



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

BRUNO SÁRA DELMASCHIO

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ALTERAÇÃO DO USO E
COBERTURA DA TERRA NA VAZÃO DE UMA BACIA
HIDROGRÁFICA

VITÓRIA

2025

BRUNO SÁRA DELMASCHIO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ALTERAÇÃO DO USO E COBERTURA DA
TERRA NA VAZÃO DE UMA BÁCIA HIDROGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Geografia do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Orientador: Professor André Luiz Nascentes Coelho

VITÓRIA

2025

BRUNO SÁRA DELMASCHIO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ALTERAÇÃO DO USO E COBERTURA DA
TERRA NA VAZÃO DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Geografia do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Orientador: Professor André Luiz Nascentes Coelho

COMISSÃO EXAMINADORA

André Luiz Nascentes Coelho
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Fábio Luiz Mação Campos
Instituto Federal do Espírito Santo - Vitória

Leonardo Teixeira Alves Gusmão
Universidade Federal do Espírito Santo

Vitória
2025

AGRADECIMENTOS

À Deus, que me fez permanecer de pé nessa batalha.

Aos meus pais, minha base e principais incentivadores, sem os quais não teria chego até aqui.

Ao meu orientador, Professor André Luiz Nascentes Coelho, pelos ensinamentos e por acreditar,

desde o início, em meu potencial.

Ao Professor Fábio Luiz Mação Campos pelo auxílio com o uso do SWAT+.

Aos amigos que compartilharam essa jornada comigo, nos bons e maus momentos.

À mim, por tornar isso realidade.

Uso da modelagem hidrológica para análise da influência da alteração do uso e cobertura da terra na vazão de uma bacia hidrográfica

Hydrological Modeling for Assessing the Impact of Land Use and Land Cover Change on Watershed Streamflow

RESUMO

A Mata Atlântica, bioma que até alguns séculos atrás recobria o Estado do Espírito Santo em sua totalidade, encontra-se hoje extremamente fragmentada por todo o território capixaba, fruto de sucessivos processos de desmatamento. Apesar disso, na região Serrana do Estado, ainda é possível encontrar porções significativas dessa vegetação e o município de Santa Teresa tem destaque nesse aspecto. No entanto, nos últimos anos, tem-se observado um aumento no desmatamento em áreas de formação florestal nativa na região para dar lugar a loteamentos onde são construídas chácaras e condomínios privados, sobretudo nas partes altas do relevo local. Essas alterações no uso e cobertura da terra tendem a afetar a dinâmica hidrológica das bacias hidrográficas, podendo acarretar prejuízos ambientais e socioeconômicos. Neste estudo, pretendeu-se analisar a influência da alteração do uso e cobertura da terra entre os anos de 1990 e 2022 nas vazões da bacia do Ribeirão Sauanha, cujo curso principal corta a sede do município de Santa Teresa. Para isso, fez-se uso da modelagem hidrológica utilizando o SWAT+, um modelo semi-distribuído que permite criar cenários modificando vários componentes, dentre eles o uso da terra. Os resultados mostraram que o modelo teve sensibilidade às pequenas mudanças no uso e cobertura da bacia e que a forte presença da vegetação têm impacto direto na hidrologia da bacia.

Palavras-chave: Modelagem Hidrológica. Recursos Hídricos. Bacia Hidrográfica. Uso e cobertura da terra. Mata Atlântica.

ABSTRACT

The Mata Atlântica (Atlantic Forest biome), a biome that, until a few centuries ago, entirely covered the state of Espírito Santo, is currently highly fragmented throughout the state's territory as a result of successive deforestation processes. Nevertheless, significant remnants of this vegetation can still be found in the mountainous region, with the municipality of Santa Teresa standing out in this context. In recent years, however, there has been a noticeable increase in the deforestation of native forest formations in the region, driven by the expansion of residential subdivisions — particularly rural estates and private condominiums — mostly located in elevated areas of the terrain. Such changes in land use and land cover tend to influence the hydrological dynamics of watersheds, potentially leading to environmental and socio-economic impacts.

This study aimed to analyze the influence of land use and land cover changes between 1990 and 2022 on the streamflow of the Ribeirão Sauanha watershed, whose main channel passes through the urban center of Santa Teresa. For this purpose, hydrological modeling was carried out using the SWAT+ model, a semi-distributed tool that enables the simulation of scenarios by altering several components, including land use. The results demonstrated that the model is sensitive to subtle changes in land use and land cover within the watershed, and that the substantial presence of vegetation directly affects the basin's hydrology.

Keywords: Hydrological Modeling. Water Resources. Watershed. Land Use and Land Cover. Mata Atlântica.

