

LIMITAÇÕES DO DIMENSIONAMENTO SIMPLIFICADO NA LEGISLAÇÃO PAULISTA DE DRENAGEM URBANA: UMA ANÁLISE COMPARATIVA COM MÉTODOS HIDROLÓGICOS

Willian Lemos Mascaranhas Silva¹; Dan Lurie Tavares Fonseca²; Hugo de Oliveira Fagundes³

RESUMO - A urbanização aumenta o escoamento superficial e o pico de vazão das chuvas, sobrecarregando sistemas de drenagem e provocando inundações. Como medida de controle, a Lei Estadual nº 12.526/2007 de São Paulo, conhecida como Lei das Piscininhas, exige reservatórios de retenção em lotes com área impermeabilizada superior a 500 m². Este trabalho compara o método de dimensionamento previsto na lei estadual com o Método de Baker e o Método de Puls. Esses métodos foram aplicados a áreas impermeabilizadas de 500 m² a 1.000.000 m² em situação hipotética em Campinas/SP. Para o Método de Puls, a chuva de projeto foi gerada pelo Método dos Blocos Alternados ($T_r = 10$ anos, duração de 60 min), transformada em hidrograma pelo Método SCS-CN ($CN = 80$) e propagada em reservatório prismático com orifício de fundo e vertedor. Para cada área, dimensionou-se a estrutura que garante o volume requerido pelo método. Os resultados mostram que a fórmula prevista em lei pode ser adequada para pequenos lotes, mas subdimensiona reservatórios em grandes empreendimentos, sendo recomendada a avaliação normativa por porte ou a adoção de métodos de propagação acima de determinado limiar.

Palavras-chave: Drenagem urbana; Reservatório de retenção; Controle de cheias.

ABSTRACT - Urbanization increases surface runoff and peak rainfall discharge, overloading drainage systems and causing flooding. As an at-source control measure, São Paulo State Law No. 12.526/2007, known as the “Lei das Piscininhas”, requires detention reservoirs in lots with impervious areas greater than 500 m². This study compares the sizing method prescribed by the state law with the Baker Method and the Puls Method. These methods were applied to impervious areas ranging from 500 m² to 1,000,000 m² in a hypothetical scenario in Campinas, São Paulo, Brazil. For the Puls Method, the design storm was generated using the Alternating Block Method ($T_r = 10$ years, duration of 60 min), transformed into a hydrograph using the SCS-CN Method ($CN = 80$), and routed through a prismatic reservoir with a bottom orifice and a spillway. For each area, the corresponding structure was sized to meet the storage volume required by the method. The results show that the formula prescribed by law may be suitable for small lots but undersizes reservoirs in large developments, indicating the need for regulatory reassessment according to development scale or the adoption of routing-based methods above a given threshold.

Keywords: Urban drainage; Detention reservoir; Flood control.

INTRODUÇÃO

A expansão das áreas urbanas amplia a impermeabilização do solo e, com ela, o problema recorrente das inundações. A impermeabilização reduz a infiltração das águas pluviais e aumenta o escoamento superficial e, quando a capacidade do sistema de drenagem não acompanha essa mudança, o excedente extravasa e provoca inundações que impactam a infraestrutura urbana e a vida da população (Ongaga *et al.*, 2024).

¹Universidade Estadual de Campinas, LAPLA, Av. Albert Einstein, 951, Campinas/SP, w300444@dac.unicamp.br

²Universidade Estadual de Campinas, LAPLA, Av. Albert Einstein, 951, Campinas/SP, d300445@dac.unicamp.br

³Universidade Estadual de Campinas, LAPLA, Av. Albert Einstein, 951, Campinas/SP, hugoo@unicamp.br

Outro agravante é o aumento da vazão de pico do escoamento. Com o solo impermeabilizado, o volume escoado cresce significativamente em relação à condição anterior e sobrecarrega o sistema de drenagem existente por período suficiente para gerar inundações (Yin *et al.*, 2025).

