

SISTEMAS ALTERNATIVOS PARA CONTROLE DE CHEIAS: COMPARATIVO ECONÔMICO ENTRE RESERVAÇÃO DISTRIBUÍDA IN LINE COM TUBOS PEAD E RESERVAÇÃO TRADICIONAL

Victor Ferrarezi¹ ; Weslle Rocha^{2} & Mário Eduardo Mendiando³*

RESUMO – A rápida urbanização impõe desafios significativos ao manejo de águas pluviais na microdrenagem, onde a impermeabilização do solo reduz o tempo de concentração e eleva os picos de vazão a jusante. Embora os reservatórios de detenção convencionais sejam eficazes para mitigar esse impacto, sua implantação esbarra frequentemente na escassez de áreas disponíveis em empreendimentos urbanos. Diante disso, este trabalho avaliou a aplicabilidade de uma solução de reservação *in line* (armazenamento distribuído na própria rede) com tubos de polietileno de alta densidade (PEAD), utilizando um poço de visita especial com controle hidrodinâmico por orifício e vertedouro. O estudo de caso foi aplicado ao projeto de drenagem de um loteamento em Santa Bárbara d'Oeste (SP). Os cenários pré e pós-urbanizados foram caracterizados pelo Método Racional e as simulações hidráulicas foram realizadas no software EPA SWMM. A análise orçamentária tomou como base a tabela SINAPI. Os resultados indicaram que ambos os métodos promoveram um amortecimento satisfatório, retornando as vazões de saída a patamares próximos aos do cenário pré-urbanizado. Embora a solução tradicional em aduelas de concreto tenha se mostrado financeiramente mais econômica na maioria dos cenários, a reservação *in line* demonstrou-se altamente competitiva e tecnicamente viável em situações com restrições espaciais severas.

Palavras-Chave – drenagem urbana; reservação *in line*; amortecimento de cheias

ABSTRACT– Rapid urbanization poses significant challenges to stormwater management in microdrainage, where soil sealing reduces concentration time and increases downstream peak flows. Although conventional detention ponds are effective in mitigating this impact, their implementation often faces constraints due to land availability in urban developments. Therefore, this paper evaluated the applicability of an in-line storage solution (distributed storage within the network itself) using high-density polyethylene (HDPE) pipes and a special manhole equipped with a hydrodynamic control system via orifice and weir. The case study was applied to a housing development drainage design in Santa Bárbara d'Oeste (SP). Pre- and post-development scenarios were characterized using the Rational Method, and hydraulic simulations were conducted utilizing EPA SWMM software. The budget analysis was based on the SINAPI framework. The results indicated that both methods achieved satisfactory peak flow reduction, returning outflow rates to levels close to the pre-development scenario. Although the traditional concrete box culvert solution proved to be more cost-effective in most scenarios, the in-line storage system demonstrated high competitiveness and technical viability under severe spatial constraints.

Key-words – urban drainage; in line storage; flood attenuation

INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, medidas de controle de águas pluviais em escala de microdrenagem consistem em drenar a água precipitada através de tubos que a conduzem até um coletor principal.

1) Universidade de São Paulo, ferrareziv@usp.br

2) Universidade de São Paulo, * weslle.rocha@usp.br

3) Universidade de São Paulo, emm@sc.usp.br

Entretanto, tal solução resulta na transferência de um escoamento com maior velocidade à jusante, dada a redução do tempo de deslocamento do escoamento ocasionada pela impermeabilização e, conseqüentemente, aumentando o risco de inundações nos troncos principais ou na própria macrodrenagem (Tucci, 2003).

