologia FAA diferenciaram cerca de 4% dos valores aplicados utilizando a metodologia adimensional.

O método SCS (1986) apresentou volumes de detenção significativamente menores aos demais métodos, fato que pode estar associado a baixa relação entre a vazão efluente máxima e a vazão de pico da região drenada.

A metodologia proposta apresentou valores de detenção de volumes condizentes com a proposição de sua aplicabilidade, apresentando valores não discrepantes dos volumes encontrados pela proposta adimensional de Porto (2002). A diferença máxima entre os volumes de detenção foi 7% para o período de retorno de 20 anos, mantendo-se na casa dos 6% para os demais períodos avaliados. A variação dos volumes em função do tempo de retorno para os tempos de concentração de 33 e 26 minutos podem ser vistos na Figura 4 e Figura 5.

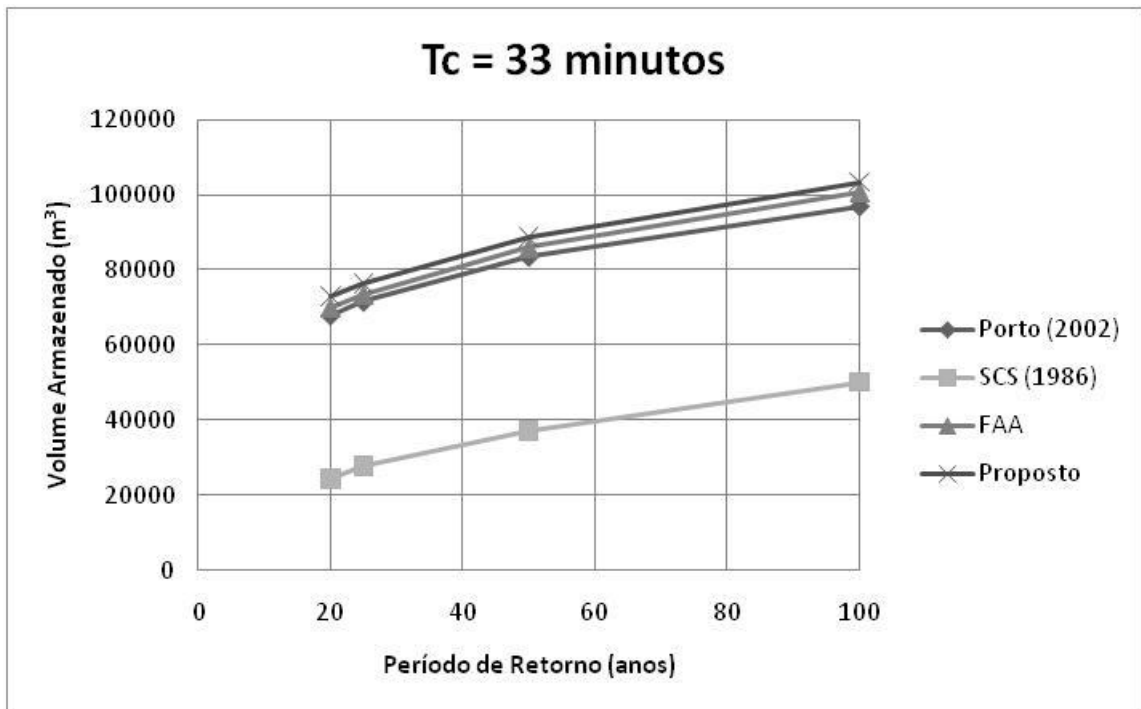


Figura 4: Volume de detenção em função do período de retorno, para $t_c=33$ minutos.

