

ESCOAMENTO SUPERFICIAL E RISCOS AMBIENTAIS: uma análise hidrológica da Bacia do Ribeirão Itaim em Taubaté-SP

**Zilner Callera¹, Alexssandry Lamarques Sousa¹; Benemara Pereira da Silva Peluzio¹;
Lourival de Oliveira Santos¹; Patrícia Tosetto Moraes¹; Renato Nogueira da Costa¹;
Marcelo dos Santos Targa^{1,2}, Willian José Ferreira^{1,2}**

**¹Mestrado Profissional em Ecodesenvolvimento e Gestão Ambiental,
Universidade de Taubaté - UNITAU, Taubaté, SP.**

**²Mestrado Acadêmico em Ciências Ambientais,
Universidade de Taubaté – UNITAU, Taubaté, SP.**

e-mail: zilner@unitau.br*, alexssandry.lsousa@unitau.br, benemara.pspeluzio@unitau.br,
lourival.osantos@unitau.br, patricia.aptmoraes@unitau.br; renato.ncosta@unitau.br;
mstarga@unitau.br; willian.jferreira@unitau.br

RESUMO

A Bacia do Ribeirão Itaim, localizada em Taubaté, São Paulo, enfrenta desafios ambientais relacionados à urbanização desordenada, intensificação agrícola e perda de vegetação nativa, que agravam os riscos de inundações, erosão e degradação dos recursos hídricos. Este estudo analisou o comportamento da precipitação, o uso do solo e o escoamento superficial na bacia, com dados de precipitação (2003-2023) da plataforma Hidroweb e informações de uso do solo obtidas no MapBiomas. Foi aplicado o método de Curva Número (CN) para estimar o escoamento superficial e identificar áreas vulneráveis. Os resultados revelaram que o aumento da impermeabilização do solo, associado à redução da cobertura vegetal, intensificou o escoamento e os impactos hidrológicos, especialmente em períodos de chuvas intensas. Áreas urbanas apresentaram alto potencial de escoamento superficial, enquanto áreas florestadas demonstraram maior capacidade de infiltração. Conclui-se que a bacia necessita de estratégias de manejo sustentável, como restauração de matas ciliares, infraestrutura verde e práticas agrícolas conservacionistas. Este estudo fornece subsídios para o planejamento ambiental e para a formulação de políticas públicas voltadas à mitigação dos impactos ambientais e à sustentabilidade hídrica.

Palavras-chave: Gestão Hídrica, Escoamento, Solo, Mudanças Climáticas

1. INTRODUÇÃO

A hidrologia ambiental desempenha um papel central na análise e gestão de recursos hídricos, fornecendo subsídios científicos para o planejamento sustentável em diferentes escalas territoriais (Targa *et al.*, 2019). Como ciência dedicada ao estudo do ciclo hidrológico e de seus

processos associados, ela possibilita a compreensão dos impactos de atividades humanas sobre os regimes hídricos, a qualidade da água e os ecossistemas aquáticos. Essa abordagem é particularmente relevante em bacias hidrográficas, onde a interação entre precipitação, escoamento e uso do solo determina a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos.

No município de Taubaté, São Paulo, as bacias do Rio Una e do Ribeirão Itaim exemplificam os desafios relacionados à gestão hídrica em contextos urbanos e rurais. Essas áreas combinam múltiplos usos do solo, como urbanização, atividades agrícolas e fragmentos de cobertura florestal, refletindo pressões ambientais que incluem poluição hídrica, erosão e inundações recorrentes. Entre essas, a bacia do Ribeirão Itaim destaca-se por sua importância no abastecimento hídrico local e por sua vulnerabilidade às intervenções humanas, como a impermeabilização do solo e o manejo inadequado das terras agrícolas.

A urbanização crescente na bacia do Ribeirão Itaim intensifica a sedimentação dos corpos d'água e aumenta a frequência de eventos extremos, como alagamentos em áreas urbanizadas. Paralelamente, práticas agrícolas inadequadas e o desmatamento comprometem a qualidade da água e ampliam os riscos de erosão. Esses fatores evidenciam a necessidade de análises hidrológicas detalhadas que orientem estratégias de manejo sustentável, conciliando desenvolvimento socioeconômico com a conservação dos recursos naturais.

