

AVALIAÇÃO DE SOLUÇÕES DE DRENAGEM EM ZONAS PERIFÉRICAS À LUZ DA RESOLUÇÃO ANA Nº 245 / NR 12/2025 – ESTUDO DE CASO DO RIBEIRÃO CAULIM / PARELHEIROS

*Nicole del Busso Fernandes¹, Yasmin Marcos², Luciana Rodrigues Fagnoni Costa Travassos³ &
Melissa Cristina Pereira Graciosa⁴*

RESUMO

As intervenções em drenagem urbana no Brasil têm evoluído de soluções voltadas ao rápido escoamento das águas pluviais para abordagens que priorizam retenção, sustentabilidade e integração com o meio ambiente. A Norma de Referência ANA nº 12/2025 estabelece diretrizes para reduzir os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico, minimizar riscos de inundações e proteger a infraestrutura e os recursos hídricos. Este estudo avaliou o projeto de canalização do Ribeirão Caulim (Parelheiros), à luz dessas diretrizes. Foram estimadas chuvas de projeto por meio da equação IDF, calculadas vazões de pico utilizando o modelo HEC-HMS, estimada as vazões que o canal construído pode atender e comparadas com as obtidas neste estudo. A bacia foi subdividida em 18 sub-bacias, aplicando-se os métodos SCS-CN e NRCC (SCS), enquanto os hietogramas foram gerados pelo método de Huff. Os resultados indicaram que a capacidade hidráulica da obra supera em cerca de 311% as vazões estimadas para a bacia. Além disso, o projeto não incorporou alternativas sustentáveis, como canais trapezoidais, revestimento de gabião, margens preservadas ou soluções baseadas na natureza. Conclui-se que a intervenção mantém uma abordagem convencional, contrariando os princípios da NR ANA nº 12/2025 e reduzindo oportunidades de aumentar a resiliência urbana e ambiental.

Palavras-Chave – Modelagem Hidrológica, HEC-HMS, Parelheiros

ABSTRACT

Urban drainage interventions in Brazil have evolved from approaches focused on the rapid conveyance of stormwater runoff to strategies that prioritize retention, sustainability, and integration with the natural environment. ANA Reference Standard No. 12/2025 establishes guidelines to reduce the impacts of urbanization on the hydrological cycle, minimize flood risks, and protect infrastructure and water resources. This study evaluated the channelization project of the Caulim Stream (Parelheiros, São Paulo) in light of these guidelines. Design rainfall events were estimated using the Intensity-Duration-Frequency (IDF) equation. Peak discharges were calculated using the HEC-HMS model, while the flow capacity of the constructed channel was estimated and

¹) Nicole del Busso Fernandes, Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal do ABC - UFABC, Av. dos Estados, 5001, Bairro Bangu CEP: 09280-560, +5511952162716, nicolebusso@gmail.com

²) Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do ABC – UFABC, Al. da Universidade, s/n - Anchieta, São Bernardo do Campo – SP, 09606-045, marcos.yasmin@yahoo.com.br

³) Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do ABC – UFABC, Al. da Universidade, s/n - Anchieta, São Bernardo do Campo – SP, 09606-045, luciana.travassos@ufabc.edu.br

⁴) Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do ABC – UFABC, Av. dos Estados, 5001, Bairro Bangu, Santo André – SP, 09210-580, melissa.graciosa@ufabc.edu.br

compared with the values obtained in this study. The watershed was subdivided into 18 sub-basins, applying the SCS-CN and NRCC (SCS) methods for runoff and concentration time estimation, while hyetographs were generated using the Huff method. The results indicated that the hydraulic capacity of the structure exceeds the estimated basin discharges by approximately 311%. Furthermore, the project did not incorporate sustainable alternatives, such as trapezoidal channels, gabion lining, preserved streambanks, or nature-based solutions. It is concluded that the intervention maintains a conventional approach, contrary to the principles of ANA Reference Standard No. 12/2025, thereby reducing opportunities to enhance urban and environmental resilience.