Tais problemas geram custos ao poder público, tanto com o reparo da infraestrutura urbana quanto com a readequação dos sistemas de drenagem, que tradicionalmente adotam a abordagem de superdimensionar ou expandir a rede existente. Essa estratégia apenas adia o problema e não oferece uma solução sustentável a longo prazo (Jato-Espino *et al.*, 2016).

Diante disso, alguns municípios e estados instituíram, em legislações próprias, instrumentos de governança das águas urbanas voltados à redução do pico de vazão dos eventos extremos de precipitação. A medida mais difundida é a exigência de reservatórios de retenção, que amortecem a vazão encaminhada ao sistema público e transferem ao empreendedor parte do custo do controle do escoamento que ele próprio gera, parcela que em geral não compromete o balanço financeiro do empreendimento.

O amortecimento obtido está diretamente ligado ao volume detido pelo reservatório. Deste modo, este trabalho tem por objetivo comparar o volume de retenção previsto pela Lei Estadual nº 12.526/2007 do estado de São Paulo (São Paulo, 2007) com os volumes calculados pelo Método de Baker (Tomaz, 2002) e pelo Método de Puls, em um cenário hipotético em Campinas/SP, com áreas impermeabilizadas de 500 m² a 1.000.000 m². Busca-se verificar se, no caso de grandes empreendimentos, o volume exigido pela lei é suficiente para a redução pretendida do pico de vazão.

REVISÃO DOS MÉTODOS

Hidrologia urbana e o impacto da impermeabilização

A urbanização altera de forma significativa o ciclo hidrológico em bacias urbanas. A substituição de superfícies naturais por pavimentos impermeáveis reduz drasticamente a infiltração no solo, aumenta o volume escoado superficialmente e antecipa o tempo de pico do hidrograma de cheia (Tucci, 2007). Como consequência, as vazões de pico em bacias urbanizadas podem ser várias vezes superiores às registradas em condição de pré-desenvolvimento, sobrecarregando sistemas de drenagem dimensionados para cenários anteriores e provocando inundações localizadas.

Diante desse cenário, o paradigma contemporâneo da drenagem urbana, frequentemente referido como *controle na fonte*, preconiza que cada empreendimento internalize parte do impacto hidrológico que produz, mantendo a vazão de saída próxima à condição de pré-desenvolvimento (Canholi, 2014). Os reservatórios de retenção constituem o instrumento técnico mais difundido para esse fim, pois armazenam temporariamente o volume excedente do hidrograma de entrada e o liberam de forma controlada por meio de dispositivos hidráulicos de saída.

Lei Estadual nº 12.526/2007

A Lei Estadual nº 12.526/2007 de São Paulo, conhecida como “Lei das Piscininhas”, estabelece normas para o manejo de águas pluviais em áreas urbanas (São Paulo, 2007). Seu principal objetivo

é obrigatório que novos empreendimentos e grandes imóveis retenham a água da chuva dentro de seus próprios limites, por meio de um sistema de retenção.

Tal sistema é obrigatório para todos os lotes, edificados ou não, que possuam área impermeabilizada superior a 500 m². Além disso, a lei determina que áreas destinadas a estacionamentos e pátios tenham, no mínimo, 30% de sua superfície total composta por pavimentos drenantes ou solo exposto, permitindo a absorção natural da água pelo terreno.

Por se tratar de um método prescritivo, a lei fixa o volume de retenção diretamente a partir da área impermeabilizada e de constantes empíricas, sem considerar a forma do hidrograma nem as características da bacia hidrográfica, conforme a Equação 1.

$$V = 0,15 \cdot A_i \cdot IP \cdot t \quad (1)$$

com $IP = 0,06$ m/h e $t = 1$ h. Essa precipitação está associada a um tempo de retorno de 10 anos e duração de uma hora para a cidade de São Paulo, onde o índice pluviométrico tende a ser superior ao do restante do estado.

Método de Baker

Em municípios do Estado de São Paulo, como Ribeirão Preto, a aprovação de novos empreendimentos está condicionada à implantação de sistemas de retenção cujo volume a ser retido deve proporcionar a redução do deflúvio a uma situação inferior às condições preexistentes na área do empreendimento, de modo que a vazão de saída não ultrapasse a vazão natural da gleba anterior à urbanização.