Este estudo tem como objetivo analisar o comportamento da precipitação, o escoamento superficial e o uso do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Itaim, com foco nos impactos das atividades humanas sobre a dinâmica hídrica. A investigação busca compreender como diferentes formas de ocupação do solo afetam o escoamento e os riscos de inundações e erosão, além de propor estratégias de manejo que promovam a sustentabilidade ambiental.

A questão orientadora deste trabalho é: “de que forma os usos do solo na bacia do Ribeirão Itaim afetam o escoamento superficial e contribuem para o aumento dos riscos ambientais na região de Taubaté?”. Nessa perspectiva, a análise proposta alinha-se às metas de gestão sustentável dos recursos hídricos, fornecendo subsídios para políticas públicas e ações de planejamento urbano e ambiental. Além disso, os resultados deste estudo buscam contribuir para o entendimento dos desafios hidrológicos locais, conectando-os a estratégias mais amplas de conservação ambiental e uso sustentável da água em bacias hidrográficas.

O objetivo deste trabalho, ao investigar como os usos do solo na bacia do Ribeirão Itaim influenciam o escoamento superficial e os riscos ambientais, alinha-se diretamente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. Especificamente, contribui para o ODS 6 - Água Potável e Saneamento, ao propor práticas para melhorar a gestão hídrica e preservar a qualidade dos recursos hídricos. Também dialoga com o ODS 11 - Cidades e

Comunidades Sustentáveis, ao abordar soluções para reduzir os impactos da urbanização desordenada e promover um planejamento urbano mais resiliente. Adicionalmente, o trabalho apoia o ODS 13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima, ao identificar estratégias que aumentem a capacidade de adaptação da bacia às mudanças climáticas, mitigando os efeitos de eventos extremos como inundações e erosão.

2. MÉTODOS

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Itaim (Figura 1) está situada no município de Taubaté, localizada na região sudeste do Estado de São Paulo, no Vale do Paraíba. A nascente do ribeirão está nas coordenadas W 45°36'28" e S 23°09'46", próxima à divisa de Taubaté com os municípios de Redenção da Serra e Caçapava. O ponto de expulsório da bacia está localizado nas coordenadas W 45°30'23" e S 23°01'28", dentro da Fazenda Piloto, vinculada ao Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté (Aguiar, *et al.*, 2007).

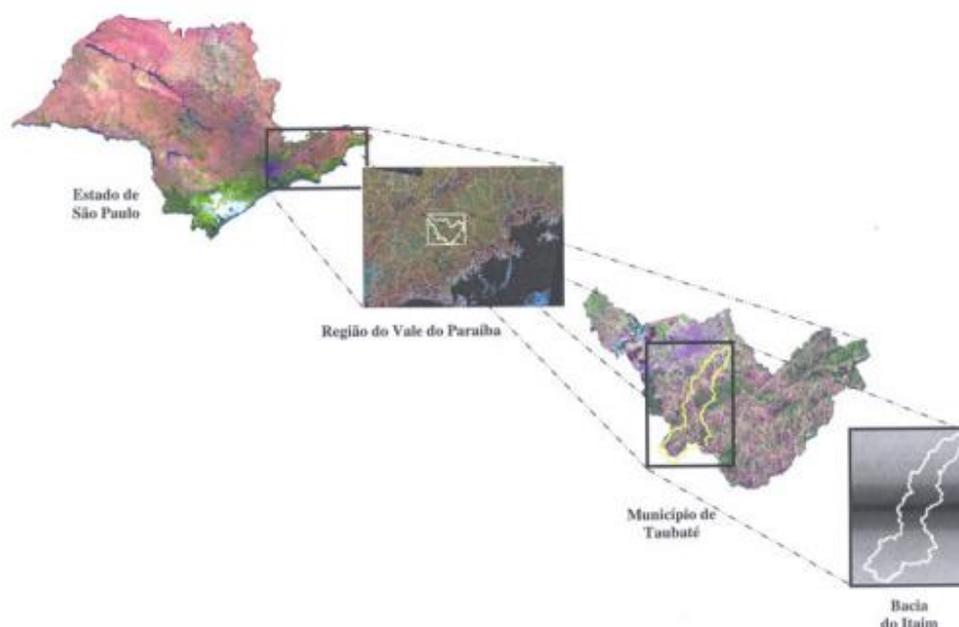


Figura 1. Localização Geográfica da Bacia do Itaim, Imagem TM/LANDSAT.