Para contornar o problema da transferência do acréscimo de vazão para a jusante aplicam-se as medidas de controle de jusante, onde se busca amortecer o volume gerado. Para este fim, reservatórios de retenção são amplamente empregados. Tais dispositivos dispõem das funções de controle de vazão máxima, volume e material sólido (Tucci e Genz, 1995). No entanto, estas estruturas representam parcela significativa no projeto e, muitas vezes, enfrenta o impasse de disponibilidade de área para sua implantação. Segundo Righetto *et al.* (2009) existem outras alternativas de amortecimento de cheias, como por exemplo os sistemas de bioaterração, bacias de infiltração, valas de infiltração e pavimento permeável.

Diante do exposto, o presente trabalho avalia a aplicabilidade de uma solução de reservação *in line* (armazenamento na própria rede) como alternativa à retenção convencional em reservatórios de concreto em um loteamento no município de Santa Bárbara d'Oeste, no estado de São Paulo, objetivando verificar a capacidade de armazenamento desse sistema otimizado e comparar sua viabilidade econômica frente ao modelo tradicional.

METODOLOGIA

A metodologia deste estudo é indicada na Figura 1.

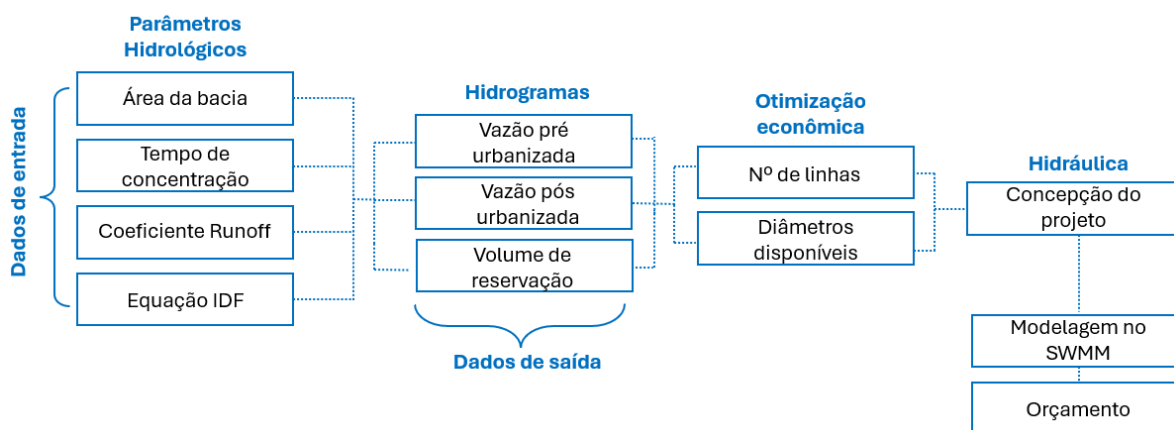


Figura 1: Metodologia da pesquisa

Localização e caracterização da área de estudo

Este estudo de caso é referente ao projeto de drenagem pluvial da gleba Sítio Gerivá, localizada no município de Santa Bárbara d'Oeste (22°45'20.89"S; 47°25'50.38"W), estado de São Paulo.

Analisou-se dois cenários de usos da terra deste loteamento: um pré-urbanizado e um pós-urbanizado e os respectivos coeficientes de runoff (C) adotados foram de 0,25 e 0,60 (Tucci, 2009).

A utilização do método racional (Equação 1) para o cálculo da vazão contribuinte é justificado pela área total de aproximadamente 0,02 km², respeitando o limite de 2 km² definido pelo *Guia Prático para Pequenas Obras Hidráulicas* – DAEE (2005).

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot i \cdot A \quad (1)$$

Em que Q é a vazão de projeto em m³/s; C é o coeficiente de runoff; i é a intensidade da precipitação em mm/h e A é a área da bacia hidrográfica em km².

Caracterização hidrológica

Os parâmetros hidrológicos da área do empreendimento foram obtidos com base na Instrução Normativa Conjunta Nº 001/2022 de 25 de agosto de 2022. Dentre as instruções no documento destacam-se (i) cálculo da precipitação pluviométrica pela formulação do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) para Piracicaba (SP) e região; (ii) o tempo de recorrência (Tr) mínimo é de 15 anos e (iii) o tempo de concentração (tc) mínimo para o cálculo de precipitação pluviométrica é de 12 minutos.

