

AVALIAÇÃO HIDROLÓGICA DA BACIA DO SETE VOLTAS EM TAUBATÉ, SP: Análise do uso do solo e implicações para a gestão ambiental

Rosângela de Fátima da Silva¹, João Pedro Guimarães Conceição de Moraes¹; João Victor Guedes¹; João Guilherme Soares Calil¹; Marcelo dos Santos Targa²; Rodrigo Cesar da Silva^{2*}; Willian José Ferreira²

¹Discentes do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - Universidade de Taubaté – Taubaté, SP, Brasil

²Docentes do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - Universidade de Taubaté – Taubaté, SP, Brasil

e-mail: rosangela.fsilva@unitau.br, joao.pgcmoraes@unitau.br, joao.vitor@unitau.br, joao.calil@unitau.br, mtarga@unitau.br, mtarga@unitau.br, willian.jferreira@unitau.br

*Autor correspondente: rodrigo.silva978@etec.sp.gov.br

RESUMO

O trabalho apresenta uma avaliação hidrológica da Bacia do Sete Voltas, localizada no município de Taubaté/SP, por meio do método Curve Number (CN) para estimativa de escoamento superficial e armazenamento de água no solo. Foram analisadas 14 classes de uso e cobertura do solo, obtendo-se um CN médio ponderado de 74,58, valor que indica uma tendência significativa à geração de escoamento superficial, principalmente devido à predominância de pastagens e mosaicos de uso. A dinâmica sazonal do armazenamento hídrico em 2024 mostrou picos de escoamento nos meses chuvosos (março e dezembro) e retenção predominante no período seco. Os resultados reforçam a vulnerabilidade da bacia a eventos de cheia e destacam a importância da conservação de áreas florestais e da implementação de práticas de manejo sustentável. O método CN mostrou-se eficaz como ferramenta diagnóstica, fornecendo subsídios para o planejamento ambiental e a gestão integrada de recursos hídricos na região.

Palavras-chave: Hidrologia; Bacia hidrográfica; Escoamento superficial; *Curve Number*; Recurso hídrico.

ABSTRACT

This study presents a hydrological assessment of the Sete Voltas Watershed, located in Taubaté/SP, Brazil, using the Curve Number (CN) method to estimate surface runoff and soil water storage. Fourteen land use and land cover classes were analyzed, resulting in a weighted average CN of 74.58, indicating a significant tendency for surface runoff generation, mainly

due to the predominance of pasture and mixed land uses. The seasonal dynamics of water storage in 2024 showed runoff peaks during the rainy months (March and December) and predominant retention during the dry period. The results reinforce the watershed's vulnerability to flood events and highlight the importance of conserving forested areas and implementing sustainable management practices. The CN method proved effective as a diagnostic tool, providing support for environmental planning and integrated water resource management in the region.

Keywords: Hydrology; Watershed; Surface runoff; Curve Number; Water resource.

1. INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas constituem unidades naturais fundamentais para o planejamento ambiental e hidrológico, pois permitem integrar os processos hidrológicos, geomorfológicos e ecológicos em uma escala territorial coerente para gestão. Além disso, são a base estabelecida pela Política Nacional de Recursos Hídricos como unidade de planejamento e manejo (BRASIL, 1997).

O município de Taubaté, inserido na Bacia do Rio Paraíba do Sul, abriga diversas sub-bacias de importância estratégica para o abastecimento, a agricultura e a preservação ambiental. Entre elas, destaca-se a sub-bacia do Sete Voltas, que faz parte da composição da bacia do Rio Una, afluente do rio Paraíba do Sul (Carvalho *et al.*, 2017).

Nas últimas décadas, o avanço da urbanização, a expansão agrícola e a intensificação de processos erosivos têm aumentado as pressões sobre os recursos hídricos da região. Esses fatores resultam em maior impermeabilização do solo, alteração do regime de infiltração e elevação do escoamento superficial, efeitos já documentados em estudos hidrológicos realizados no Vale do Paraíba do Sul, os quais demonstram a correlação entre mudanças no uso do solo e degradação da qualidade da água (Tucci *et al.*, 2002).