Fonte: Aguilar *et al.* (2007).

As informações utilizadas neste estudo foram extraídas da plataforma **Hidroweb**, mantida pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Essa plataforma fornece séries históricas de dados pluviométricos de estações localizadas em diversas regiões do Brasil. Para este trabalho, foi selecionada a estação pluviométrica mais próxima da bacia

hidrográfica do Ribeirão Itaim, considerando sua localização geográfica e a consistência dos registros disponíveis.

O período de análise abrangeu os anos de 2003 a 2023, escolhido devido à completude e confiabilidade das séries históricas nesse intervalo. Esse recorte temporal permitiu a identificação de variações sazonais, anuais e interanuais, possibilitando uma avaliação abrangente dos padrões pluviométricos e suas implicações hidrológicas. Os dados foram extraídos no formato de planilhas eletrônicas e processados no software Excel.

Durante o processamento, os registros apresentaram consistência, sem valores ausentes ou fora dos intervalos esperados. Por isso, não houve necessidade de ajustes por métodos estatísticos, como interpolação linear ou análise de regressão baseadas em dados de estações vizinhas. Após a validação, os valores mensais de precipitação foram somados para calcular os totais anuais, permitindo a análise das variações ao longo do período estudado.

O escoamento superficial foi estimado utilizando o **Método Curve Number (CN)**, que considera a interação entre o uso e a ocupação do solo, os tipos de solo predominantes e as condições hidrológicas locais. Essa metodologia, amplamente empregada na modelagem hidrológica, permite calcular o volume de água que escoar superficialmente após os eventos de precipitação. A análise do CN foi realizada com base nos dados de uso do solo disponíveis, permitindo estimar o impacto da cobertura vegetal e da urbanização nos processos hidrológicos da bacia. Essa abordagem fornece informações essenciais para o planejamento ambiental e a gestão sustentável dos recursos hídricos. O método CN, de acordo com o NRCS (2010), é baseado nas equações (1) e (2):

$$Q = \frac{(P-Ia)^2}{(P-Ia) + S} \quad (1)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

Em que:

Q: Escoamento superficial (mm);

P: Precipitação Máxima em dado Período Retorno (mm);

S: Infiltração Potencial (mm);

CN: Número da Curva, adimensional.

A urbanização e o uso intensivo da terra para atividades agrícolas têm contribuído de maneira significativa para o aumento do escoamento superficial, agravando os riscos de inundações e erosão, especialmente em áreas onde a cobertura vegetal é insuficiente ou os sistemas de drenagem apresentam deficiências. Em contrapartida, a vegetação nativa e as áreas florestais desempenham um papel fundamental na regulação hidrológica, promovendo maior infiltração e retenção da água no solo, além de reduzir os impactos das precipitações intensas. Nesse contexto, a análise do uso do solo na Bacia do Ribeirão Itaim é imprescindível para compreender os padrões de escoamento e para subsidiar a implementação de práticas de conservação e manejo sustentável da água. Tais medidas são essenciais para mitigar os riscos hidrológicos, preservar os recursos naturais e garantir maior resiliência ambiental na região de Taubaté.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bacia hidrográfica do Ribeirão Itaim apresenta uma variedade de características topográficas que influenciam diretamente sua dinâmica hídrica. Com uma área total de 57,66 hectares e altitudes que variam de 591 a 1.112 metros, a bacia abrange desde terrenos planos, localizados nas zonas de deposição, até áreas montanhosas de alta declividade, especialmente próximas às nascentes (Figura 2). Essa diversidade topográfica impacta de forma marcante o comportamento do escoamento superficial, com implicações diretas na gestão hídrica e ambiental da região.