Segundo o Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE (2018), a equação de precipitações intensas para Piracicaba é apresentada pela Equação 2:

$$i = 44,52(t + 30)^{-0,8972} + 23,53(t + 40)^{-0,9506} \cdot \left[-0,4847 - 0,9062 \ln \ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \quad (2)$$

Em que t é a duração da chuva em minutos e T é o período de recorrência em anos.

Para este estudo foi adotado um tempo de duração de chuva igual ao tempo de concentração da bacia, isto é, 12 minutos. O tempo de concentração foi adotado o mínimo conforme a instrução normativa do município mencionada acima para ambos os cenários, uma vez que dado o tamanho das sub-bacias de contribuição já é um valor julgado como satisfatório. O mesmo vale para a determinação do período de recorrência, que foi fixado em 15 anos, também levando em consideração as dimensões da área.

Determinação do volume de armazenagem

O volume de reservação foi determinado a partir dos hidrogramas de projeto, definidos pelas vazões de pico e pelo tempo de concentração. Em posse dos hidrogramas para os cenários pré e pós urbanizados, aplica-se para cada um, a relação entre volume, vazão de pico e tempo de base, conforme a Equação 3 (Chow, 1988).

$$V_{pré,pós} = \frac{Q_{pré,pós} \cdot t_b}{2} \quad (3)$$

Em que V é o volume escoado (m³), Q é a vazão de pico (m³/s) e t_b é o tempo de base do escoamento (s).

Portanto, o volume de reservação foi definido pela diferença entre o volume escoado no cenário

pré-urbanizado e o pós-urbanizado, representado pela Equação 4.

$$V_{\text{reservação}} = V_{\text{pós}} - V_{\text{pré}} \quad (4)$$

Neste caso, as áreas devem ser totalmente aproveitadas, condicionando a reservação à um reservatório aterrado.

Dado o caráter de estudo de caso desta pesquisa, optou-se por manter as mesmas premissas hidrológicas adotadas no estudo convencional, no qual a duração crítica da chuva não foi utilizada como critério de dimensionamento a fim de avaliar para um mesmo volume de armazenamento, quais alternativas apresentavam maior viabilidade técnica e econômica.

Análise hidráulica e orçamentária do método reservação tradicional

A Figura 2 apresenta o sistema de reservação tradicional projetado para a gleba Sítio Gerivá, de forma que aduelas de concreto são utilizadas como reservatório.

