

## **IMPACTOS DO USO DO SOLO NA DINÂMICA HIDROLÓGICA DA SUB-BACIA DO BAIXO E MÉDIO UNA, TAUBATÉ, SP**

**Luan Alves da Costa<sup>1\*</sup>, Lia Cristina de Barros Fernandes<sup>1</sup>, Carlos Antonio Tavares de Lira<sup>1</sup>, Polyanne Barbosa<sup>1</sup>, Marcelo dos Santos Targa<sup>1,2</sup>, Willian José Ferreira<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Mestrado Profissional em Ecodesenvolvimento e Gestão Ambiental,  
Universidade de Taubaté - UNITAU, Taubaté, SP.

<sup>2</sup>Mestrado Acadêmico em Ciências Ambientais,  
Universidade de Taubaté – UNITAU, Taubaté, SP.

luan-alves@hotmail.com\*, polyanne.silva@ifto.edu.br, liacristinacontabil@gmail.com,  
geoprofcarloslira@gmail.com, mstarga@unitau.br, willian.jferreira@unitau.br

\* E-mail principal para correspondência

### **RESUMO**

A bacia hidrográfica do rio Una, localizada em Taubaté-SP, desempenha um papel estratégico no abastecimento hídrico e na preservação ambiental, mas enfrenta pressões significativas da urbanização, desmatamento e manejo inadequado das terras agrícolas. Essas pressões agravam os riscos de inundações, erosão e comprometem a qualidade da água, ressaltando a necessidade de uma gestão sustentável dos recursos hídricos. Por meio de uma análise comparativa entre os anos de 2003 e 2023, este estudo avaliou o comportamento da precipitação, o escoamento superficial e o uso do solo, propondo estratégias para mitigação de impactos ambientais. A metodologia envolveu a delimitação da sub-bacia do Baixo e Médio Una, análise do uso do solo com dados do MapBiomass, cálculo do Curve Number (CN) e estimativa do escoamento superficial a partir de dados pluviométricos obtidos no Hidroweb. Os resultados revelaram que áreas urbanizadas apresentaram maior escoamento superficial devido à impermeabilização do solo, enquanto áreas florestadas demonstraram maior capacidade de regulação hídrica. O estudo recomendou a restauração de matas ciliares, implementação de infraestrutura verde e manejo sustentável do uso do solo. Essas medidas visam reduzir impactos ambientais, promover a resiliência da bacia às mudanças climáticas e oferecer subsídios para políticas públicas e planejamento hídrico sustentável.

**Palavras-chave:** Escoamento Superficial, Sustentabilidade Hídrica, Mudanças Climáticas, Gestão Ambiental

## IMPACTS OF LAND USE ON HYDROLOGICAL DYNAMICS OF THE LOWER AND MIDDLE UNA SUB-BASIN, TAUBATÉ, SP, BRAZIL

### ABSTRACT

The Una River Basin, located in Taubaté-SP, plays a strategic role in water supply and environmental protection, but faces significant pressures from urbanization, deforestation and poor agricultural land management. These pressures aggravate the risks of flooding, erosion and degradation of water quality, highlighting the need for sustainable management of water resources. Through a comparative analysis between 2003 and 2023, this study evaluated the behavior of precipitation, surface runoff and land use, and proposed strategies to mitigate environmental impacts. The methodology included the delineation of the Lower and Middle Una sub-basins, the analysis of land use using data from MapBiomas, the calculation of the Curve Number (CN) and the estimation of surface runoff using rainfall data from Hidroweb. The results showed that urbanized areas had higher runoff due to soil sealing, while forested areas had greater water regulating capacity. The study recommended the restoration of riparian forests, the implementation of green infrastructure, and sustainable land use management. These measures aim to reduce environmental impacts, promote the basin's resilience to climate change, and provide subsidies for public policies and sustainable water planning.

**Keywords:** Surface Runoff, Water Sustainability, Climate Change, Environmental Management.

### 1. INTRODUÇÃO

Bacias hidrográficas configuram-se como sistemas complexos, nos quais os processos hidrológicos interagem com atividades humanas, biodiversidade e clima, influenciando diretamente a qualidade e a disponibilidade dos recursos hídricos (Cezar *et al.*, 2019). Essas interações demandam práticas de gestão que equilibrem desenvolvimento e sustentabilidade, com atenção aos impactos do uso e ocupação do solo. Nesse contexto, estudos em hidrologia ambiental oferecem abordagens relevantes para enfrentar esses desafios, contribuindo para políticas públicas voltadas à conservação dos recursos naturais e ao equilíbrio ecológico.

No Vale do Paraíba Paulista, muitas bacias hidrográficas enfrentam pressões como impermeabilização do solo, poluição, desmatamento e manejo inadequado das terras agrícolas (Targa *et al.*, 2019). Em áreas urbanas, problemas recorrentes incluem enchentes e degradação da qualidade da água. Já no meio rural, a erosão do solo e a contaminação dos corpos d'água comprometem a sustentabilidade ambiental, exigindo estratégias voltadas ao uso sustentável dos recursos, à recuperação de áreas degradadas e à adaptação às mudanças climáticas.