Embora haja trabalhos sobre processos sedimentares (Reverte; Garcia, 2017), hidrogeológicos (Davino, 2000) e geoquímicos (Freitas, 2007) em diferentes compartimentos da Bacia de Taubaté, ainda existem lacunas específicas sobre a sub-bacia do Sete Voltas. Esse cenário reforça a necessidade de investigações voltadas à sua dinâmica hidrológica, especialmente considerando o crescimento urbano de Taubaté e as alterações no uso da terra.

Para garantir o uso sustentável da água e preservar sua qualidade, é fundamental reconhecer seu valor econômico como recurso. A gestão eficiente também depende do investimento em estudos que avaliem o comportamento da água em resposta às variações climáticas e às características do terreno. Nesse contexto, destacam-se os modelos hidrológicos, como o Número da Curva de Escoamento Superficial (CN), desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA-SCS). Esse modelo utiliza dados sobre o solo, incluindo suas propriedades físicas e pedológicas, e o uso da terra, além do regime de precipitação, para estimar o escoamento superficial e a capacidade de infiltração de uma bacia hidrográfica.

Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo avaliar a dinâmica hidrológica da sub-bacia do Sete Voltas, em Taubaté/SP, com ênfase na análise do uso e ocupação do solo e suas implicações para a gestão ambiental, e calcular a infiltração de água mensalmente ao longo do ano de 2024 a partir do modelo hidrológico CN. Espera-se que os resultados possam fornecer subsídios técnicos para orientar ações de conservação, mitigação de impactos e planejamento sustentável dos recursos hídricos locais, em consonância com os princípios da gestão integrada (ANA, 2019). A Lei Federal nº 9.433/1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos

Hídricos, estabelece a bacia hidrográfica e a sub-bacia hidrográfica como unidades territoriais básicas para a gestão integrada dos recursos hídricos, exigindo instrumentos de planejamento que considerem usos do solo, conservação da vegetação, regulação de escoamento e de cheias.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da Área de Estudo

O presente trabalho foi realizado na bacia do Sete Voltas, uma sub-bacia do Rio Una localizada na região Sudeste no município de Taubaté, no Estado de São Paulo (Figura 1). De acordo com o Plano Diretor do município (Lei Complementar 412/17) essa bacia está localizada em Zona Especial de Expansão Urbana e possui área de 8.514,877km².

A bacia apresenta dois tipos de solos (IBGE, 2001): latossolos vermelho-amarelos e argissolos vermelho-amarelos. Aproximadamente 32% dessa área está coberta com floresta, 43% com pastagem e 5% com silvicultura, de acordo com o mapa de uso e cobertura de solo do MapBiomas (Figura 2).

A sub-bacia apresenta como predominante o bioma de Mata Atlântica (IBGE, 2004) e contém duas unidades de relevo presentes em seu território: Depressão do Rio Paraíba do Sul e Serra do Mar (IBGE, 2012).