Para o atendimento desse critério, é frequente o emprego do Método de Baker, citado por Tomaz (2002), o que torna mais rigoroso o dimensionamento desses sistemas e tal exigência pode estar associada a problemas históricos de drenagem nesses municípios.

O método parte do hidrograma sintético gerado pelo Método Racional e estima o volume de retenção a partir da diferença entre os picos de vazão pré e pós-desenvolvimento (Tomaz, 2002). Para isso, assume um hidrograma triangular de entrada e adota como fator de redução a relação apresentada na Equação 2, aplicada sobre o volume do hidrograma pós-desenvolvimento.

$$\alpha = 1 - \frac{Q_{\text{pré}}}{Q_{\text{pós}}} \quad (2)$$

As vazões de pico pré e pós-desenvolvimento, $Q_{\text{pré}}$ e $Q_{\text{pós}}$, podem ser estimadas por diferentes métodos hidrológicos, cuja escolha depende das características da bacia e da disponibilidade de dados. Neste trabalho, optou-se pelo Método Racional, por sua maior aplicação em estudos de drenagem urbana, que estima a vazão de pico conforme a Equação 3.

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{3,6} \quad (3)$$

em que Q é a vazão de pico (m^3/s), C é o coeficiente de escoamento superficial, i é a intensidade pluviométrica (mm/h) e A é a área da bacia de contribuição (km^2). O fator 3,6 é resultante da compatibilização das unidades empregadas.

Ainda que simplificado, o método incorpora variáveis hidrológicas relevantes, como os coeficientes de escoamento anterior e posterior à construção e a intensidade pluviométrica, produzindo resultados mais aderentes às características específicas de cada empreendimento.

O Método de Puls

O Método de Puls é uma técnica de propagação de hidrogramas amplamente empregada em pequenos reservatórios. O método baseia-se na equação da continuidade aplicada de forma concentrada ao reservatório, conforme a Equação 4.

$$\frac{dS}{dt} = I - Q \quad (4)$$

em que S é o volume armazenado no reservatório (m^3), t é o tempo (s), I é a vazão afluente (m^3/s) e Q é a vazão de saída do reservatório (m^3/s), que, no caso de reservatórios de retenção, corresponde às descargas das estruturas de saída.

Aproximando a Equação 4 por diferenças finitas e considerando uma variação linear de I e Q ao longo do intervalo Δt , obtém-se a forma discretizada apresentada na Equação 5.

$$\frac{S_{t+\Delta t} - S_t}{\Delta t} = \frac{I_t + I_{t+\Delta t}}{2} - \frac{Q_t + Q_{t+\Delta t}}{2} \quad (5)$$

em que Δt é o tamanho do intervalo de tempo (s), $S_{t+\Delta t}$ e S_t são os volumes armazenados no reservatório ao final e no início do intervalo de tempo (m^3), I_t e $I_{t+\Delta t}$ são as vazões de entrada no início e no final do intervalo (m^3/s), e Q_t e $Q_{t+\Delta t}$ são as vazões de saída do reservatório no início e no final do intervalo de tempo (m^3/s).

Como tanto $S_{t+\Delta t}$ quanto $Q_{t+\Delta t}$ são funções não lineares do nível d'água $h_{t+\Delta t}$, o Método de Puls reorganiza a Equação 5 de modo a agrupar do lado esquerdo os termos desconhecidos no instante $t + \Delta t$, e do lado direito os termos conhecidos, resultando na Equação 6.

$$\frac{2S_{t+\Delta t}}{\Delta t} + Q_{t+\Delta t} = I_t + I_{t+\Delta t} + \frac{2S_t}{\Delta t} - Q_t \quad (6)$$

A solução opera sobre uma curva auxiliar que tabula a relação $\left[\frac{2S}{\Delta t} + Q\right]$ em função de Q , construída a partir das características do reservatório (curva cota-volume) e das características do vertedor

e demais estruturas de descarga (curva cota-vazão). A cada passo de tempo, o lado direito da Equação 6 é calculado com os valores conhecidos do intervalo anterior, obtendo-se diretamente o termo do lado esquerdo. A partir dele, $Q_{t+\Delta t}$ é determinado por interpolação na curva auxiliar, e $S_{t+\Delta t}$ decorre da própria relação (Collischonn; Dornelles, 2013).