Na região de Taubaté-SP, por exemplo, a bacia hidrográfica do rio Una tem importância estratégica para o abastecimento hídrico e a preservação ambiental, mas enfrenta desafios como assoreamento, poluição e degradação do solo, agravados pela urbanização e pelo uso inadequado da terra. A bacia, com cerca de 442,85 km<sup>2</sup>, abrange os municípios de Tremembé (8%), Pindamonhangaba (8%) e Taubaté (84%) (Batista *et al.*, 2005). Estudos como o *Plano de Bacias do Rio Paraíba do Sul* destacam a necessidade de reduzir o carreamento de partículas sólidas e melhorar a qualidade da água do rio Una. Modelos numéricos e ferramentas como o SPRING têm sido utilizados para avaliar processos erosivos e propor práticas de manejo sustentável, reforçando a importância de ações integradas para mitigar os impactos ambientais na bacia.

Com base nesse contexto, questiona-se: **como os diferentes usos do solo na bacia do rio Una influenciam o escoamento superficial e os riscos de inundações e erosão na região de Taubaté-SP?**

O objetivo deste trabalho é analisar o comportamento da precipitação, o escoamento superficial e o uso do solo na bacia do rio Una, propondo recomendações para o manejo sustentável, a restauração de matas ciliares e o controle da poluição. Tais medidas visam mitigar os impactos ambientais, fortalecer a resiliência da bacia diante das mudanças climáticas e promover uma gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos.

Essa investigação alinha-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), contribuindo diretamente para o ODS 6 (*Água potável e saneamento*), ao propor medidas para a gestão sustentável dos recursos hídricos, e para o ODS 11 (*Cidades e comunidades sustentáveis*), ao abordar estratégias que promovam a resiliência em áreas urbanas e rurais. Adicionalmente, apoia o ODS 13 (*Ação contra a mudança global do clima*), ao propor práticas de manejo que aumentem a resiliência da bacia frente às mudanças climáticas e mitiguem os impactos do uso inadequado do solo e da urbanização.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Una, situada na região de Taubaté, estado de São Paulo, constitui um sistema hidroambiental que reflete a interação entre processos naturais e as pressões das atividades humanas no Vale do Paraíba Paulista. A maior parte da bacia encontra-se no município de Taubaté (86%), com os 14% restantes distribuídos igualmente entre Tremembé e Pindamonhangaba.

O rio Una, com nascentes localizadas nas proximidades da Serra do Mar, percorre cerca de 50 km antes de desaguar no rio Paraíba do Sul. Sua relevância reside tanto no abastecimento hídrico quanto na manutenção do equilíbrio ambiental regional. A bacia é composta por sete sub-bacias, sendo o foco deste estudo a sub-bacia do Baixo e Médio Una, área de interesse estratégico devido às intensas pressões urbanas e agrícolas que enfrenta.

O clima da bacia é classificado como tropical de altitude (Cwa, de acordo com Köppen-Geiger), apresentando verões quentes e úmidos e invernos secos e amenos. A precipitação média anual varia entre 1.300 e 1.500 mm, com aproximadamente 70% do total de chuvas concentrado nos meses de verão. Esse regime pluviométrico exerce influência direta sobre o comportamento hidrológico da bacia, impactando tanto o escoamento superficial quanto a recarga dos aquíferos subterrâneos (Fisch, 1999).

Conforme Chow et al. (1994), o escoamento superficial representa o fluxo de água sobre a superfície do terreno, resultante do excedente de precipitação em relação à capacidade de infiltração do solo. Esse processo desempenha papel central no transporte de sedimentos e poluentes do rio Una, além de afetar os recursos hídricos e a qualidade ambiental da bacia.

A formação geológica da região é dominada por rochas do Grupo Serra do Mar, compostas por granitos, gnaisses e outras rochas metamórficas. Essas características geológicas influenciam diretamente o relevo e a dinâmica hídrica, modelando as encostas e definindo a estrutura das sub-bacias (Silva et al., 2006). Os solos predominantes na bacia incluem Latossolos Vermelho-Amarelos, encontrados em áreas rurais, e Argissolos, associados a regiões de maior declividade. Esses tipos de solo são altamente suscetíveis à erosão, especialmente em áreas com manejo inadequado ou desmatamento. Em áreas urbanizadas, predominam solos antropizados, que apresentam maior compactação e impermeabilização, limitando a infiltração de água e contribuindo para o aumento do escoamento superficial e o risco de enchentes.

A Figura 1 ilustra a divisão territorial da bacia hidrográfica do rio Una, evidenciando suas sub-bacias e a distribuição dos municípios que a compõem.

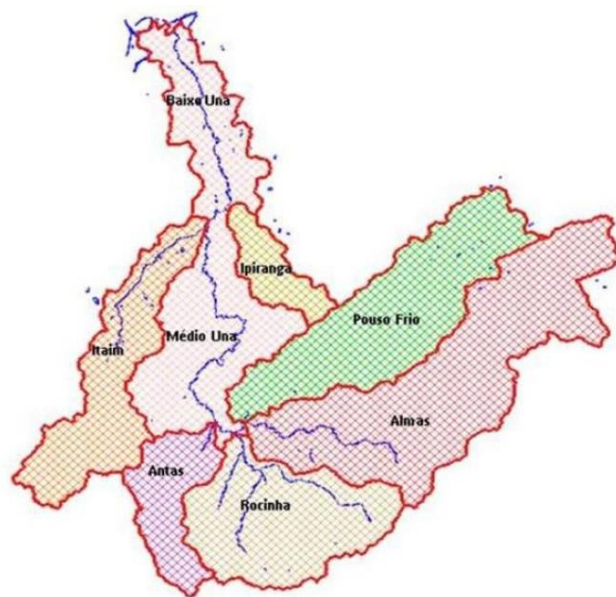


Figura 1: Limites de bacia e sub-bacias do rio Una. Fonte: IPABHi (2024).