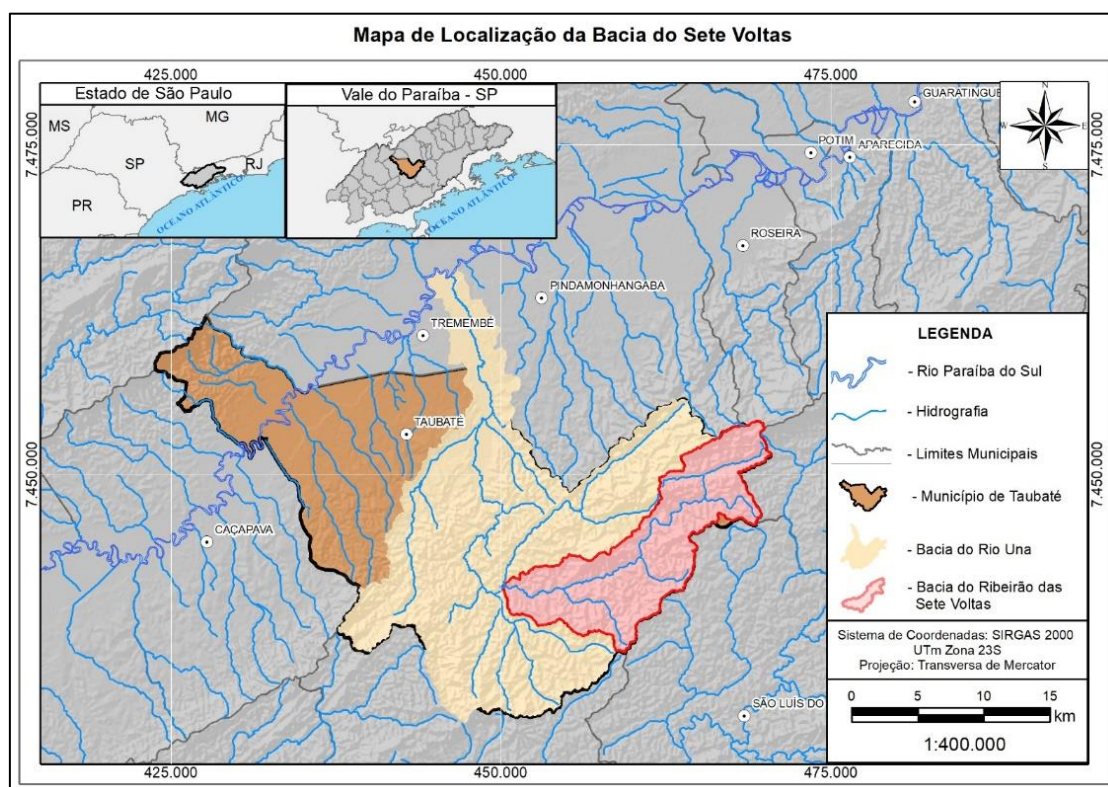


Figura 1. Localização da Bacia do Sete Voltas.

Fonte: Elaboração dos autores

O clima é do tipo Cwa (Subtropical), com chuvas de verão e com uma precipitação média anual de 1.300mm (Fisch, 1995). A Figura 3 descreve a precipitação mensal (mínima, máxima e média) no município de Taubaté, SP, ao longo de um período de 66 anos (1957 a 2023).

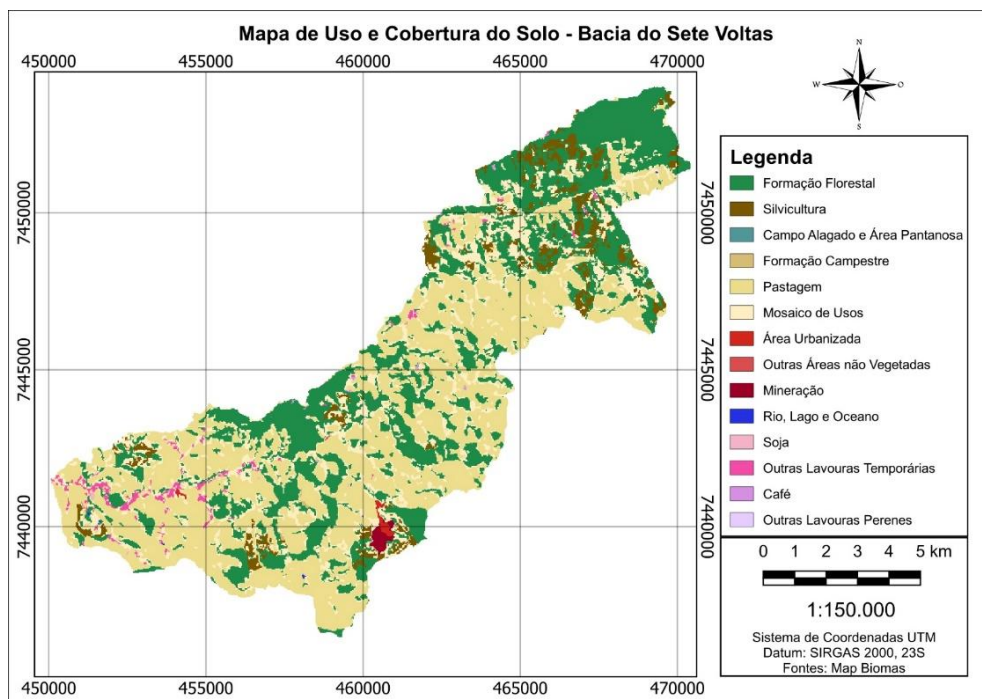


Figura 2. Mapa de uso e cobertura do solo da Bacia do Sete Voltas.