Key-words – Hydrologic Modelling, HEC-HMS, Parelheiros

INTRODUÇÃO

As diretrizes para intervenções estruturais de drenagem vem se alterando ao longo das últimas décadas no cenário da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), notadamente a partir do primeiro Plano Diretor de Macrodrenagem do Alto Tietê (PDMAT) de 1988, no qual foi introduzida a diretriz da vazão de restrição, quebrando o antigo paradigma de escoar as águas pluviais com maior velocidade para jusante, através de canalizações, retificações e ampliação de canais, invertendo a lógica para retenção das águas dentro da bacia hidrográfica, implementando reservatórios de amortecimento de cheias associados a outras intervenções de adequação de canais. O estabelecimento da diretriz da vazão de restrição teve por objetivo não transferir vazões superiores à capacidade existente dos cursos d'água, minimizando danos à jusante. Com o PDMAT 3 do DAEE, 2014, foram acrescentadas diretrizes complementares, notadamente o controle do escoamento superficial na fonte, priorizando ao controle da impermeabilização urbana e soluções de engenharia associadas à valorização e restauração ambiental além de trazer como propostas de medidas não estruturais o Zoneamento Ambiental Urbano (ZAU) de acordo com CBH-AT, 2016. Recentemente foi publicada a Resolução ANA Nº 245, de 17 de Março de 2025, que aprova a NR nº12/2025, que dispõe sobre a estruturação dos serviços públicos de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, onde estabelece entre os objetivos minimizar os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico e da poluição nos corpos hídricos, contribuir para a proteção da vida, das propriedades e demais infraestruturas urbanas e contribuir com estratégias de resiliência urbana em consonância com os planos de mitigação e adaptação às mudanças do clima e planos de contingência, destacando que para atingir os objetivos dos serviços públicos de DMAPU deverá ser garantida a observância das melhores práticas na concepção dos sistemas e nos projetos de DMAPU adotando, prioritariamente, princípios de sustentabilidade e a abordagem das soluções baseadas na natureza. Portanto estabelece um novo marco para o planejamento de sistemas de drenagem urbana,

ressaltando a importância de integrar o meio ambiente urbano ao natural, e abandonar abordagens estritamente de engenharia cinza que desconsiderem a dinâmica natural das águas na bacia hidrográfica. Neste trabalho, procura-se investigar, a partir da bacia do Ribeirão Caulim/Parelheiros, localizada em região periférica na zona sul do município de São Paulo – SP, a convergência das soluções de drenagem para a bacia à luz da nova Norma de Referência, considerando a recente implementação de projeto de canalização que abrange um grande trecho de seu principal curso d'água, em uma bacia que mais de 80% dos cursos d'água ainda estão em estado natural.

OBJETIVO

Avaliar alternativas de intervenção na drenagem da bacia do Ribeirão Caulim, à luz da Resolução ANA nº245, de 17 de Março de 2025.

Objetivos Específicos

- Estimar, por meio de modelagem hidrológica, as vazões de projeto correspondentes às chuvas críticas de referência na bacia do Ribeirão Caulim/Parelheiros;
- Avaliar o atendimento da calha recém canalizada do curso d'água às vazões de referência obtidas;
- Avaliar as diretrizes de planejamento adotadas para a bacia frente aos objetivos da Resolução ANA Nº 245 / NR 12/2025.

METODOLOGIA

Para avaliar o estado atual e como a bacia responde a chuvas de diferentes duração e tempos de retorno, foram utilizados dados de relevo, hidrografia, uso e ocupação do solo e grupos hidrológicos do solo para gerar uma base cartográfica contendo os dados necessários para alimentar o software HEC-HMS, usado para simular os processos hidrológicos completos de sistemas de bacias hidrográficas.

A bacia do Ribeirão Caulim foi dividida em 18 sub-bacias, como mostra a Figura 01, onde 25 nós de simulação foram posicionados, permitindo obter hidrogramas de vazão para cada um desses pontos de interesse. Foi utilizado o método SCS-CN, um método empírico desenvolvido pelo

USDA (Departamento de Agricultura dos EUA) para estimar o escoamento superficial direto gerado por chuvas em uma bacia hidrográfica.