A sub-bacia do Baixo e Médio Una (Figura 1) desempenha um papel estratégico na bacia hidrográfica do rio Una, abrigando cursos d'água que regulam o escoamento superficial e sustentam aquíferos. Apesar de sua importância, enfrenta desafios intensos decorrentes da urbanização e das práticas agrícolas no Médio Una, que impactam negativamente a qualidade e a disponibilidade dos recursos hídricos.

No Baixo Una, o crescimento urbano tem provocado impermeabilização do solo, diminuindo a infiltração de água e aumentando os picos de escoamento durante as chuvas. Essa situação eleva os riscos de erosão e inundações, além de comprometer a recarga hídrica. Segundo Moraes et al. (1995), a redução da infiltração aumenta a vulnerabilidade do solo à erosão e prejudica a produtividade agrícola, já que as raízes se desenvolvem superficialmente em condições de déficit hídrico e nutricional.

No Médio Una, a ausência de manejo adequado e a degradação das matas ciliares contribuem para o agravamento da erosão e da sedimentação, comprometendo a qualidade e a quantidade de água disponível. Além disso, as práticas agrícolas intensivas elevam os níveis de contaminação hídrica, gerando impactos ambientais e socioeconômicos que demandam ações imediatas para mitigar os danos.

A análise da sub-bacia do Baixo e Médio Una fornece subsídios para o planejamento de políticas públicas e práticas de manejo que reduzam os impactos ambientais. A restauração das matas ciliares é uma medida indispensável para controlar a erosão, melhorar a qualidade da água e recuperar a resiliência dos ecossistemas locais.

Medidas como a implementação de sistemas de drenagem eficientes e o incentivo ao uso de técnicas agrícolas sustentáveis podem minimizar os efeitos da urbanização e mitigar a contaminação por resíduos químicos. A recuperação de áreas degradadas e o fortalecimento de práticas de uso consciente dos recursos naturais integram um plano de gestão integrado que busca promover o equilíbrio entre a preservação ambiental e o desenvolvimento regional.

Essas ações representam caminhos promissores para melhorar a qualidade ambiental e reforçar a resiliência da sub-bacia frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pelas pressões antrópicas, contribuindo para um manejo sustentável na região de Taubaté-SP.

## 2.2 Caminho Metodológico

Este estudo utilizou uma abordagem integrada, combinando análises geoespaciais, hidrológicas e do uso do solo para investigar a dinâmica da sub-bacia do Baixo e Médio Una. O objetivo foi compreender como o uso e ocupação do solo influenciam o escoamento superficial e os riscos de inundações e erosão, além de propor estratégias de manejo sustentável.

Inicialmente, a delimitação da sub-bacia foi realizada com o auxílio do software Google Earth e de bases geoespaciais públicas, como as do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). A área de estudo foi definida considerando a relevância ambiental da sub-bacia e os desafios associados ao uso do solo, à urbanização e às práticas agrícolas. Os dados sobre o uso e cobertura da terra foram extraídos da plataforma MapBiomas, que oferece informações atualizadas e detalhadas sobre diferentes categorias de uso. As classes analisadas incluíram áreas urbanas, florestas, pastagens e terras agrícolas, sendo organizadas e quantificadas para identificar padrões de ocupação e suas implicações nos processos hidrológicos.

Para estimar o escoamento superficial, foi utilizado o método Curve Number (CN), uma ferramenta amplamente aplicada na hidrologia, conforme descrito por Chow *et al.* (1994). O método considera as características de uso do solo, as condições hidrológicas locais e a precipitação média anual. Os dados de precipitação foram obtidos no portal Hidroweb da ANA, enquanto os valores de CN foram adaptados para os tipos de solo predominantes na área, como Latossolos e Argissolos.

Os dados hidrológicos de 2003 e 2023 foram comparados para identificar alterações sazonais e os impactos de mudanças climáticas e do uso do solo na região. Essas análises forneceram um panorama das transformações ocorridas ao longo das duas décadas.

Os resultados foram apresentados por meio de gráficos de escoamento superficial e mapas de uso do solo, desenvolvidos com softwares de geoprocessamento e ferramentas de análise de dados. As áreas mais suscetíveis a inundações e erosão foram identificadas com base nos índices de impermeabilização e nas características do relevo da sub-bacia. Além disso, foram discutidos com base em estudos anteriores e relatórios técnicos, como o Plano de Bacias do Rio Paraíba do Sul. As análises destacaram os impactos das práticas de uso do solo na dinâmica hidrológica e possibilitaram a formulação de recomendações. Entre as ações sugeridas estão a restauração das matas ciliares, a implementação de práticas agrícolas sustentáveis e o controle da urbanização desordenada. Essas medidas visam promover o manejo integrado dos recursos hídricos, mitigar impactos ambientais e aumentar a resiliência da sub-bacia frente às pressões antrópicas e climáticas.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo destacam as mudanças no uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do rio Una entre 2003 e 2023, evidenciando a redução de áreas florestais, o aumento de pastagens em mosaico e a expansão de áreas urbanas. Essas transformações refletem os impactos do desenvolvimento urbano e agrícola na dinâmica hidrológica regional (Figura 2a e 2b).