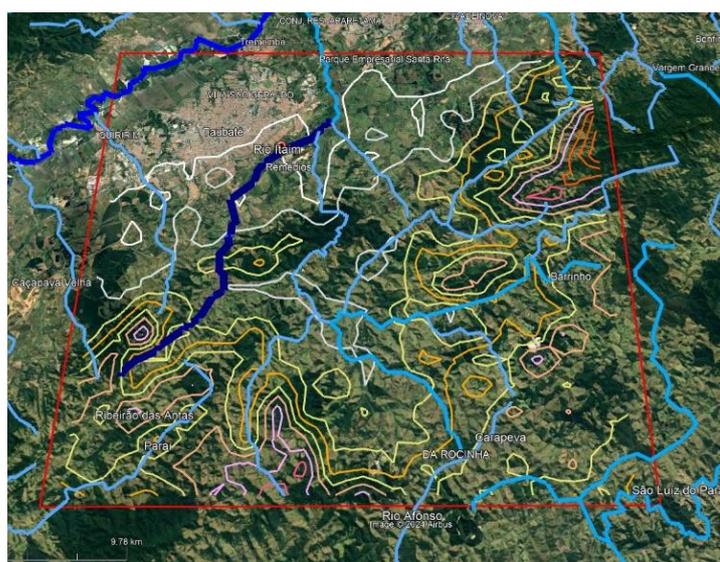


Figura 2. Bacia do rio ribeirão Itaim, Taubaté, SP.

Fonte: Google Earth, (2024)

As regiões de maior declividade, situadas nas áreas próximas às nascentes, favorecem um escoamento mais rápido durante períodos de precipitação intensa, aumentando o potencial de erosão e o transporte de sedimentos para os corpos d'água. Em contrapartida, as áreas planas, situadas nas zonas de deposição, apresentam menor velocidade de escoamento, o que contribui para a retenção de sedimentos e maior infiltração da água no solo. Essa interação entre relevo e dinâmica hídrica evidencia a necessidade de práticas de manejo que considerem as especificidades topográficas da bacia, promovendo a mitigação dos impactos do escoamento acelerado e a conservação das áreas mais vulneráveis.

As características topográficas são determinantes para a dinâmica hídrica da bacia. As zonas de maior altitude e configuração favorecem um escoamento superficial mais intenso, causando a infiltração de água no solo e aumentando a suscetibilidade à erosão e ao transporte de sedimentos. Em contrapartida, as áreas de menor declividade promovem a retenção hídrica, contribuindo para a recarga dos aquíferos e a formação de água.

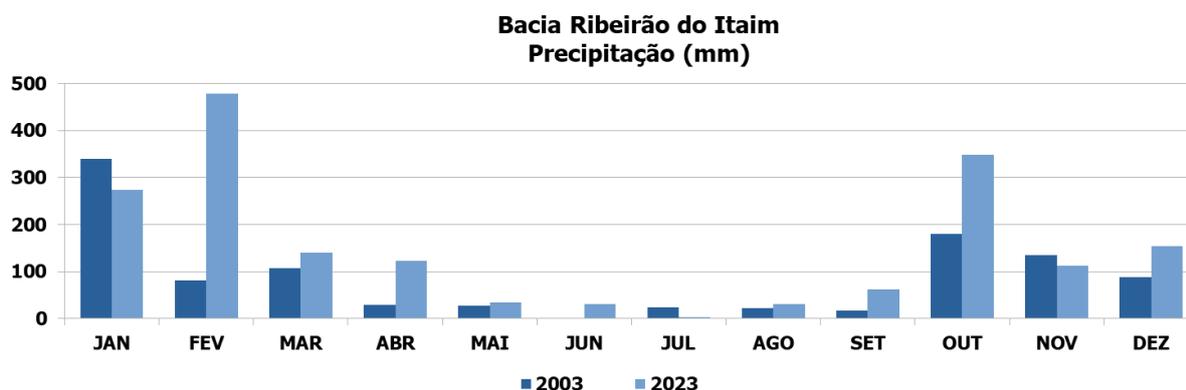


Figura 3. Precipitação na Bacia do rio ribeirão Itaim, Taubaté, SP.

Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA, 2024)

O gráfico de precipitação anual na Bacia do Ribeirão Itaim (Figura 3), referente aos anos de 2003 e 2023, evidencia o padrão sazonal típico da região Sudeste do Brasil. Em ambos os anos, os maiores volumes de precipitação concentram-se nos meses de verão, com destaque para janeiro, fevereiro e março, enquanto os meses de maio a agosto apresentam índices significativamente mais baixos, caracterizando uma estação seca bem definida. A primavera, especialmente em outubro, marca o início do período chuvoso, com um aumento gradual nos volumes pluviométricos.