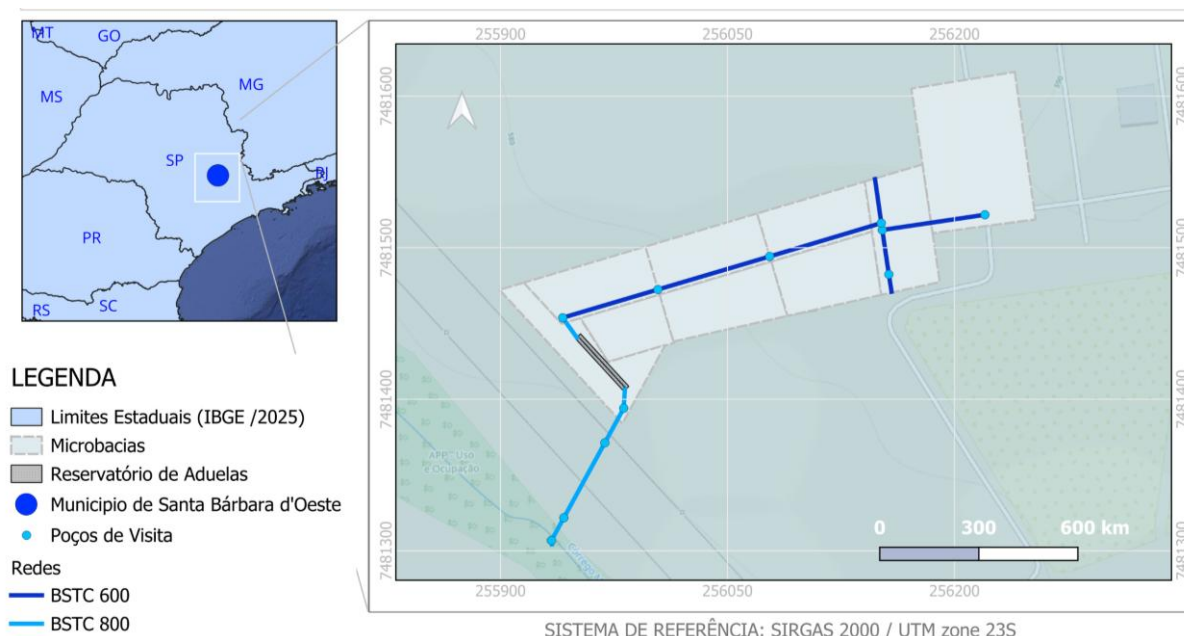


Figura 2: Layout do sistema tradicional

Tendo em vista que para um mesmo volume de reservação diversas soluções de comprimento, largura e números de linhas para a composição da geometria do reservatório podem ser obtidas, realizou-se uma análise de cenários que podem compor a solução final da geometria do reservatório.

Reuniu-se todas as possibilidades de diferentes diâmetros de entrada, seções comerciais de aduelas e seus respectivos custos associados, tendo em vista as restrições espaciais de 50 metros de comprimento e 6 metros de largura máxima. A orçamentação foi realizada com base na tabela SINAPI para o Estado de São Paulo e em médias de outros orçamentos públicos.

Por fim, para este método, realizou-se sua análise hidráulica, a fim de se obter as vazões amortecidas.

Concepção, análise hidráulica e orçamentária do método reservação in line

O sistema de reservação in line foi concebido sob as mesmas restrições espaciais do sistema de reservação tradicional e seu layout é mostrado na Figura 3.