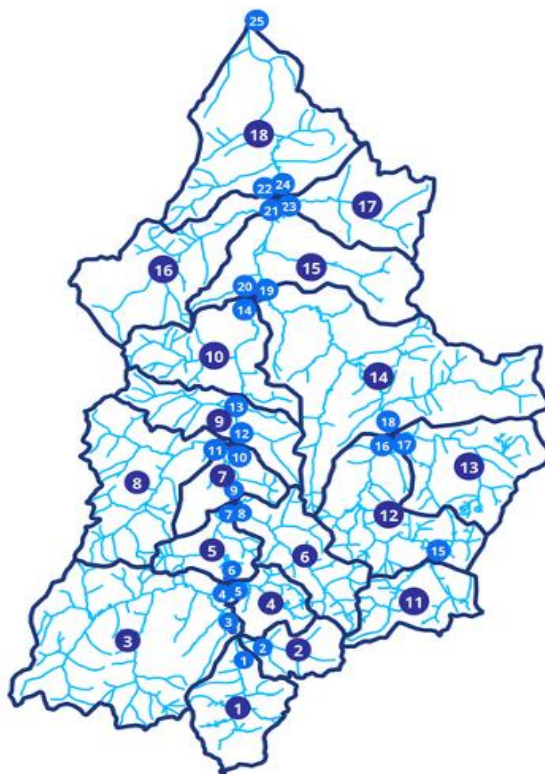


Figura 01 – Sub-bacias (18) e nós de simulação (25) usados na modelagem. Fonte: Autoras

O método SCS foi adotado para estimar o escoamento superficial e a capacidade de armazenamento de água de uma bacia hidrográfica. De acordo com Carvalho e Rodrigues (2021), o método é baseado no parâmetro *Curve Number* (CN), que varia de 0 a 100 e busca refletir o potencial de formação do escoamento superficial direto a partir das variáveis: grupo hidrológico do solo, tipologia de uso e cobertura da terra e condição de anterior de umidade. Solos com alta capacidade de armazenamento de água possuem baixos valores CN e vice-versa. Os dados de uso e ocupação do solo foram baseados em ortofotos disponíveis na plataforma GEOSAMPA (Portal de dados geográficos do município de São Paulo) e as informações do tipo de solo foram obtidas a partir do mapeamento pedológico do Estado de São Paulo de Rossi (2017) possibilitando estimar o CN a partir de tabelas de referência, adotando a premissa de condição de umidade anterior média (tipo II). O tempo de concentração da bacia foi calculado utilizando diferentes métodos, tendo sido escolhido o NRCC (SCS), fórmula adaptada do método SCS para bacias pequenas (até 25mk²), segundo NRSC e predominantemente rurais em processo de urbanização, que apresentou valores intermediários entre os métodos de Kirpich e Cinemático.

Tabela 01 – Métodos utilizados para cálculo do Tempo de Concentração.

Kirpich Tennessee	Kirpich Rural	NRCC (SCS)	Kirpich Modificada	Método Cinemático
$T_c = 0,019 \cdot \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}}$	$T_c = 0,0195 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385}$	$T_c = \frac{L^{0,8} \cdot (S+1)^{0,7}}{1900 \cdot S^{0,5}}$	$T_c = 1,42 \cdot \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385}$	$T_c = t_i + t_t$ $T_i = 0,65 \cdot (1,1 - C) \cdot \frac{L}{V}$ $T_t = \left(\frac{1}{60}\right) \cdot \left(\frac{L}{V}\right)$

Em que: L é o comprimento do curso d'água principal (m), S a declividade do terreno (m/m), H o desnível máximo(m), D é declividade, Li o comprimento do trecho entre o ponto mais distante da bacia e do início do corpo d'água, e L o trecho de escoamento no talvegue, V a velocidade no talvegue e Tc o tempo de concentração da bacia (horas).

Para estimar o raio hidráulico, através de ferramentas de geoprocessamentos foram identificados os comprimentos de trechos de sarjeta, canal natural, canalizado e considerando um valor de raio hidráulico de 0,05 para sarjetas, 1 para canais naturais e 0,19 para os trechos canalizados, baseado nas dimensões do projeto de canalização. A velocidade de escoamento foi calculada através dos métodos de Chézy (1) e Kirpich Modificada (2)

$$V = \frac{1}{n} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}. \quad (1)$$

$$V = 0,7020 \cdot L^{-0,155} \cdot H^{0,385}. \quad (2)$$

Onde Rh é o raio hidráulico, I a declividade, H o desnível altimétrico e L comprimento do talvegue, permitindo obter o tempo de concentração através do método cinemático.