Chuva de projeto e transformação chuva-vazão

A transformação chuva-vazão na bacia contribuinte foi feita pelo Método SCS-CN do Soil Conservation Service (1972), que separa a chuva total em parcelas de infiltração e escoamento por meio do parâmetro adimensional CN (*Curve Number*). A precipitação efetiva é obtida pela Equação 7.

$$Q_{esc} = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}, \quad S = \frac{25400}{CN} - 254, \quad I_a = 0,2 \cdot S \quad (7)$$

com P em mm. O escoamento direto incremental em cada passo é então convoluído com o Hidrograma Unitário Triangular do SCS, gerando o hidrograma de entrada do reservatório.

A chuva de projeto foi gerada pelo Método dos Blocos Alternados a partir da equação IDF (intensidade-duração-frequência) local. O método organiza as intensidades médias da IDF em blocos discretos, distribuídos alternadamente em torno do bloco de pico, produzindo um hietograma crítico para a duração e período de retorno escolhidos.

METODOLOGIA

A comparação entre os três métodos foi conduzida por meio de uma varredura de áreas impermeabilizadas entre 500 m² e 1.000.000 m², com passo de 1.500 m², totalizando 667 cenários. O limite inferior corresponde ao limiar legal da Lei Estadual nº 12.526/2007 e o superior representa grandes empreendimentos. Para cada cenário, implementou-se um algoritmo computacional em Python organizado em três partes correspondentes aos métodos analisados.

Volume prescrito pela Lei Estadual nº 12.526/2007

Na primeira parte, calculou-se o volume de detenção prescrito pela Lei Estadual nº 12.526/2007 por aplicação direta da Equação 1 sobre a área impermeabilizada A_i de cada cenário, com os parâmetros fixados pela legislação.

Volume pelo Método de Baker

Na segunda parte, calculou-se o volume pelo Método de Baker, com base na diferença entre as vazões de pico de pré e pós-desenvolvimento estimadas pelo Método Racional (Equação 3). A vazão de pré-desenvolvimento $Q_{pré}$ foi obtida adotando-se o coeficiente de escoamento $C = 0,30$, representativo da condição natural do terreno, enquanto a vazão de pós-desenvolvimento $Q_{pós}$ foi calculada com $C = 0,80$, característico de áreas residenciais de alta densidade. A intensidade pluviométrica i foi obtida a partir da IDF da cidade de Campinas, conforme DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica e Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos (2018), adotando-se tempo de retorno de 10 anos e tempo de concentração de 10 minutos. A área impermeabilizada A_i foi consi-

derada como a própria área total de contribuição, sendo a única variável entre os cenários. O volume pós-desenvolvimento foi tomado como o de um hidrograma triangular de base igual a duas vezes o tempo de concentração ($V_{\text{pós}} = Q_{\text{pós}} \cdot t_c$), sobre o qual se aplica o fator α da Equação 2.

Dimensionamento pelo Método de Puls

Na terceira parte, dimensionou-se o reservatório de retenção pelo Método de Puls. A chuva de projeto, gerada pelo Método dos Blocos Alternados a partir da mesma IDF da cidade de Campinas adotada na fase anterior, é única para todos os cenários. Essa chuva foi transformada em hidrograma de entrada pelo Método SCS-CN, acoplado ao Hidrograma Unitário Triangular do SCS, gerando, para cada cenário, um hidrograma específico em função da área impermeabilizada A_i , com passo de tempo de 1 minuto.