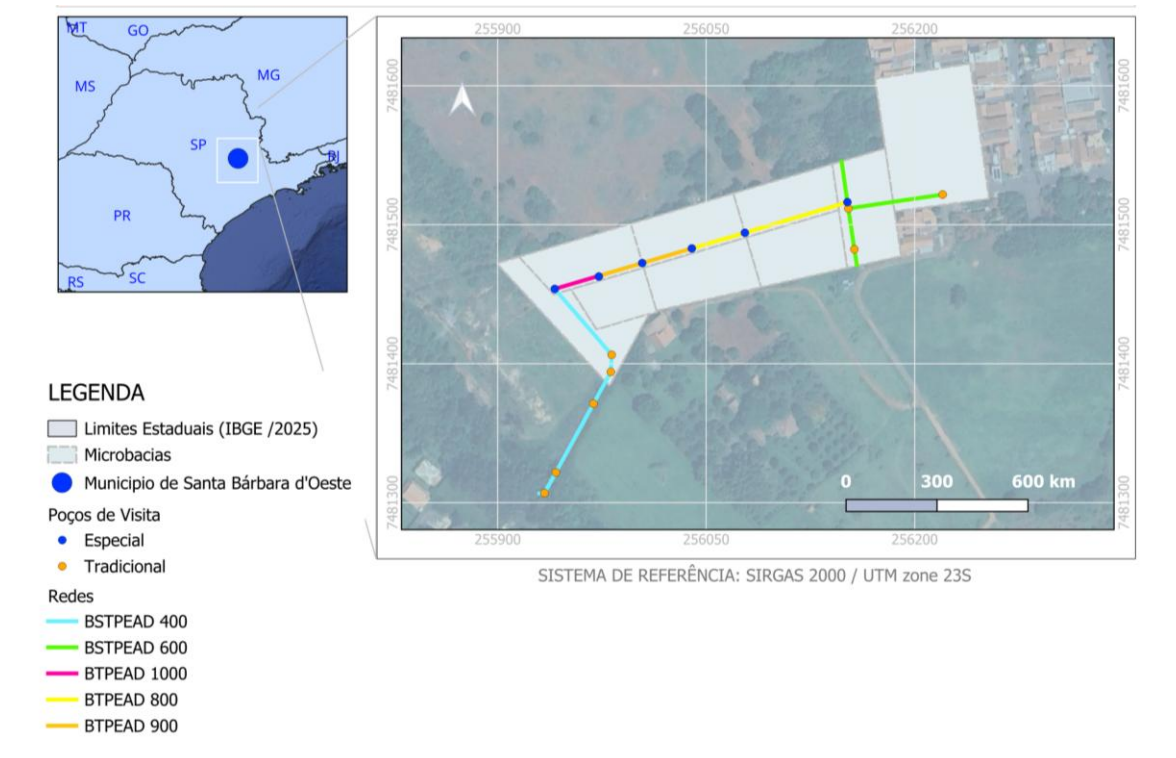


Figura 3: Layout do sistema otimizado

Através do software Storm Water Management Model (SWMM) dimensionou-se os diâmetros e o número de linhas para o sistema otimizado. As simulações se iniciaram com um diâmetro de 800mm, dado seu menor custo por m³ em relação aos demais. Conforme as contribuições de vazão aumentam, dimensões maiores são adotadas, porém mantendo sempre as devidas restrições.

O poço de visita deste sistema de reservação *in-line*, denominado “Especial”, foi idealizado para atuar como um dispositivo de controle de saída dentro de cada trecho da rede. Ao adentrar o PV, o escoamento terá sua seção de passagem contraída por um orifício inserido a um vertedouro interno, cuja altura pode variar de acordo com as necessidades e altura disponível. A concepção do poço de visita do sistema de reservação *in line* é melhor exemplificada pela Figura 4.