Para simular a resposta da bacia a precipitações de diferentes durações e intensidades, foram adotadas chuvas de projeto para TRs 2, 10, 25, 50 e 100 anos, a partir da equação idf (intensidade, duração e frequência) elaborada por Martinez e Piteri a partir de uma série de 66 anos (1931-2011) de dados pluviométricos da estação “Observatório IAG - E3-035/ DAEE de 2015. Considerando a área da bacia, 47,32 km², foi adotado um fator de espacialização (k) da chuva de projeto, para representar a variabilidade espacial da chuva na bacia, obtido por meio do método gráfico elaborado pelo U.S. National Weather Service de ASCE (1992). A precipitação total para cada TR foi então multiplicada pelo fator k, obtendo-se os valores de precipitação equivalentes na bacia. Foram então gerados os hietogramas para cada duração de chuva, utilizando o método de Huff (1986) para estimar a distribuição temporal da chuva. O método é baseado em curvas adimensionais que relacionam a precipitação acumulada (%) em função do tempo acumulado (%). O método foi elaborado com base em 261 eventos de chuva registrados em um período de 11 anos, que foram

classificadas em quatro quartis, conforme a posição do pico da intensidade ao longo da duração total do evento. Foi utilizado o primeiro quartil de Huff que representa chuvas com pico nos primeiros 25% de tempo acumulado, para gerar os Hietogramas de Precipitação, como indicado pelo Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais da Prefeitura de São Paulo (2012) para bacias inferiores a 100km². Foi utilizada a ferramenta computacional HEC-HMS para simular o método SCS e obter as vazões associadas aos TRs estudados nos nós de referência adotados para a bacia, gerando-se, assim, os hidrogramas (gráficos de vazão x tempo) respectivos para cada nó. Neste trabalho compara-se as vazões simuladas no nó 09, exutório do trecho avaliado, que corresponde ao trecho de recente intervenção de canalização no curso d'água.

RESULTADO E DISCUSSÕES

Os valores de escoamento superficial (coeficiente C) e do parâmetro *Curve Number* (CN) das sub-bacias simuladas estão apresentados no gráfico abaixo. Sendo as sub-bacias 2 e 17 as únicas a apresentar CN superior a 80 e coeficiente de escoamento superficial C superior a 0,6, o que reflete o atual estado de preservação da bacia, que possui cerca de 77,5% de sua área ocupada por atividades agrícolas, campos, chácaras, matas e áreas de reflorestamento.

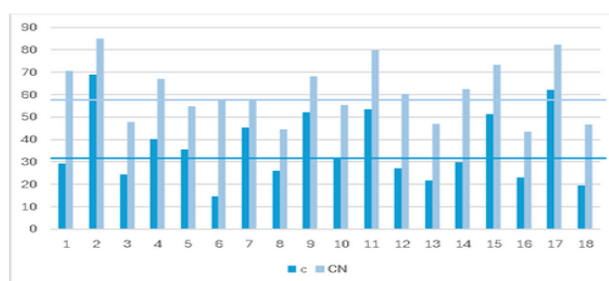


Figura 04 – C x CN de cada sub-bacia. Fonte: Autoras

A declividade da bacia é um dado relevante para estimar a velocidade do escoamento superficial e ao longo dos talwegues dos cursos d'água. A bacia do Ribeirão Caulim/Parelheiros possui um desnível de 110 metros que resulta em uma declividade de 0,0072 m/m, como pode-se observar na Figura 05, o que reflete no tempo de concentração da bacia.

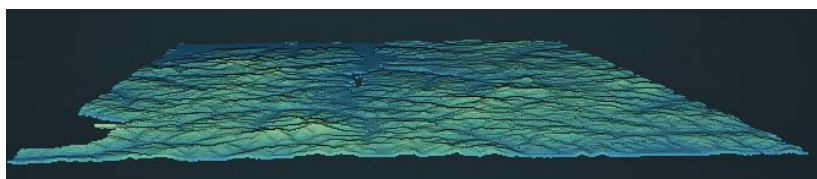


Figura 05 – Modelo Digital de Terreno 3D da área onde a bacia hidrográfica do Caulim está inserida. Fonte:Geosampa

O tempo de concentração da bacia foi calculado através de diferentes métodos, e os resultados são apresentados na Tabela 02.

Tabela 02 – Tempos de concentração (min) calculados através de cada método.

Kirpich Tennessee	Kirpich Rural	NRCC (SCS)	Kirpich Modificada	Método Cinemático
244,60	251,03	175,36	310,62	160,71

Foi adotado o método NRCC(SCS) por apresentar um valor intermediário entre os obtidos pelo método cinemático e os de Kirpich. Obteve-se o fator k para a bacia de área 47,32km para chuvas de duração de 60, 90, 120 e 180 minutos, através do método gráfico de ASCE, que relaciona a área da bacia com a duração da chuva, chegando aos valores apresentados na tabela 03.