O hidrograma resultante foi então propagado pela formulação discretizada da equação da continuidade (Equação 6), buscando-se, por iteração sobre a geometria do reservatório e o diâmetro do orifício, a menor dimensão que satisfaz os critérios de dimensionamento descritos adiante. A implementação do método foi conferida pela reprodução do exemplo de propagação em reservatório apresentado por Collischonn e Dornelles (2013).

Geometria do reservatório

O reservatório foi modelado como prismático retangular, com proporção fixa entre o comprimento L e a largura B da base, dada por $L = 2,5 \cdot B$, sendo B também a dimensão de referência para a largura do vertedor. A altura útil foi mantida em 2,20 m (2,00 m até a soleira do vertedor mais 0,20 m de carga hidráulica máxima admissível sobre a soleira).

A geometria prismática foi escolhida por simplificar a curva cota-volume para $V(h) = B \cdot L \cdot h$ e pela compatibilidade com reservatórios enterrados em concreto armado, configuração predominante em empreendimentos urbanos.

Estruturas de saída

O reservatório dispõe de duas estruturas de saída. A primeira é um descarregador de fundo, orifício circular com eixo posicionado a $D/2$ da base e diâmetro D selecionado entre os comerciais de 100, 150, 200, 250, 300, 400 e 600 mm, cuja vazão segue a equação geral de orifício (Equação 8).

$$Q_{\text{orif}} = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2gh}, \quad C_d = 0,60 \quad (8)$$

A segunda é um vertedor retangular com largura igual a B , limitada construtivamente a 20 m, soleira posicionada a 2,00 m da base e coeficiente de descarga $C_v = 1,5$, valor representativo de vertedores de soleira espessa (Equação 9).

$$Q_{\text{vert}} = C_v \cdot B \cdot h^{3/2} \quad (9)$$

A vazão total de saída em uma dada cota é a soma das contribuições do orifício e do vertedor.

Critério de dimensionamento

Para cada A_i , busca-se a combinação (D, B) que atenda simultaneamente ao amortecimento mínimo de 20%, expresso por $Q_{\text{pico, saída}}/Q_{\text{pico, entrada}} \leq 0,80$, e à condição de não transbordamento, com lâmina máxima inferior à altura útil.

O algoritmo varre os diâmetros comerciais em ordem crescente e, para cada diâmetro, incrementa B desde um valor mínimo de 0,5 m em passos de 0,15 m, gerando a cada iteração a curva cota-volume-vazão completa do reservatório (passo vertical de 2 cm) e aplicando o Método de Puls. A primeira combinação que atende a ambos os critérios é registrada como candidata. Dentre todos os candidatos, seleciona-se a menor B obtida. Havendo empate dentro de uma janela de tolerância de 5 m, prefere-se o maior diâmetro disponível, por garantir maior funcionalidade operacional e menor risco de obstrução.

Para garantir consistência na varredura, impôs-se uma condição de uniformidade, na qual o diâmetro do orifício selecionado para uma dada A_i não pode ser inferior ao da A_i imediatamente menor. Essa restrição evita resultados não físicos em que um aumento da área de contribuição implicaria redução do dispositivo de saída.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comparação entre os três métodos de dimensionamento, aplicada às áreas impermeabilizadas, evidencia que o volume necessário para o amortecimento da vazão de pico não se comporta de forma linearmente proporcional a A_i , como assumem a Lei Estadual e o Método de Baker. O Método de Puls produz uma curva não linear ao longo do aumento da área impermeabilizada, reflexo direto da operação do orifício regulado por diâmetros comerciais, da entrada em funcionamento do vertedor e do limite construtivo imposto à largura desse dispositivo.

A Tabela 1 apresenta os valores em pontos representativos das faixas de áreas estudadas, e a Figura 1 ilustra a relação entre A_i e o volume de detenção pelos três métodos.

Tabela 1: Volumes de detenção pelos três métodos em pontos selecionados da varredura.