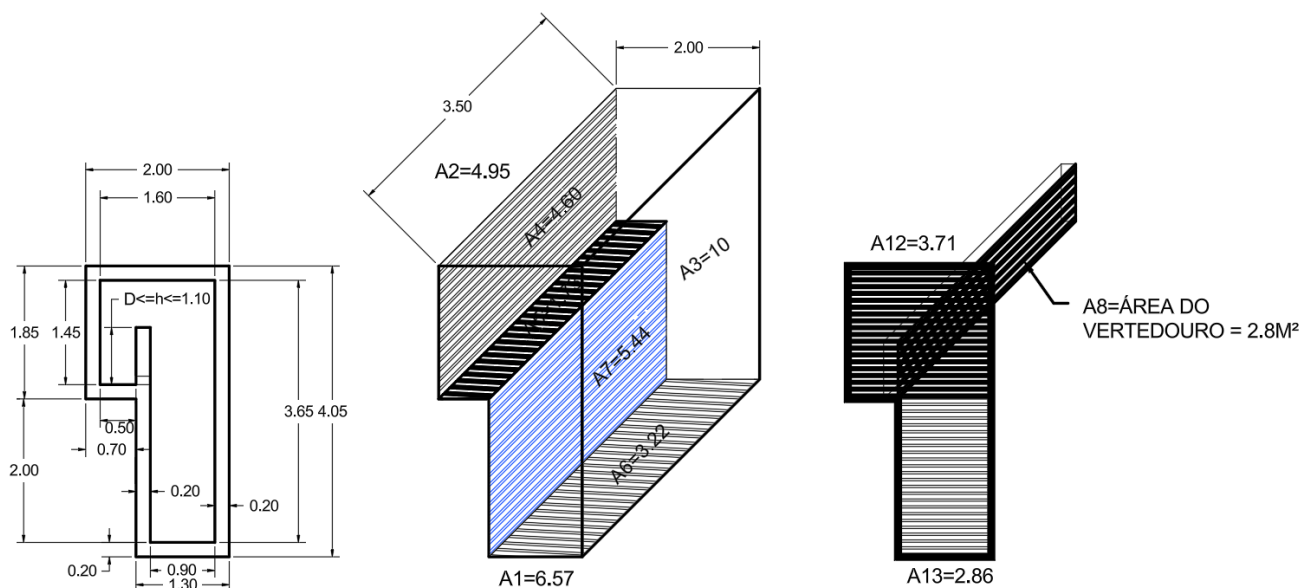


Figura 4: Layout do poço de visita especial

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização hidrológica

Após a aplicação da Equação 1 para os cenários pré e pós urbanizado e da Equação 2 para o tempo de duração e período de retorno do evento de chuva estabelecidos pela Normativa Conjunta Nº 001/2022 de 25 de agosto de 2022, resume-se os resultados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros obtidos para o projeto

t (min)	12
Tr (anos)	15
i (mm/h)	167,4
Q _{pré} (m³/s)	0,293
Q _{pós} (m³/s)	0,703

Determinação do volume de armazenagem

A determinação dos parâmetros do projeto possibilitou a obtenção dos hidrogramas, conforme a Figura 5.

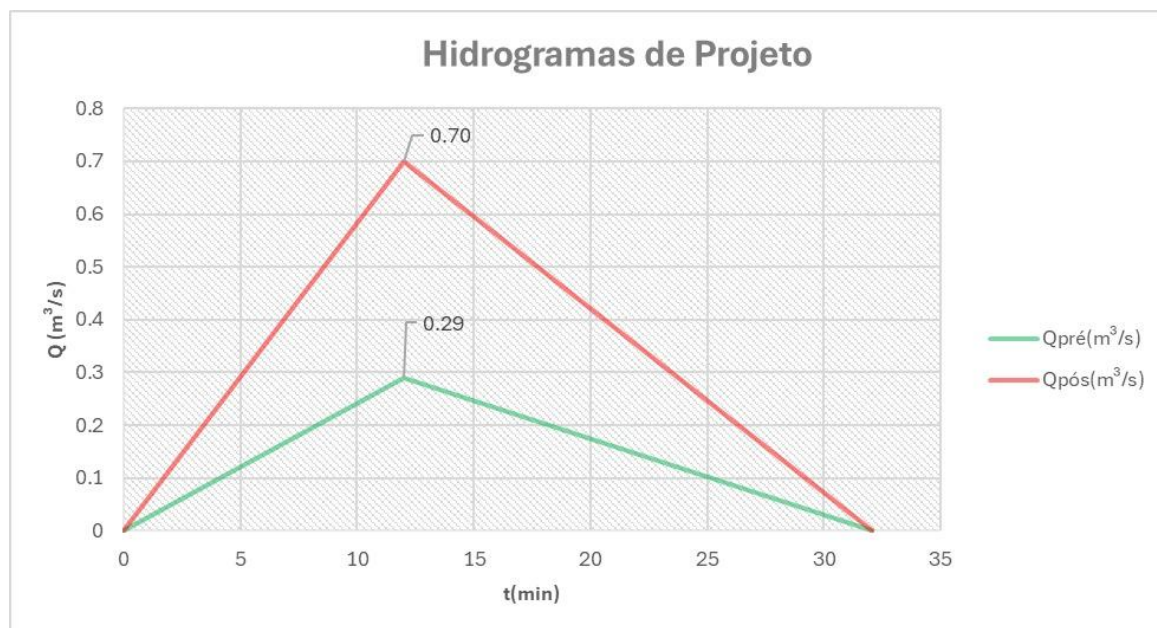


Figura 5: Hidrogramas de projeto

Em posse dos hidrogramas, obteve-se, a partir da Equação 3, seus respectivos volumes de escoamento superficial. Posteriormente, a fim de determinar o volume a ser armazenado utilizou-se a relação entre os volumes dos cenários pré e pós urbanizado expressa pela Equação 4. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 2: Volumes pré, pós e de armazenagem