Tabela 03 – fator k de distribuição espacial da chuva para diferentes tempos de duração.

t	60	90	120	180
k	0.9	0.915	0.932	0.951

O gráfico apresentado combina os Hietogramas de Precipitação gerados a partir da chuva de projeto, e os Hidrogramas de Vazão do nó 09, para chuvas de TR de 2, 5, 10, 24, 50 e 100 anos para uma chuva de duração de 180 minutos. Para fins de dimensionamento de projeto, convêm-se adotar uma duração de chuva similar ao Tempo de Concentração, a fim de garantir que haja tempo suficiente para que toda a área da bacia contribua para o escoamento, considerando que as vazões máximas de escoamento superficial ocorrem quando a duração da chuva é igual ao tempo de concentração. Portanto o Hidrograma referente a chuva de duração de 180 minutos (3 horas) deveria ser usado para o dimensionamento de estruturas hidráulicas na bacia, sendo a vazão máxima atingida para chuvas de TR100 com valor de 56,9m³/s.

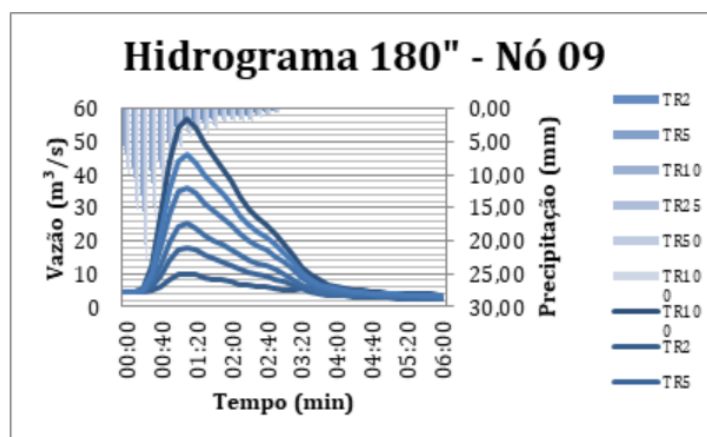


Figura 07 – Hidrograma e Hietograma do nó 09 para uma chuva de duração de 180 minutos. Fonte: autoras.

Utilizou-se a Fórmula de Manning (3) para calcular a vazão que o canal construído pode atender, considerando ser um canal de seção retangular, revestido por concreto e deixando 10% de borda livre, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 05.

$$Q = \frac{1}{n} A \cdot R H^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}}$$

(3)

Tabela 05 – Capacidade hidráulica da canalização em concreta implantada

Trecho	Profundidade de Escoamento (m)	Altura do canal retangular (m)	Largura do canal retangular (m)	Declividade do canal (%)	Extensão (m)	Área Molhada (m²)	Velocidade de escoamento (m/s)	Cap. hidráulica do trecho (m³/s)
1	2,70	3,00	6,5	0,30	91,0	17,5	3,94	69,2
2	2,90	3,25	7,0	0,30	59,0	20,3	4,14	84,0
3	3,15	3,50	7,0	0,30	430,0	22,0	4,26	94,0
5	3,15	3,50	11,5	0,30	80,0	36,2	4,89	177,0
6	3,15	3,50	11,5	0,30	1535,0	36,2	4,89	177,0

Considerando-se que a máxima vazão simulada, correspondente ao trecho 6, foi de 56,9 m³/s para o TR de 100 anos, avalia-se que a intervenção de canalização retangular em concreto tem capacidade muito superior às vazões de projeto, chegando a 311% de capacidade acima da vazão simulada, considerando seu trecho de maior extensão. Isto se deu em função dos parâmetros adotados para a bacia hidrográfica no projeto de canalização convencional, em que os CNs estimados foram superiores a 80 para a bacia, fator no qual reside a principal diferença entre os parâmetros do projeto e os estimados neste estudo.

Além disso, a tipologia de canal em concreto retangular adotada, não condiz com o atual estado de conservação da bacia hidrográfica, com amplas planícies fluviais preservadas e farta disponibilidade de faixa lateral ao canal para a implantação de tipologias de calha mais naturalizadas, ainda que com a necessária contenção estrutural para controle de erosão e assoreamento. Mais adequado seria uma tipologia de calha sinuosa, similar à natural, com contenções estruturais naturalizadas, como gabião plantado, e calha mista, com berma (platô lateral ao leito menor) e implantação de via parque para proteção contra eventuais futuras ocupações irregulares da faixa de planície de inundação.