A delimitação da sub-bacia em estudo, Baixo e Médio Una, foi realizada utilizando ferramentas de geoprocessamento, como o Google Earth, complementadas por dados de curvas de nível. Esse processo permitiu identificar os limites da bacia e mapear os principais cursos d'água, oferecendo uma base geográfica precisa para a análise. A delimitação foi essencial para

correlacionar o comportamento do escoamento superficial com os diferentes tipos de uso do solo e identificar áreas mais suscetíveis a riscos ambientais (Figura 3).

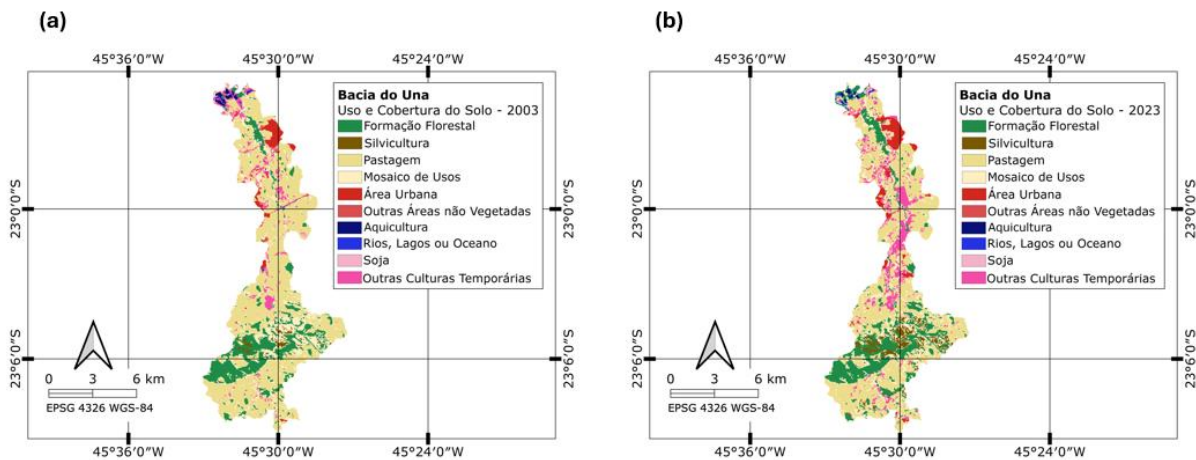


Figura 2: Uso e cobertura do solo no Baixo e Médio Una: 2003 (2a) e 2023 (2b). Fonte: Elaborada pelos autores.

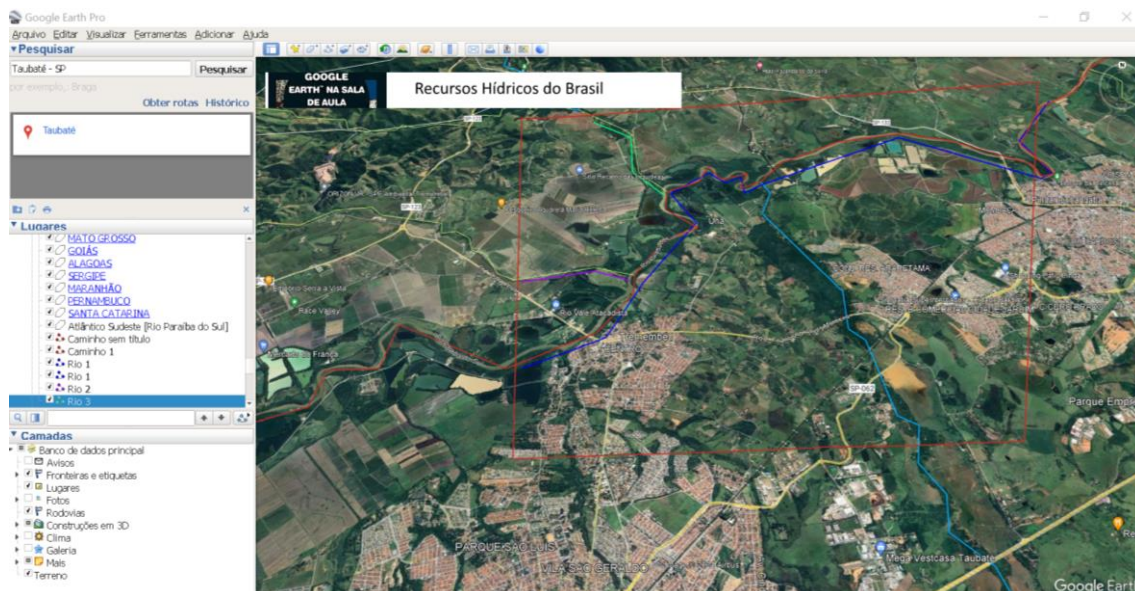


Figura 3: Delimitação da bacia do Baixo e Médio Una e sua conexão com o rio Paraíba do Sul. Rios destacados em azul. Fonte: Elaborada pelos autores.

A Figura 3 apresenta a delimitação da bacia hidrográfica do Baixo e Médio Una, destacando a rede hidrográfica que a compõe do rio Una até sua confluência com o rio Paraíba do Sul. Os principais cursos d'água estão destacados em azul, evidenciando as interações entre áreas urbanas e rurais que influenciam diretamente a dinâmica hídrica do sistema. Essa representação espacial permite identificar os limites da bacia e os fatores que determinam sua funcionalidade ambiental e hidrológica.

Os dados de precipitação utilizados neste estudo foram extraídos da plataforma Hidroweb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), abrangendo o período de 2003 a 2023. De acordo com Chow et al. (1994), a precipitação desempenha um papel central na redistribuição da água e no equilíbrio hídrico das bacias hidrográficas, influenciando processos como infiltração, escoamento superficial e recarga de aquíferos.