$V_{\text{pré}} (\text{m}^3)$	282
$V_{\text{pós}} (\text{m}^3)$	676
$V_{\text{detenção}} (\text{m}^3)$	394

Análise orçamentária do sistema tradicional

A análise orçamentária das possíveis escolhas geométricas do sistema de reservação tradicional resultou nos valores contemplados na Tabela 3.

Tabela 3: Preços relativos às opções geométricas

Comprimento (m)	Aduela/ Diâmetro (m)	Aduela/						
		0,5	0,6	0,8	0,9	1,00	1,2	1,5
80<L<100	2,5x2,5	605.120	680.760	718.580	756.400	-	-	-
80<L<100	2,0x3,0	582.880	619.310	655.740	692.170	728.600	-	-
55<L<90	3,0x3,0	493.405	538.260	538.260	583.115	627.970	672.825	807.390

Nota: Preços expressos em R\$

Evidencia-se a vantagem financeira da adoção de aduelas de seção 3,0x3,0 para sua devida restrição de comprimento. Para tal, a Tabela 4 apresenta os custos de reservação, condução e total

para as combinações geométricas de todos os cenários possíveis para a respectiva seção de aduela.

Tabela 4: Relação de custos para a aduela 3,0x3,0

Cenário	V (m³)	L (m)	Reservação	Custo reservação	Custo Condução	Custo Total
1	297,81	55	BSCC 3,0x3,0	493.405	208.620	702.025
2	297,81	60	BSCC 3,0x3,0	538.260	208.620	746.880
3	297,81	60	BSCC 3,0x3,0	538.260	208.620	746.880
4	297,81	65	BSCC 3,0x3,0	583.115	208.620	791.735
5	297,81	70	BSCC 3,0x3,0	627.970	208.620	836.590
6	297,81	75	BSCC 3,0x3,0	672.825	208.620	881.445
7	297,81	90	BSCC 3,0x3,0	807.390	208.620	1.016.010

Nota: Preços expressos em R\$

Análise orçamentária do sistema distribuído *in line*

Para o sistema de reservação *in line*, que é constituído de linhas triplas em tubos PEAD, com diâmetros que variam de 0,80 a 1,00 metro, o orçamento obtido é apresentado pela Tabela 5.

Tabela 5: Relação de custos do sistema de reservação *in line*

Cenário	V (m³)	L (m)	D (m)	Obra de Reservação	Custo Reservação	Custo Condução	Custo Total
8	297,1	220	-	BTTP 0,80; 0,90; 1,00	895.076,51	47.959,88	943.036,39

Nota: Preços expressos em R\$

Verificação Hidráulica do sistema tradicional e *in line*

Após a execução das simulações hidráulicas dos sistemas de reservação tradicional e *in line*, obteve-se o hidrograma de amortecimento para cada um dos métodos. Na Figura 6, tais hidrogramas são sobrepostos.