Ao comparar os dois anos, observa-se que fevereiro e abril de 2023 registraram volumes de precipitação superiores aos de 2003, com um destaque para fevereiro de 2023, que apresentou um aumento expressivo. Enquanto a variabilidade em 2003 segue um padrão mais estável de sazonalidade, 2023 evidencia picos mais acentuados de precipitação, particularmente em fevereiro e outubro, indicando uma concentração maior das chuvas em períodos específicos.

O aumento da intensidade e da variabilidade pluviométrica em 2023 pode estar associado a mudanças climáticas globais, que têm potencial para intensificar eventos extremos e alterar a distribuição sazonal das chuvas. Essas mudanças podem, em certos anos, reduzir a intensidade das secas e concentrar chuvas em curtos períodos. Além disso, as transformações no uso e na cobertura do solo, relacionadas ao crescimento urbano e às mudanças no uso da terra em Taubaté ao longo das duas décadas analisadas, podem ter impactado o ciclo hidrológico local, influenciando como a precipitação é distribuída e registrada.

As Figuras 4a e 4b apresentam os mapeamentos de uso da terra para os anos de 2003 e 2023, acompanhados de suas respectivas legendas, possibilitando uma análise detalhada das alterações ocorridas no período. Essas mudanças incluem a expansão de áreas urbanizadas e a redução de áreas vegetadas, destacando os impactos potenciais na dinâmica hidrológica da bacia.

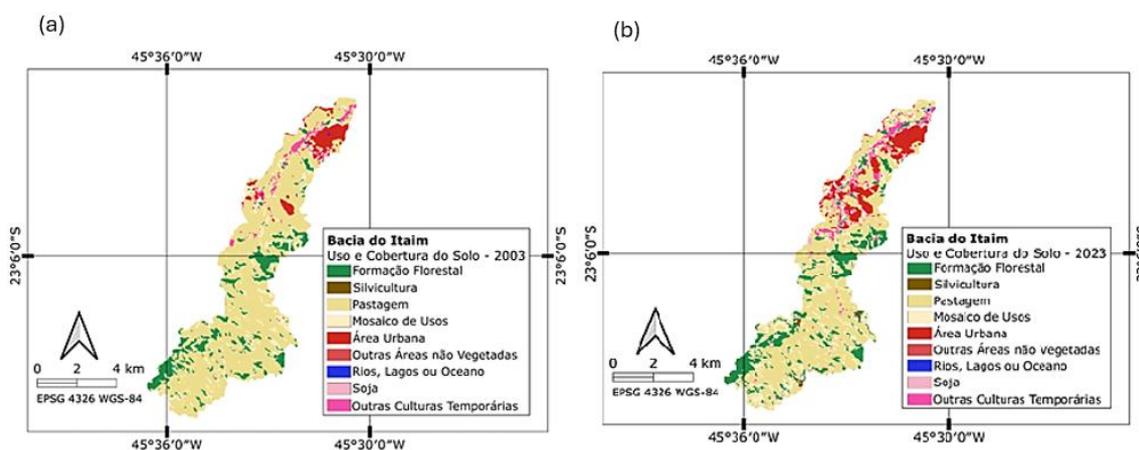


Figura 4. Uso e ocupação do solo do ano de 2003 (a) e 2023 (b).

Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA, 2024)

As diferenças nas áreas de cada classe de uso e ocupação do solo ao longo do período analisado, apresentadas na Figura 4, evidenciam mudanças significativas na dinâmica da Bacia do Ribeirão Itaim. Em 2003, a expansão das áreas urbanas e agrícolas já era evidente, contribuindo para a redução das áreas de pastagem e vegetação nativa. A cobertura vegetal

desempenha um papel relevante na retenção de água e na proteção do solo contra a erosão, além de promover a infiltração da água da chuva. A redução dessas áreas, portanto, resultou em maior escoamento superficial, aumentando a vulnerabilidade do solo à erosão, especialmente durante os períodos de chuva intensa.