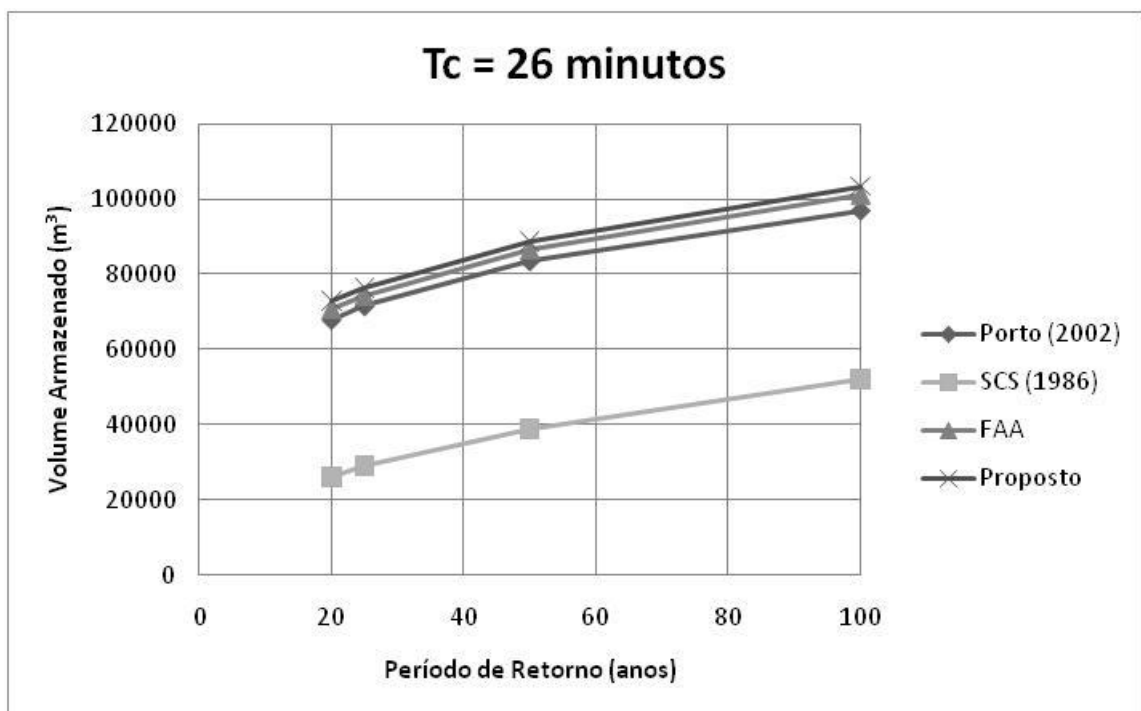


Figura 5: Volume de detenção em função do período de retorno, para $t_c=26$ minutos.

CONCLUSÕES

Erros no cálculo do tempo de concentração afetam o volume final de reservatórios de detenção, porém em bacias de pequeno porte, como a estudada, as diferenças de valores dos métodos estudados não interferiram de maneira significativa.

A escolha do método adimensional de Porto (2002) como método de referência para os demais métodos avaliados permitiu avaliar a aplicação de cada metodologia separadamente, fato que facilita a observação das virtudes e problemas de cada proposta.

O método SCS (1986) apresentou valores muito abaixo da metodologia adimensional de Porto (2002), fato que pode ser explicado pelo pequeno tamanho da área de drenagem, bem como a pequena relação entre a máxima vazão efluente e a vazão de pico da bacia hidrográfica. O método SCS (1986) apresentou também como inconveniente a utilização de ábacos para cálculo do volume de retenção, o que torna o processo de cálculo mais susceptível a erros.

O método da FAA e o método proposto apresentaram volumes de retenção similares, visto que ambos partem do mesmo princípio de cálculo — o método racional. O método FAA apresentou valores sensivelmente mais próximos dos valores encontrados pela metodologia de Porto (2002) que os valores encontrados pelo método proposto.

O método proposto apresentou volumes pouco discrepantes dos valores obtidos da utilização da metodologia adimensional de Porto (2002), mostrando eficácia satisfatória a seus propósitos.

Apesar de a metodologia FAA apresentar resultados mais precisos que o método proposto, a não dependência do tempo de concentração no cálculo do volume de retenção pelo método proposto torna-o menos susceptível a erros.

Uma vez que a proposta adimensional de Porto (2002) necessita da definição dos dispositivos de saída e gráficos adimensionais para definição do volume e o método proposto necessita apenas da definição da duração da chuva de projeto, o método proposto certamente auxiliará profissionais não habituados a projetos desse cunho na obtenção de valores de pré-dimensionamento de reservatórios de retenção.

É de fundamental importância a necessidade de testar a metodologia proposta para bacias de maior porte comparando-a com outros métodos difundidos, estudando sua validade e aplicabilidade a esses casos.

REFERÊNCIAS

ESA, ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Estudo básico, diagnóstico e proposta de soluções para os problemas de enchentes no bairro Cidade Jardim – Pirassununga – São Paulo, Relatório final.** Pirassununga, 2006.

FRANCO, E. J. **Dimensionamento de bacias de retenção das águas pluviais com base no método racional.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná. Curitiba: 2004.

MATA-LIMA, H.; VARGAS, H.; CARVALHO, J.; GONÇALVES, M.; CAETANO, H.; MARQUES, A.; RAMINHOS, C. **Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso.** Rem: Ver. Esc. Minas, Ouro Preto, vol. 60, nº 3, set. 2007. Disponível em [HTTP:// www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672007000300014&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672007000300014&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em 13 dez. 2010.

MATIAS, M. G. B. **Bacias de retenção: estudo de métodos de dimensionamento.** Dissertação de mestrado apresentada à Universidade do Porto, Porto: 2006.

MCCUEN, R. H. ***Hydrologic Analysis and Design*** – Prentice Hall, Englewood, New Jersey. 1989.850 p.

PINTO, N. L. DE S., HOLTZ, A. C. T., MASSUCCI, C. J. J. Vazão de dimensionamento de bueiros. Rio de Janeiro, IPR, reimp. 1975. 56p (Publ. 478).

PORTO, R. M. **Metodologia de cálculo para procedimentos preliminares em bacias de detenção**. São Carlos: 2002. Tese de Livre-Docência, Universidade de São Paulo, 2002.

SOIL CONSERVATION SERVICE. ***Technical Release 55. Urban Hydrology of Small Watersheds***. USDA, NRCS, 1986.

TASSI, R. **Comparação de duas metodologias para determinação do volume de detenção em pequenas bacias urbanas: o caso de Porto Alegre/RS Brasil**. In: XX CONGRESSO NACIONAL DEL ÁGUA E III SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DEL CONO SUR, 2005, Mendoza. **Anais...** Mendoza, 2005.