A análise dos padrões pluviométricos revelou mudanças ao longo das duas décadas avaliadas. Em 2023, os meses de fevereiro e outubro apresentaram volumes de chuva elevados, alcançando 479,2 mm e 349,2 mm, respectivamente. Esses valores contrastam com os de 2003, que registraram precipitações mais moderadas nos mesmos meses. Essa variação sugere uma intensificação de eventos climáticos extremos, refletindo a crescente variabilidade nos regimes de chuva.

Gráficos comparativos, como ilustrado na Figura 4, evidenciam tendências sazonais e picos pluviométricos, destacando o impacto das chuvas intensas no escoamento superficial. Nas áreas urbanizadas da bacia, a impermeabilização do solo agrava a concentração do fluxo superficial, aumentando a frequência de enchentes. Em áreas rurais, práticas agrícolas inadequadas intensificam a erosão e a sedimentação nos cursos d'água, comprometendo a qualidade e a disponibilidade hídrica.

Esses resultados reforçam a importância de ações de manejo integrado, como a restauração de matas ciliares, o planejamento urbano que mitigue a impermeabilização excessiva e a adoção de práticas agrícolas que reduzam os impactos erosivos. Essas estratégias contribuem para a resiliência hídrica da bacia do rio Una e mitigam os efeitos adversos das mudanças climáticas na região.

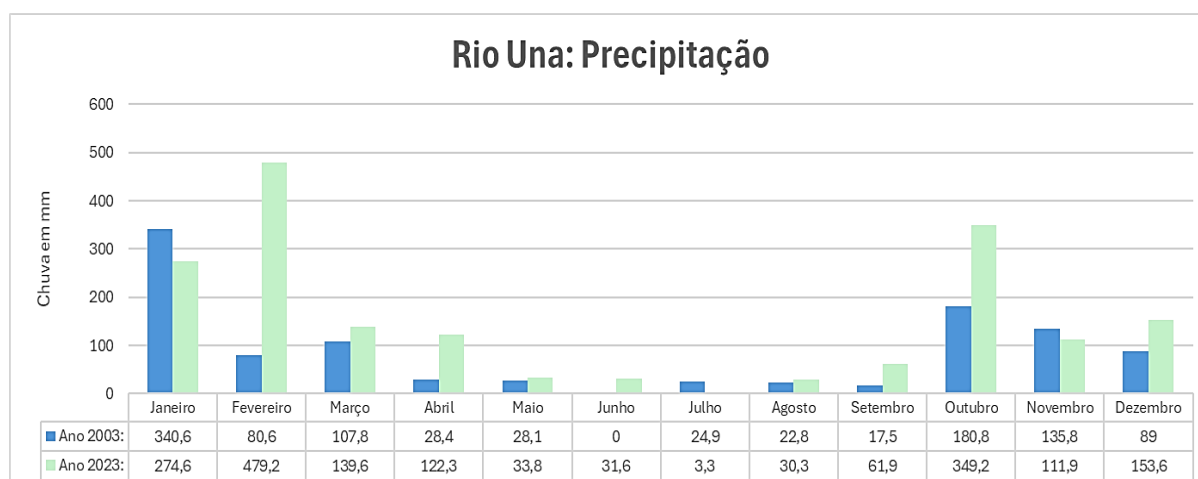


Figura 4: Precipitação na bacia do Baixo e Médio Una: 2003 e 2023. Fonte: Elaborada pelos autores.

A análise do uso do solo, fundamentada em dados do MapBiomas, possibilitou categorizar as áreas da sub-bacia do Baixo e Médio Una em classes como urbanas, agrícolas e florestais, evidenciando alterações no padrão de ocupação territorial ao longo dos anos. A expansão das áreas urbanizadas foi expressiva, intensificando a impermeabilização do solo e reduzindo significativamente a capacidade de infiltração, o que aumentou o escoamento superficial, particularmente nos períodos de maior precipitação. Em contraste, as áreas florestais registraram uma redução em sua extensão, impactando negativamente a capacidade de retenção hídrica da sub-bacia. Como apontado por Arcova et al. (2003), as florestas exercem papel fundamental na interceptação das chuvas pelas copas das árvores, processo que reduz a intensidade do escoamento e favorece a recarga hídrica, além de promover a evapotranspiração.

As áreas agrícolas e pastagens, frequentemente caracterizadas por mosaicos de uso, apresentaram crescimento, gerando uma variabilidade na capacidade de retenção e infiltração hídrica. O manejo inadequado dessas áreas pode acentuar processos erosivos e a sedimentação nos corpos d'água.

O cálculo do Curve Number (CN), realizado com base nas classes de uso do solo e nos tipos predominantes de solo (Latosolos e Argissolos), destacou o impacto direto das alterações no uso da terra sobre a dinâmica hidrológica da sub-bacia. As áreas urbanizadas, com alta impermeabilização, apresentaram um CN de 90, indicando baixa capacidade de retenção hídrica e alto potencial de escoamento superficial. Em contrapartida, as áreas florestais, com maior cobertura vegetal, apresentaram um CN de 55, refletindo uma maior capacidade de infiltração e regulação hídrica. As áreas agrícolas e pastagens exibiram valores intermediários de CN, variando conforme o grau de manejo e a presença de cobertura vegetal remanescente. Essas diferenças ressaltam a necessidade de práticas de manejo que priorizem a conservação das florestas e a recuperação de áreas degradadas, visando mitigar os impactos das mudanças no uso do solo sobre os recursos hídricos.