A_i (ha)	V_{Lei} (m ³)	V_{Baker} (m ³)	V_{Puls} (m ³)	$V_{\text{Puls}}/V_{\text{Lei}}$	$V_{\text{Puls}}/V_{\text{Baker}}$
0,05	4,5	5,8	7,0	1,56	1,21
0,5	45,0	58,1	39,7	0,88	0,68
5	450,0	581,0	247,1	0,55	0,43
9,95	895,5	1.156,2	624,2	0,70	0,54
20	1.800,0	2.324,0	1.836,6	1,02	0,79
50	4.500,0	5.810,0	7.192,1	1,60	1,24
99,95	8.995,5	11.614,2	16.867,1	1,88	1,45

Fonte: Autores, 2026

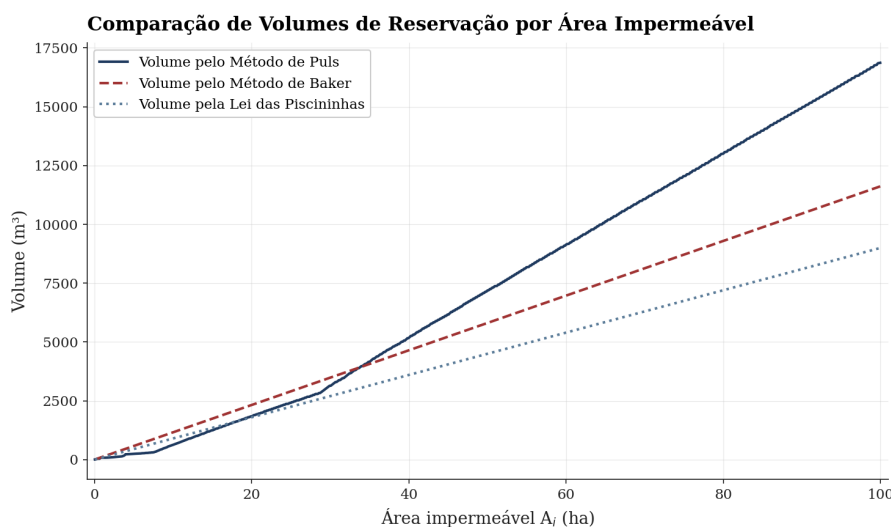


Figura 1: Comparação de volumes de reservação por área impermeável pelos métodos de Puls e de Baker e pela Lei das Piscininhas.

Fonte: Autores, 2026

Análise comparativa por faixa de área

Para áreas impermeáveis de até aproximadamente 3,7 ha, o amortecimento de 20% é obtido exclusivamente pelo orifício de fundo, com o vertedor atuando apenas como dispositivo de segurança. A partir desse porte, o vertedor passa a contribuir para a descarga durante o pico. Os diâmetros selecionados pelo algoritmo variam de 150 a 600 mm, com o maior diâmetro comercial disponível (600 mm) adotado desde cerca de 4,0 ha até o fim da varredura.

Até aproximadamente 18 ha, o volume calculado pelo Método de Puls oscila em torno do prescrito pela Lei, entre 0,43 e 1,56 vezes esse valor, em um padrão de dente de serra decorrente da discretização dos diâmetros comerciais. A cada substituição de diâmetro, a maior capacidade de descarga reduz o volume requerido, até que o crescimento da área consuma essa folga e exija novo aumento do reservatório. Na maior parte dessa faixa, a fórmula legal e o Método de Baker prescrevem volumes iguais ou superiores aos necessários, com exceções pontuais nos saltos de diâmetro e no próprio limiar legal de 500 m^2 , em que o volume prescrito resultou inferior ao requerido.

A partir de $A_i \approx 18$ ha, o volume obtido pelo Puls passa a superar de forma definitiva o prescrito pela Lei das Piscininhas. Próximo de 23 ha, o limite construtivo de 20 m da largura do vertedor é atingido e o ajuste do dimensionamento passa a depender cada vez mais do armazenamento, o que acentua o crescimento do volume com a área. Em torno de 34 ha, o volume pelo Puls ultrapassa também o calculado pelo Baker e, nos grandes empreendimentos, distancia-se progressivamente de ambos os métodos simplificados. No limite superior da varredura (100 ha), o volume pelo Puls corresponde a 1,88 vezes o prescrito pela Lei e a 1,45 vezes o obtido pelo Baker.