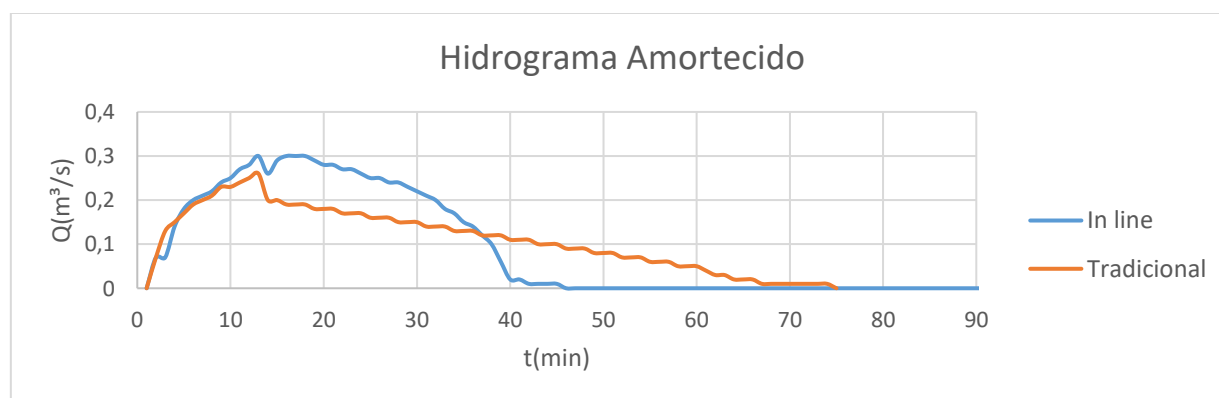


Figura 6: Hidrogramas de amortecimento

CONCLUSÃO

Este trabalho objetivou propor uma nova solução de reservação de águas pluviais para condomínios, residenciais e demais áreas restritas, aplicando um método de reservação distribuída, onde o amortecimento do volume escoado ocorre na própria rede de drenagem. Com base nos resultados de amortecimento obtidos, nota-se que ambos os métodos obtiveram resultados satisfatórios, conduzindo ao curso d'água vazões semelhantes ao período de pré urbanização.

Do ponto de vista financeiro o uso de aduelas de concreto pode ser mais econômico que o uso de reservação in line com PEAD. Entretanto, algumas características geométricas do reservatório podem vir a favorecer a aplicação do método de reservação in line, conforme evidenciado pelos cenários 7 e 8.

Para trabalhos futuros, há de se investigar a sensibilidade do método de reservação in line para maiores áreas de contribuição. Além disso, modelagens CFD (Computational Fluid Dynamics) podem ser realizadas a fim de refinar as análises hidráulicas do poço de visita com o intuito de validar coeficientes de descarga adotados, orifícios e verificar o depósito de sedimentos no interior do dispositivo.

REFERÊNCIAS

- CHOW, V.T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Book Company, Singapore. 572 p.
- RIGHETTO, A. M; MOREIRA, L. F. F; SALES, T. E. A. (2009). “*Manejo de Águas Pluviais Urbanas*”, in *Manejo de Águas Pluviais Urbanas*. Org. por Righetto, A.M., PROSAB, ed. ABES, Rio de Janeiro-RJ, pp. 19 – 73
- SÃO PAULO. Secretaria de Estado de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento. Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos. *Precipitações Intensas no Estado de São Paulo*. São Paulo: DAEE, 2018. 270 p.
- SÃO PAULO. Secretaria de Estado de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento. Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). *Guia prático para pequenas obras hidráulicas*. São Paulo: DAEE, 2005. 116 p.
- SANTA BÁRBARA D'OESTE. Departamento de Água e Esgoto (DAE). Instrução Normativa Conjunta nº 001, de 25 de agosto de 2022. Estabelece as diretrizes e critérios técnicos para a elaboração de projetos e execução de obras de saneamento básico e drenagem urbana no município de Santa Bárbara d'Oeste. Santa Bárbara d'Oeste: DAE, 2022.
- TUCCI, C. E. M; GENZ, F. (1995) “*Controle do impacto de urbanização*”, in *Drenagem Urbana*. Org. por Tucci, C. E. M.; Porto, R. L. L. e Barros, M. T. ABRH, ed. UFRGS, Porto Alegre – RS, pp. 278 – 347
- TUCCI, C. E. M; (2003) “*Inundações e drenagem urbana*”, in *Inundações Urbanas na América do Sul*. Org. por Tucci, C. E. M. e Bertoni, J. C. ABRH, ed. UFRGS, Porto Alegre – RS, pp. 45 – 150