Tabela 1: Uso e cobertura do Baixo e Médio Una: 2003 e 2023.

<b>Bacia do Una:</b>					
<b>Solos presentes:</b>	<b>Áreas - km<sup>2</sup>:</b>		<b>CN:</b>	<b>Produto: Área x CN</b>	
	<b>Ano 2003</b>	<b>Ano 2023</b>		<b>Ano 2003</b>	<b>Ano 2023</b>
Floresta	16,53	18,64	42	694,26	783,09
Silvicultura	0,98	3,76	62	60,76	233,36
Pastagem	57,81	44,90	70	4046,7	3143,32
mosaico de usos	16,03	18,57	75	1202,25	1393,07
Área urbana	2,53	3,92	90	227,7	353,02
Outras áreas não vegetadas	0,46	0,10	86	39,56	8,54
Aquicultura	0,65	0,31	90	58,5	28,24
Rios e lagos	0,38	0,38	90	34,2	33,88
Soja	0,17	0,16	75	12,75	12,03
Outras culturas temporárias	5,39	10,16	75	404,25	762,22
<b>Total</b>	<b>100,93</b>	<b>100,92</b>		<b>6363,93</b>	<b>5976,52</b>
<b>CN Pond:</b>	<b>63,05</b>	2003			
	<b>59,22</b>	2023			
<b>S (potencial de retenção)</b>	<b>148,84</b>	2003			
	<b>174,92</b>	2023			

Fonte: Elaborada pelos autores.

A integração dos dados categorizados resultou no cálculo do Curve Number ponderado (CN Pond.), estimado em 78,3 para a sub-bacia do Baixo e Médio Una. Esse valor reflete o predomínio de áreas de uso intensivo e de cobertura impermeável, como urbanas, em relação às áreas de maior capacidade de retenção hídrica, como as florestais. Como consequência, o potencial de retenção da sub-bacia, representado pelo valor de S, foi calculado em 70,2 mm. Esses resultados indicam uma redução significativa na capacidade de absorção e armazenamento hídrico, aumentando a suscetibilidade da bacia a eventos de escoamento superficial intenso, como enchentes, e diminuindo a recarga hídrica dos solos.

A estimativa do escoamento superficial, baseada nos valores de precipitação e nos índices de Curve Number, revelou um aumento significativo em 2023, particularmente nos meses de fevereiro e outubro, que apresentaram os maiores volumes de chuva. A Figura 5 ilustra essa variação, destacando como a intensificação de áreas impermeáveis e a redução das matas ciliares agravaram a vulnerabilidade da sub-bacia a inundações e erosão. Esses achados corroboram estudos de Tundisi et al. (2008), que associam a urbanização desordenada e o uso inadequado do solo a processos como impermeabilização, erosão e assoreamento, elevando os riscos de eventos extremos em bacias hidrográficas.

As matas ciliares, que desempenham papel fundamental na regulação do escoamento superficial e na mitigação da erosão, foram identificadas como um dos elementos mais impactados pelas alterações no uso do solo. A ausência dessas áreas de proteção natural contribui para a intensificação dos impactos ambientais, tanto em áreas urbanas quanto rurais. Embora a falta de dados mais detalhados sobre infiltração e evapotranspiração limite análises



mais profundas, os resultados obtidos oferecem subsídios relevantes para o planejamento hídrico e a formulação de estratégias de manejo ambiental.

Recomenda-se, com base nos resultados, a implementação de intervenções voltadas para a recuperação de matas ciliares, práticas agrícolas sustentáveis e controle da expansão urbana desordenada. Essas ações são fundamentais para mitigar os impactos negativos sobre a dinâmica hidrológica e promover a sustentabilidade dos recursos hídricos na bacia do rio Una.

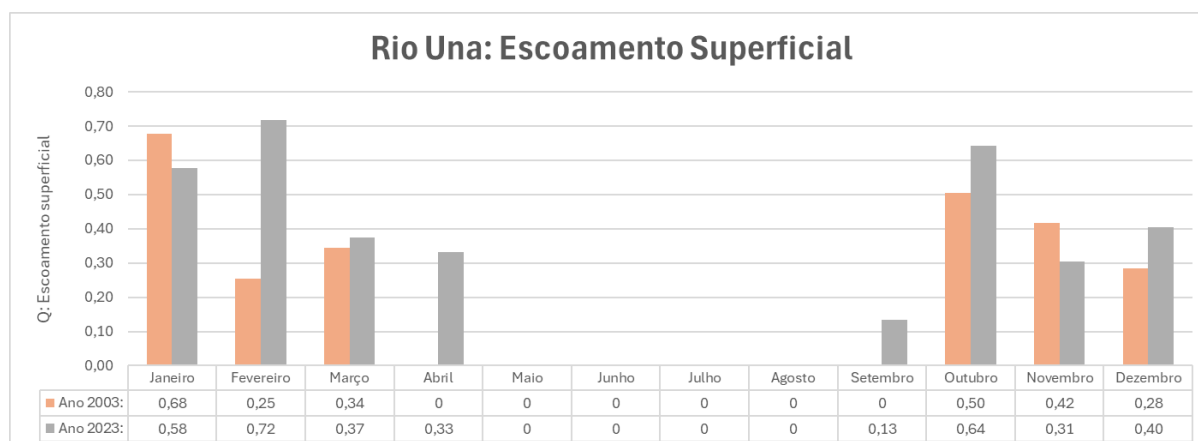


Figura 5: Escoamento superficial na bacia do Baixo e Médio Una: 2003 e 2023. Fonte: Elaborada pelos autores.