Ao longo da varredura, o Método de Baker produz volumes intermediários, mais próximos dos obtidos pelo Puls do que a fórmula prescritiva da Lei, que permanece como o volume mais subesti-

mado nas áreas maiores. Esse comportamento decorre da estrutura do método, que, ao incorporar a relação $\alpha = 1 - Q_{\text{pré}}/Q_{\text{pós}}$, captura o efeito da diferença entre o escoamento pré e pós-desenvolvimento, variável que a fórmula da lei ignora. Cabe notar que os métodos perseguem alvos distintos, pois o fator do Baker está associado à redução do pico até a condição de pré-desenvolvimento, enquanto o critério aqui adotado para o Puls exige apenas 20% de amortecimento. Mesmo com esse alvo mais brando, o Puls demanda volumes superiores nas grandes áreas, o que sugere que métodos que incorporam alguma representação do hidrograma, mesmo que triangular e sintética, são preferíveis a fórmulas puramente prescritivas em escalas médias e grandes, ainda que também possam subdimensionar no extremo superior da distribuição.

Cabe ressaltar que a Lei nº 12.526/2007 representa um avanço significativo na gestão das águas urbanas paulistas, ao institucionalizar a obrigatoriedade dos reservatórios de retenção e responsabilizar o empreendedor pelo controle do escoamento gerado. Contudo, os resultados evidenciam que, para grandes empreendimentos, o volume prescrito pela fórmula atual é insuficiente para conter adequadamente a vazão de pico, transferindo parte do impacto hidrológico ao sistema público de drenagem.

Nesse sentido, mostra-se oportuna uma revisão da legislação, com métodos de dimensionamento diferenciados por porte de empreendimento. Para lotes de pequena área impermeabilizada, a fórmula vigente pode ser mantida, dada sua praticidade administrativa e a proximidade global com os volumes requeridos nessa faixa. Para empreendimentos de médio e grande porte, recomenda-se a adoção de métodos que incorporem a propagação hidrológica do hidrograma, como o Método de Puls ou o Método de Baker, estratificando as exigências regulatórias em função da área impermeabilizada.

Vale ainda o questionamento acerca da relação entre o custo de reservatórios adequadamente dimensionados, o custo total do empreendimento e o benefício gerado à população, análise que extrapola o escopo deste trabalho. Ao subdimensionar o volume exigido de grandes empreendimentos, a legislação atual transfere de forma indireta parte do ônus hidrológico ao poder público, que precisa compensar o déficit com a ampliação das redes ou com estruturas de maior porte, como os piscinões municipais. Essa transferência representa uma socialização dos custos gerados pela impermeabilização privada. O dimensionamento rigoroso dos reservatórios, portanto, não é apenas uma questão técnica, mas também de equidade e de governança no compartilhamento dos custos da gestão das águas urbanas.

Limitações do estudo

Os resultados apresentados são condicionados a um conjunto de premissas metodológicas. No cenário pluviométrico, adotou-se a equação IDF de Campinas/SP com $T_r = 10$ anos e duração de 60 min. Bacias com regimes mais intensos ou com chuvas de duração superior ao tempo de concentração podem deslocar o ponto de transição entre os métodos, de forma favorável ou desfavorável ao Puls. Quanto aos parâmetros hidrológicos, os valores $CN = 80$ e $t_c = 10$ min foram mantidos constantes ao longo de toda a varredura. Bacias com maior abstração inicial ou com tempos de concentração

mais longos produziriam hidrogramas com picos menores e, conseqüentemente, volumes de retenção menores.