Fonte: Elaboração dos autores.

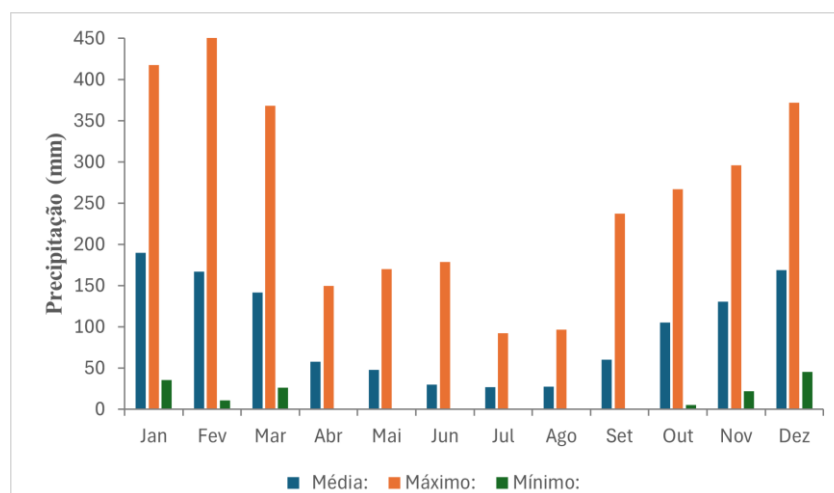


Figura 3. Precipitação mensal mínima e máxima (mm) para Taubaté - SP, compilado para o período de 1957 a 2023

Fonte: Adaptado do DAEE, (2025).

2.2. Modelo Curva número (CN)

O método CN (*Soil Conservation Service*, 1972) foi utilizado para estimar o potencial de escoamento superficial, considerando: (i) Solo C (hidrologicamente moderado a pouco permeável); (ii) Condição de umidade média (AMC II); (iii) Valores de CN atribuídos a cada classe de uso e cobertura do solo, a partir da classificação de Setzer e Porto (1979).

Foram analisadas 14 classes de uso do solo com áreas variando de 0,41 ha a 5.210,00 ha. O CN médio ponderado da bacia foi calculado com base na área de cada zona.

2.3. Armazenamento de Água no Solo (Arm)

O armazenamento de água disponível no solo (Arm) corresponde à quantidade de água retida pelo solo em um determinado período, calculado pelas seguintes equações:

$$\boxed{\pm Arm = P - ETp - Q + S}$$

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)} \quad \text{para } P > 0,2S$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{em mm})$$

$$I_a = 0,2S$$

Em que:

S (potencial máximo de infiltração, mm) após o início do escoamento superficial; CN (parâmetro *Curve-Number*); I_a (abstração inicial, mm); P (precipitação pluvial acumulada, mm); Q (escoamento superficial, mm); ETp (evapotranspiração potencial, mm); e Arm (armazenamento de água no solo, mm).

O parâmetro P foi obtido mensalmente par a área da sub-bacia do Ribeirão Sete Voltas a partir da plataforma *Climate Engine*. Foram adquiridos dados de janeiro a dezembro de 2024.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização do Uso e Ocupação do Solo e seus Efeitos no Escoamento Superficial

A Tabela 1 apresenta a distribuição das classes de uso e ocupação do solo na bacia do Ribeirão Sete Voltas, com os respectivos valores de Curva Número (CN). O CN médio ponderado para a bacia foi de 74,58, indicando uma capacidade moderada de infiltração e retenção de água no solo.

Tabela 1. Uso e ocupação de solo e seus respectivos CN medio e ponderado* na bacia do Ribeirão Sete Voltas.