Em 2023, a intensificação da urbanização e das atividades agrícolas trouxe um impacto ainda maior. O aumento das áreas impermeabilizadas, como as cobertas por asfalto e construções, reduziu significativamente a capacidade de infiltração da água no solo. Essa transformação contribuiu para o aumento do escoamento superficial concentrado, elevando os riscos de enchentes e agravando a qualidade da água devido ao transporte de sedimentos e substâncias químicas utilizadas na agricultura, como fertilizantes e pesticidas.

Ao longo de duas décadas, as alterações no uso do solo transformaram o ciclo hidrológico da bacia, intensificando o escoamento superficial e aumentando o risco de erosão e degradação da qualidade da água. A impermeabilização e a perda de vegetação nativa comprometeram a capacidade de recarga dos aquíferos, tornando a bacia mais suscetível a eventos climáticos extremos, como enchentes e períodos de seca prolongados (Santos *et al.*, 2010). Essas mudanças destacam a necessidade urgente de estratégias integradas de manejo sustentável, que incluam a recuperação de áreas degradadas, a implementação de infraestrutura verde e o controle da urbanização desordenada.

A Figura 5 ilustra o escoamento superficial da Bacia do rio Itaim, Taubaté, SP.

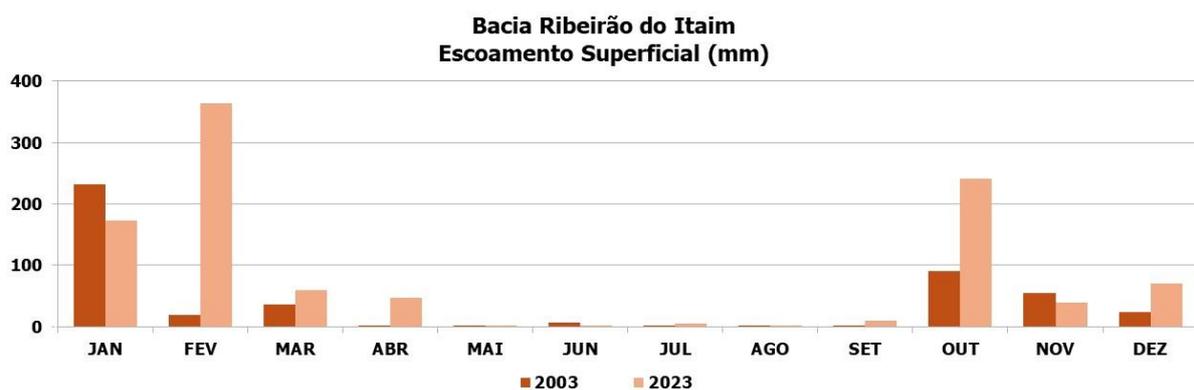


Figura 5. Escoamento superficial da Bacia do rio ribeirão Itaim, Taubaté, SP.

Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA, 2024)

O gráfico de escoamento superficial da Bacia do Ribeirão Itaim (Figura 5) complementa a análise dos padrões de precipitação, ilustrando a relação direta entre o volume de chuvas e o escoamento gerado. A aplicação do método Curve Number (CN) revelou como o escoamento

varia em função das mudanças no uso do solo, destacando o impacto da urbanização desordenada, que eleva os volumes de escoamento, e das práticas agrícolas que intensificam o transporte de sedimentos.

A análise integrada de fatores como previsão climática, características topográficas e uso do solo nas bacias dos rios Una e Itaim permitiu identificar áreas vulneráveis a inundações em regiões planas e a processos erosivos em encostas. Esses riscos são agravados por eventos de chuvas intensas e pela ausência de práticas de manejo adequadas em áreas agrícolas e urbanas.

Para mitigar esses problemas, torna-se essencial a implementação de estratégias integradas de manejo, incluindo melhorias nos sistemas de drenagem, restauração de matas ciliares, práticas conservacionistas de solo e planejamento territorial sustentável. Além disso, recomenda-se o monitoramento contínuo das bacias para avaliar a eficácia das ações adotadas e adaptar as estratégias às mudanças climáticas e às transformações no uso da terra, promovendo maior resiliência hídrica e ambiental.