Os coeficientes de escoamento adotados no Método de Baker foram $C_{\text{pré}} = 0,30$ e $C_{\text{pós}} = 0,80$, correspondentes, respectivamente, a solo natural e a áreas urbanas de alta densidade impermeabilizada. Alterações nesses valores deslocam proporcionalmente a curva do Baker. A geometria do reservatório foi restrita, por simplicidade, à configuração prismática retangular com $L = 2,5 \cdot B$ e altura útil de 2,20 m, e a largura do vertedor foi limitada a 20 m, de modo que geometrias e arranjos alternativos podem produzir relações volume-amortecimento distintas. As estruturas de descarga foram igualmente simplificadas, considerando-se um único orifício de fundo com diâmetros comerciais discretos e um vertedor retangular único, enquanto configurações com múltiplos orifícios ou vertedores em estágios modificariam o comportamento na faixa de grandes empreendimentos. Por fim, o bloco de pico foi posicionado ao final do hietograma, opção que tende a produzir hidrogramas mais críticos e volumes maiores. Posicionamentos central ou inicial podem reduzir os volumes calculados pelo Puls.

CONCLUSÕES

Este trabalho comparou três métodos de dimensionamento de reservatórios de retenção (a Lei Estadual nº 12.526/2007, conhecida como Lei das Piscininhas, o Método de Baker e o Método de Puls), aplicados a áreas impermeabilizadas entre 500 m² e 1.000.000 m² em cenário hipotético para Campinas/SP.

Os resultados demonstram que, para pequenas áreas impermeabilizadas, os volumes prescritos pela lei e pelo Método de Baker oscilam em torno do calculado pelo Método de Puls, faixa em que a fórmula prescritiva pode ser considerada globalmente adequada. A partir de aproximadamente 18 ha, porém, o volume calculado pelo Puls supera de forma definitiva o prescrito pela lei e, acima de cerca de 34 ha, também o obtido pelo Baker, evidenciando subdimensionamento crescente da fórmula legal e, em menor grau, do Método de Baker.

O Método de Baker apresentou desempenho intermediário, com volumes mais próximos aos do Puls do que os da fórmula prescritiva, por incorporar, ainda que de forma simplificada, a diferença entre as condições de escoamento pré e pós-desenvolvimento.

Conclui-se que a Lei nº 12.526/2007 representa um avanço relevante na gestão das águas urbanas paulistas, mas seu método de dimensionamento mostra-se insuficiente para grandes empreendimentos. Recomenda-se a revisão normativa com a adoção de métodos diferenciados por porte, mantendo-se a fórmula vigente para pequenos lotes e exigindo-se métodos baseados em propagação hidrológica, como o Método de Puls ou o Método de Baker, para empreendimentos de médio e grande porte. Assegura-se, assim, maior correspondência entre o volume reservado e o impacto hidrológico efetivamente gerado.

REFERÊNCIAS

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

COLLISCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. Porto Alegre: ABRH, 2013.

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA; CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS. **Precipitações intensas no Estado de São Paulo**. São Paulo, maio 2018.

JATO-ESPINO, Daniel *et al.* Rainfall–Runoff Simulations to Assess the Potential of SuDS for Mitigating Flooding in Highly Urbanized Catchments. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 13, n. 1, 2016. ISSN 1660-4601. DOI: 10.3390/ijerph13010149. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/13/1/149>.

ONGAGA, Cyrus Omwoyo *et al.* Urbanization and hydrological dynamics: a 22-year assessment of impervious surface changes and runoff in an urban watershed. **Frontiers in Water**, Volume 6 - 2024, 2024. ISSN 2624-9375. DOI: 10.3389/frwa.2024.1455763. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/water/articles/10.3389/frwa.2024.1455763>.

SÃO PAULO (ESTADO). Lei nº 12.526, de 2 de janeiro de 2007: Estabelece normas para a contenção de enchentes e destinação de águas pluviais. São Paulo, 2007. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2007/lei-12526-02.01.2007.html>. Acesso em: 13 maio 2026.

SOIL CONSERVATION SERVICE. **National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology**. Washington, DC, 1972.

TOMAZ, P. **Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais**. 1. ed. São Paulo: Editora Navegar, 2002.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Inundações Urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007.

YIN, Zheng *et al.* Sustainable Stormwater Management: Runoff Impact of Urban Land Layout with Multi-Level Impervious Surface Coverage. **Sustainability**, v. 17, 8 abr. 2025. ISSN 2071-1050. DOI: 10.3390/su17083511.