CONCLUSÃO

Os estudos avaliaram um potencial superdimensionamento do projeto recém implantado, possivelmente oriundo da adoção de parâmetros conservadores para o projeto (CN 80), considerando-se que o a bacia do Ribeirão Caulim/Parelheiros se encontra integralmente na Área de Proteção e Recuperação de Mananciais (APRM) Guarapiranga, definida pela Lei Específica deste manancial (Lei Estadual nº 12.233 de 16 de janeiro de 2006), cujo território possui alto percentual de áreas preservadas e fortes restrições à expansão urbana, avalia-se que uma suposta ocupação urbana futura total na bacia, que corresponde aos altos valores de CN adotados no projeto, não deve ocorrer devido às fortes restrições ambientais e controle da ocupação urbana.

Ainda que não existam postos de monitoramento pluviométrico e fluviométrico na bacia para calibrar os modelos e existam incertezas que se acumulam ao longo das escolhas feitas na metodologia adotada, os métodos utilizados justificam-se, atendendo aos objetivos para fins de estimativa de vazão e avaliação do dimensionamento da rede de drenagem.

A adoção de soluções baseadas na natureza (SbN) não foi considerada, em que pese seu potencial para melhoria da qualidade das águas, controle da poluição difusa e do aporte de nutrientes como nitrogênio e fósforo, além da redução da DBO. Soma-se o fato de que o Ribeirão Caulim/Parelheiros desagua na represa Guarapiranga, que é utilizada para abastecimento público, e recebe as águas da transposição do braço Taquacetuba da Represa Billings, que eventualmente pode receber transposição do Rio Pinheiros, o que reforça a relevância da incorporação de soluções que possam melhorar a qualidade da água ao longo do canal.

Avalia-se, por fim, que o projeto implantado na bacia do Ribeirão Caulim/Parelheiros replica um paradigma que vem sendo superado à luz de estratégias mais sustentáveis para a drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, que estão expressas na recente Resolução nº 245/Norma de Referência nº112/2025 da ANA, a qual estabelece uma mudança conceitual importante para os serviços públicos de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas (DMAPU), ao priorizar abordagens sustentáveis e soluções baseadas na natureza em substituição ao paradigma tradicional centrado na rápida condução das vazões para jusante.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP, e a todos os pesquisadores envolvidos no projeto intitulado “Territórios da Água: Programa de Conservação e Recuperação de Áreas de Preservação Permanente no Município de São Paulo”, nº2023/10072-0

REFERÊNCIAS

ABREU, F., SOBRINHA, L., BRANDÃO, J. (2017). “Análise da distribuição temporal das chuvas em eventos hidrológicos extremos”. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. 229 (2), pp. 239-250.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). *Resolução ANA nº 245, de [dia] de [mês] de [ano]*. Dispõe sobre [assunto da resolução]. Brasília, DF: ANA, [ano]. Disponível em: <URL>. Acesso em: 13 maio 2026.

CARVALHO, Fabio; RODRIGUES, Silvio Carlos. Método Curve Number – pesquisas e discussões dos parâmetros valor CN e abstração inicial. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 25, e31, 2021. <https://doi.org/10.5902/2236499447861>

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ (CBH-AT). Relatório I – Plano de Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. São Paulo: CBH-AT, 2016. Disponível em: SIGRH – Relatório I. Acesso em: 13 maio 2026.

FERNANDES, Nicole del Busso; GRACIOSA, Melissa Cristina Pereira. *Caracterização da bacia do Ribeirão Caulim/Parelheiros e avaliação das intervenções de drenagem concluídas e previstas*. In: XXVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2025. Anais [...]. 2025. ISSN 2318-0358.

HUFF, Floyd A. Time distribution of rainfall in heavy storms. *Water Resources Research*, v. 3, n. 4, p. 1007–1019, 1967.

SÃO PAULO (Estado). Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê – PDMAT-3. São Paulo: DAEE, 2014.

SÃO PAULO (Município). Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos: diretrizes para projetos. v. 3. São Paulo: SMDU, 2012. 128 p. ISBN 978-85-66381-03-0.