Classes de Usos e Ocupação do solo	Área (ha)	%	CN
Floresta	3917,16	32.30	65
Silvicultura	621,91	5.13	70
Campo Alagado e Área Pantanosa	0,49	0.00	98
Formação Campestre	12,35	0.10	73
Pastagem	5210,80	42.96	81
Mosaico de Usos	2143,31	17.67	77
Área urbana	25,44	0.21	85
Outras Áreas não vegetadas	1,15	0.01	87
Mineração	40,68	0.34	87
Rio, Lago e Oceano	3,21	0.03	98

Soja	5,27	0.04	81
Outras Lavouras Temporárias	136,52	1.13	81
Café	9,55	0.08	73
Outras Lavouras Perenes	0,41	0.003	73
Total	12128,3	100,00	74,58*

Destaca-se que as classes Pastagem (5210,80 ha) e Mosaico de Usos (2143,31 ha) representam as maiores áreas da bacia, com CN de 81 e 77, respectivamente, o que sugere um potencial significativo de geração de escoamento superficial. Por outro lado, a classe Floresta (3917,16 ha), com CN = 65, contribui para a atenuação do escoamento e a recarga do lençol freático.

As classes com maior CN, como Campo Alagado e Área Pantanosa (CN = 98) e Rio, Lago e Oceano (CN = 98), embora representem pequenas áreas, exercem influência localizada na dinâmica hidrológica, atuando como zonas de saturação e contribuindo para a resposta rápida da bacia a eventos de precipitação, mas por outro lado, acumulam água em períodos de pequena precipitação que podem contribuir para o aumento da infiltração para o aquífero, mas também para a evapotranspiração.

3.2. Dinâmica do Armazenamento de Água no Solo ao Longo do Ano

A Tabela 2 apresenta os resultados mensais de armazenamento de água no solo (Arm), precipitação (P), evapotranspiração potencial (Etp), escoamento superficial (Q), retenção potencial do solo (S) e perda inicial por interceptação (Ia), obtidos por meio do método CN e dados do *Climate Engine*.

Tabela 2. Resultado balanço hídrico e armazenamento de água na sub-bacia do Sete Voltas ao longo do ano de 2024, a partir da utilização do modelo CN.

Mês	Arm*	P	Etp	Q	S	Ia
jan	275,54	170,06	138,10	97,49	86,57	17,31
fev	307,99	160,64	125,41	89,36	86,57	17,31
mar	357,87	218,26	114,51	140,44	86,57	17,31
abr	361,06	15,38	98,76	0,00	86,57	17,31
mai	389,50	30,92	87,21	1,85	86,57	17,31
jun	409,47	9,40	76,01	0,00	86,57	17,31
jul	436,74	14,72	74,02	0,00	86,57	17,31
ago	466,90	58,71	101,74	13,39	86,57	17,31
set	444,75	22,73	131,13	0,32	86,57	17,31
out	462,25	94,33	127,15	36,26	86,57	17,31
nov	490,00	136,55	126,29	69,08	86,57	17,31
dez	525,49	287,29	133,95	204,42	86,57	17,31

* Armazenamento inicial de 254,5 mm referente ao mês de dezembro de 2023.

Observa-se que o armazenamento variou ao longo do ano, partindo de 254,5 mm em dezembro de 2023 e atingindo o pico em dezembro de 2024 (525,49 mm). Esse aumento reflete o balanço entre precipitação e evapotranspiração, com destaque para os meses de outubro a dezembro, nos quais a precipitação foi elevada (94,33 mm a 287,29 mm), resultando em aumentos significativos no armazenamento.

O escoamento superficial (Q) foi mais expressivo nos meses de março (140,44 mm) e dezembro (204,42 mm), coincidindo com os maiores volumes de precipitação. Já entre abril e julho, as precipitações foram baixas (inferiores a 30 mm), e o escoamento foi nulo ou insignificante, indicando que a água precipitada foi quase totalmente retida no solo ou perdida por evapotranspiração.

3.3. Relação entre Precipitação, Armazenamento e Escoamento

A análise dos dados evidencia a forte influência da sazonalidade climática na dinâmica hídrica da bacia. Nos meses mais secos (abril a setembro), o armazenamento manteve-se estável ou com pequeno incremento, mesmo com baixas precipitações, graças à capacidade de retenção do solo.

A partir de outubro, com o aumento das chuvas, o armazenamento cresceu consistentemente, acompanhado pelo aumento do escoamento superficial. Esse comportamento está alinhado com a lógica do método CN, que associa maiores volumes de precipitação a maiores taxas de escoamento, especialmente em solos com menor capacidade de infiltração.