4. CONCLUSÃO

Este estudo destacou a importância de compreender a relação entre o uso do solo e os processos hidrológicos na Bacia do Ribeirão Itaim, com foco no impacto das mudanças ao longo de duas décadas sobre o escoamento superficial e os riscos de inundações e erosão. Os resultados indicaram que a urbanização desordenada e a intensificação das atividades agrícolas, acompanhadas da redução da cobertura vegetal, aumentaram significativamente a vulnerabilidade da bacia a eventos hidrológicos extremos. A impermeabilização do solo reduziu a capacidade de infiltração, enquanto a degradação de áreas florestais comprometeu a retenção hídrica e a estabilidade dos ecossistemas aquáticos.

A pesquisa reforça a necessidade de implementar estratégias de manejo sustentável, como a restauração de matas ciliares e a adoção de práticas agrícolas conservacionistas, além de políticas públicas voltadas para o controle da urbanização desordenada. Tais ações são fundamentais para mitigar os impactos das chuvas intensas e promover um equilíbrio entre o desenvolvimento urbano e a preservação ambiental. A adoção de soluções baseadas na natureza, como infraestrutura verde e sistemas de drenagem eficientes, pode oferecer respostas práticas e adaptáveis às mudanças climáticas e às demandas locais por gestão hídrica.

Apesar de sua relevância, o estudo apresenta limitações relacionadas à ausência de dados mais detalhados sobre infiltração e evapotranspiração, que restringiram a precisão das estimativas do escoamento superficial. A análise baseou-se em dados históricos e informações

de uso do solo que, embora confiáveis, não capturam integralmente as variações sazonais e espaciais de processos hidrológicos. Esses fatores apontam para a necessidade de estudos complementares que incorporem medições mais abrangentes e detalhadas.

Para pesquisas futuras, sugere-se ampliar a coleta de dados hidrológicos e incluir modelagens preditivas que avaliem o impacto das mudanças climáticas na dinâmica hídrica da bacia. Além disso, estudos sobre a eficácia de intervenções específicas, como infraestrutura verde e sistemas de retenção, podem enriquecer o planejamento hídrico e ambiental. O desenvolvimento de ações participativas que engajem a comunidade local no manejo sustentável do território também representa uma área promissora, alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e às demandas por soluções integradas em regiões vulneráveis. Por meio dessas abordagens, espera-se contribuir para a conservação dos recursos hídricos e para a construção de paisagens mais resilientes e equilibradas.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são direcionados aos Programas de Mestrado Profissional em Ecodesenvolvimento e Gestão Ambiental (MPEDGA) da Universidade de Taubaté (UNITAU) pelo apoio técnico e institucional que possibilitaram a realização deste estudo.

6. REFERÊNCIAS

- AGUIAR, Luiz Sérgio Gonçalves; DOS SANTOS TARGA, Marcelo; BATISTA, Getulio Teixeira. Escoamento superficial na bacia hidrográfica do Ribeirão Itaim. **Revista Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**: v. 2, n. 1, 2007.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2022: relatório pleno**. Brasília: ANA, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br>. Acesso em: 20 nov. 2024.
- BARBOSA, C. C. F.; CORDEIRO, J. P. C. Manual de Referência – LEGAL. **INPE-10498-PRE/5975**. INPE. São José dos Campos, 2001. Disponível em: <http://mtcm12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.19.15.12/doc/apendice.pdf>. Acesso em: novembro de 2024.
- LIMA, J. E. F. W.; SILVA, D. D. **Hidrologia e manejo de bacias hidrográficas**. Viçosa: Editora UFV, 2014.
- MARTINS, S. G.; RODRIGUES, R. A.; VILELA, P. M. **Erosão do solo e impactos no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 3, p. 1167-1175, 2012.
- NOVAES, L. F.; PAIVA, R. C. D. **Hidrologia de Bacias: Processos, Modelagem e Gestão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

PINTO, G. G.; MARQUES, J. A. B.; CUNHA, A. C. **Mudanças climáticas e recursos hídricos: impactos e estratégias de adaptação.** *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, n. 3, p. 243-254, 2014.

TARGA, M. D. S., POHL, E., & ALMEIDA, A. A. D. S. (2019). Balanço de água em solo coberto por floresta tropical em regeneração na região do Vale do Paraíba, São Paulo, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, 14, e2482.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de recursos hídricos no Brasil.** Porto Alegre: ABRH, 2008.