Os resultados ressaltam a necessidade de ações que priorizem a restauração de áreas degradadas, o manejo sustentável do solo e o controle da expansão urbana, de forma a mitigar os impactos negativos do escoamento superficial. As informações obtidas servem como base para a formulação de políticas públicas que promovam a resiliência da bacia às mudanças climáticas e garantam a sustentabilidade dos recursos hídricos na região.

#### 4. IMPACTOS HIDROLÓGICOS E AMBIENTAIS NA SUB-BACIA DO BAIXO E MÉDIO UNA

A análise dos resultados obtidos na sub-bacia do Baixo e Médio Una destacou a complexidade das interações entre topografia, padrões de precipitação, uso do solo e dinâmica do escoamento superficial. Esses fatores, detalhados na seção de Resultados, oferecem subsídios para a formulação de estratégias voltadas ao manejo sustentável e à conservação dos recursos hídricos.

A topografia da sub-bacia revelou-se um elemento determinante na compreensão do escoamento superficial. Como afirmam Dunne e Leopold (1978), a inclinação, extensão e formato de uma bacia hidrográfica influenciam diretamente a velocidade, o volume e a distribuição do fluxo hídrico. Nas áreas de maior declividade da sub-bacia, o escoamento foi mais acelerado, aumentando os riscos de erosão em regiões com baixa cobertura vegetal. Essa heterogeneidade no transporte de água e sedimentos ressalta a necessidade de práticas específicas de manejo que levem em conta as particularidades topográficas.

Os padrões de precipitação analisados evidenciaram variações sazonais significativas, com períodos de chuvas intensas que frequentemente excedem a capacidade de infiltração do solo. Essa sazonalidade, aliada ao uso intensivo do solo, resultou em momentos críticos de maior risco de inundações, particularmente em áreas urbanizadas com alta impermeabilização. O impacto desse cenário foi agravado pela expansão de áreas urbanas sobre solos anteriormente vegetados, intensificando os desafios hidrológicos.

A análise do uso do solo demonstrou uma distribuição heterogênea entre áreas urbanas, agrícolas e florestais. As áreas urbanizadas da sub-bacia do Baixo Una apresentaram um Curve Number (CN) elevado, evidenciando maior vulnerabilidade a picos de escoamento superficial. Em contrapartida, as áreas florestadas predominantes na sub-bacia do Médio Una registraram CN mais baixos, confirmando o papel da cobertura vegetal na regulação do ciclo hídrico e na mitigação de impactos causados por chuvas intensas. Pimentel e Kounang (1998) reforçam que a estabilidade hidrológica do solo, proporcionada por uma cobertura vegetal adequada, é essencial para a regulação do escoamento superficial e a infiltração da água, promovendo o equilíbrio hídrico em bacias hidrográficas.

As estimativas de escoamento superficial confirmaram que áreas urbanizadas são mais suscetíveis a picos de fluxo hídrico, enquanto as áreas florestadas contribuem significativamente para a estabilidade hidrológica. Esse cenário sublinha a importância de ações integradas, como a preservação e a recuperação da vegetação em áreas críticas, que não apenas reduzem os impactos negativos de eventos climáticos extremos, mas também promovem uma gestão hídrica mais equilibrada e sustentável na sub-bacia do rio Una.

Os resultados identificaram zonas de maior risco de erosão e inundação, principalmente em áreas de alta declividade e solos expostos. Essas evidências indicam a importância de implementar práticas de manejo que incluam controle rigoroso do uso do solo, infraestrutura de drenagem sustentável e políticas que incentivem a revegetação de áreas degradadas. Tais achados permitiram responder à pergunta central da pesquisa, demonstrando que os diferentes usos do solo influenciam diretamente o escoamento superficial e os riscos ambientais, como inundações e erosão. Áreas urbanizadas, devido à impermeabilização do solo, apresentaram Curve Number elevado, refletindo maior suscetibilidade a escoamentos intensos e redução da infiltração hídrica. Por outro lado, áreas florestadas evidenciaram capacidade superior de regular o ciclo hidrológico e minimizar impactos adversos.

As principais conclusões basearam-se nas seguintes evidências:

- O desequilíbrio no uso do solo, com alta concentração de áreas impermeáveis nas zonas urbanas, resultou em maior escoamento superficial e risco de inundações.
- Padrões sazonais de precipitação revelaram períodos críticos de chuva intensa, que agravam problemas de drenagem e erosão em regiões vulneráveis.
- Os valores de Curve Number destacaram a correlação entre a cobertura do solo e o comportamento hidrológico da bacia.

Com base nesses resultados, foram elaboradas as seguintes recomendações:

1. **Restauração de Matas Ciliares e Áreas Degradadas:** Incentivar a revegetação de margens de rios e áreas vulneráveis para aumentar a infiltração e reduzir o transporte de sedimentos.
2. **Infraestrutura Verde:** Promover soluções sustentáveis, como jardins de chuva, pavimentos permeáveis e reservatórios de retenção em áreas urbanas, para mitigar o impacto do escoamento superficial.
3. **Planejamento Territorial Sustentável:** Regulamentar o uso do solo por meio de políticas que evitem ocupações inadequadas, promovam práticas agrícolas sustentáveis e preservem áreas críticas.
4. **Educação Ambiental e Envolvimento Comunitário:** Sensibilizar a população sobre a importância de práticas sustentáveis e proteção de recursos hídricos por meio de programas educativos e participativos.