3.4. Limitações e Considerações sobre o Uso do Método Curve Number

Embora o método CN seja amplamente utilizado por sua praticidade e eficiência, é importante ressaltar suas limitações. O CN é um parâmetro empírico e estático, que não captura variações sazonais na umidade do solo ou mudanças rápidas no uso e cobertura do solo. Além disso, a estimativa do armazenamento inicial (254,5 mm em dez/2023 pode influenciar significativamente os resultados subsequentes.

Apesar disso, os resultados obtidos são coerentes com o esperado para uma bacia com predominância de pastagens e áreas antropizadas, onde a resposta hidrológica é mais rápida e o escoamento superficial é favorecido.

4. CONCLUSÃO

O estudo permitiu caracterizar o comportamento hidrológico da bacia do Ribeirão Sete Voltas por meio do método Curva Número. O CN médio de 74,58 indica uma tendência significativa ao escoamento superficial, influenciada principalmente pela predominância de pastagens e mosaicos de uso, que juntos ocupam a maior parte da área.

A análise sazonal confirmou a forte relação entre precipitação e resposta hidrológica, com picos de escoamento nos meses chuvosos e armazenamento predominante no período seco. Esses resultados reforçam a vulnerabilidade da bacia a eventos de cheia e a importância de ações de gestão que priorizem a conservação de áreas florestais e a implementação de práticas de manejo sustentável.

Apesar das limitações inerentes ao método, o CN mostrou-se eficaz para uma avaliação inicial do potencial de escoamento. Os resultados obtidos oferecem subsídios importantes para o planejamento ambiental local e podem orientar futuras ações de controle de inundações e proteção dos recursos hídricos na região.

5. REFERÊNCIAS

- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019**. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/monitoramento/conjuntura>. Acesso em: 1 out. 2025.
- BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 9 jan. 1997.
- CARVALHO, L. V. C.; MARTINS, O.; TARGA, M. S. Estimativa da infiltração potencial e do escoamento superficial da sub-bacia sete voltas, taubaté-sp, pelo método do número da curva (CN). **Revista Técnica Ciências Ambientais**, v. 1, n. 1, p. 1-16, 2017.
- DAEE, Dados pluviométricos de Taubaté. Banco de Dados Hidrometeorológicos do Estado de São Paulo. Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, 2025. Disponível em: < <http://www.hidrologia.dae.sp.gov.br/>>. Acesso em: 07 out. 2025.
- DAVINO, A. Avaliação do potencial hidrogeológico da Bacia de Taubaté na região de Caçapava (SP). **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 14, n. 1, 2000. Disponível em: <https://aguassubterraneas.emnuvens.com.br/asubterraneas/article/view/24345>. Acesso em: 26 set. 2025.
- FISCH, G. Caracterização climática e balanço hídrico em Taubaté (SP). *Revista Biociências*, v.1, n.1, p.81-90, 1995.
- FREITAS, M. S. **Estratigrafia de alta resolução e geoquímica orgânica da Formação Tremembé, Terciário da Bacia de Taubaté, na região de Taubaté-Tremembé, SP**. 2007. Tese de Doutorado.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de solos do Brasil**: arquivo vetorial. Sistema de referência geográfica SIRGAS 2000. Escala 1:5.000.000. 2001.
- _____. Mapa de biomas do Brasil. Primeira aproximação. Projeção policônica. Escala 1:5.000.000. 2004.
- _____. Mapa de unidades de relevo. Projeção policônica. Escala 1:5.000.000. 2012.
- SETZER, J.; PORTO, R. L. L Tentativa de avaliação de escoamento superficial de acordo com o solo e o seu recobrimento vegetal nas condições do Estado de São Paulo. **Boletim Técnico DAEE**, v.2, n.2, p82-135, maio-agosto 1979.
- REVERTE, F. C.; GARCIA, M. G. M. Pico de Itapeva: exemplo de sítio geomorfológico do inventário da Bacia de Taubaté. **I Simpósio de Geodiversidade e Geoconservação do Estado de Goiás. Boletim de Resumos Expandidos**, 2017.
- TUCCI, C. E. M; HESPANHOL, I.; NETTO, O. M. C. **Gestão da água no Brasil**. 2001. Brasília: Unesco, 156p. Disponível em: <http://www.crmariocovas.sp.gov.br/pdf/pol/gestao_agua.pdf> . Acesso em: 1 out, 2025.