5. **Monitoramento Contínuo e Gestão Integrada:** Implementar sistemas permanentes de monitoramento hidrológico e fortalecer parcerias entre órgãos públicos e privados para assegurar uma gestão eficiente da bacia.

Essas medidas reforçam a necessidade de estratégias adaptativas que considerem as características específicas da bacia do rio Una, contribuindo para a redução dos riscos hidrológicos, a conservação dos recursos naturais e a resiliência frente às mudanças climáticas e à expansão urbana.

## 5. CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo analisar o comportamento da precipitação, o escoamento superficial e o uso do solo na bacia do rio Una, com enfoque na sub-bacia do Baixo e Médio Una. A pesquisa buscou compreender como diferentes padrões de ocupação territorial influenciam a dinâmica hidrológica, oferecendo subsídios para estratégias de manejo sustentável. Os resultados evidenciaram a relação direta entre o uso do solo e o comportamento hidrológico, com áreas urbanizadas apresentando maior suscetibilidade a inundações e erosão devido ao aumento do escoamento superficial, enquanto as áreas florestadas demonstraram maior capacidade de retenção hídrica, desempenhando papel crucial na mitigação de impactos climáticos.

A análise reforça a necessidade de estratégias que promovam práticas de manejo sustentável, como a revegetação, o controle do uso inadequado do solo e a adoção de soluções baseadas na natureza, incluindo a restauração de matas ciliares e a infraestrutura verde. Além disso, destaca-se a importância de ações de conscientização comunitária sobre a influência do uso do solo na sustentabilidade hídrica regional, fomentando a participação social no planejamento e na conservação dos recursos naturais.

Entre as limitações do estudo, identificou-se a ausência de dados mais detalhados sobre infiltração e evapotranspiração, que poderiam refinar as estimativas de escoamento superficial e ampliar a robustez dos resultados. Ademais, variações sazonais e espaciais nos dados de precipitação e uso do solo podem impactar a extrapolação dos resultados para outros contextos hidrológicos, exigindo cautela na formulação de políticas públicas e estratégias de manejo.

Para estudos futuros, sugere-se:

1. **Ampliação da Análise Hidrológica:** Incorporar variáveis como infiltração, evapotranspiração e parâmetros geomorfológicos detalhados, visando maior precisão na modelagem hidrológica e nas estimativas de escoamento.
2. **Estudos de Longo Prazo sobre Mudanças no Uso do Solo:** Investigar os impactos da expansão urbana e das mudanças climáticas sobre a dinâmica hidrológica e a qualidade da água, explorando cenários futuros que subsidiem o planejamento territorial e a mitigação de riscos.

Essas perspectivas ampliam a compreensão dos processos hidrológicos e oferecem suporte à formulação de estratégias mais eficazes para a gestão integrada dos recursos hídricos. O fortalecimento de práticas sustentáveis na bacia do rio Una e em regiões com desafios semelhantes é fundamental para o desenvolvimento de soluções robustas e alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, contribuindo para a resiliência hídrica e a preservação ambiental.

## 5 AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são direcionados aos Programas de Mestrado Profissional em Ecodesenvolvimento e Gestão Ambiental (MPEDGA) da Universidade de Taubaté (UNITAU) e ao Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi), pelo apoio técnico e institucional, bem como pelo aporte financeiro que possibilitaram a realização desta pesquisa.

## 6. REFERÊNCIAS

- ARCOVA, F. C. F.; CICCIO, V. de; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de mata atlântica em uma microbacia experimental em Cunha - São Paulo. *Rev. Árvore*, v. 27, n. 2, p. 257-262, 2003.
- BATISTA, G. T.; TARGA, M. S.; DIAS, N. W.; CATELANI, C. S. Modelo de banco de dados ambientais georreferenciados voltado à recuperação e preservação de recursos hídricos de uma bacia de médio porte, o modelo da bacia do rio Una, Paraíba do Sul, SP. *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 16., 2005, João Pessoa.
- CHOW, MAIDMENT & MAYS. (1994). *Hidrologia Aplicada*.
- DUNNE, T., & LEOPOLD, L. B. (1978). *Water in environmental planning*. San Francisco: *W.H. Freeman and Company*.
- FISCH, G. F. Distribuição da precipitação em Taubaté, Vale do Paraíba (SP). *Revista Biociências*, v. 5, n. 2, p. 7- 11, 1999.
- MORAES, M.H.; BENEZ, S.H.; LIBARDI, P.L. Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo no desenvolvimento das raízes de plantas de soja. *Bragantia*, 54:393-403, 1995.
- OLIVEIRA, R., & SILVA, S. (2016). Estudos de Eventos Extremos de Chuva na Bacia Hidrográfica do Rio Una. *Revista De Engenharia E Pesquisa Aplicada*, 2(1).
- PIMENTEL, D., & KOUNANG, N. (1998). Ecology of soil erosion in ecosystems. *Ecosystems*, 1(5), 416–426.
- SILVA, S.R.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M. Atributos Físicos de dois Latossolos Afetados pela Compactação do Solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 10: 842-847, 2006.
- 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.
- TUNDISI, J. G., & TUNDISI, T. M. (2008). *Gestão de recursos hídricos e sustentabilidade: o uso da ciência na integração de políticas públicas*. São Carlos: *Rima Editora*.