1 Introdução

O município de Santa Teresa, situado na região serrana do Estado do Espírito Santo, abriga em seu território uma expressiva parcela de formações florestais da Mata Atlântica, sendo uma referência na preservação do bioma à nível estadual, com destaque para o Parque Natural Municipal de São Lourenço, a Estação Biológica de Santa Lúcia e a Reserva Biológica Augusto Ruschi. Contudo, processos de desflorestamento na região vêm sendo noticiados nos últimos anos, como mostram as reportagens do Jornal A Gazeta (2020; 2022), onde é denunciado que a derrubada da mata se dá de forma ilegal, para fins loteamentos e construção de chácaras, com ênfase para regiões turísticas, como a do Caravaggio, próximo ao centro da cidade. A ocorrência dessas mudanças na paisagem enquadra-se como alterações no uso e cobertura da terra e tem repercussões em diversos aspectos socioambientais.

Dentre as diversas classes de uso e cobertura, a formação florestal é costumeiramente a mais impactada pelas ações antrópicas, sobretudo devido ao desmatamento. A existência da cobertura florestal tende a exercer um papel fundamental no ciclo hidrológico, como demonstrado por Marchioro et al. (2011), em estudo que evidenciou que áreas com a presença da Mata Atlântica favorecem a infiltração de água no solo e atenuam o escoamento superficial, um dos fatores responsáveis por processos de erosão e assoreamento.

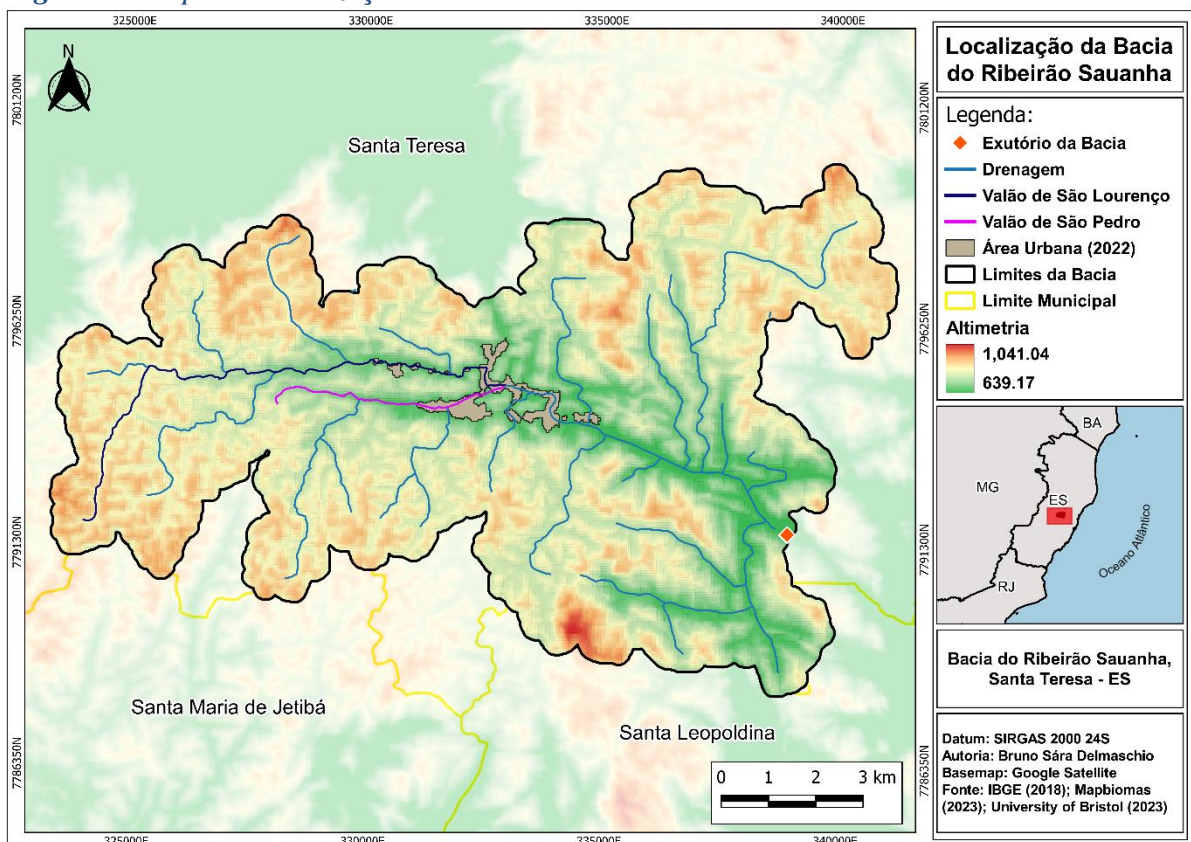
As alterações no uso e cobertura da terra são, em sua maioria, resultado de ações antropogênicas para satisfazer objetivos imediatos (Choto et al., 2019) e tendem a influenciar diretamente a dinâmica hidrológica da bacia hidrográfica (LETA et al., 2017).

Portanto, é de suma importância avaliar o impacto dessas mudanças, visto que podem afetar fatores como o escoamento superficial, a recarga das águas subterrâneas, os picos de vazão e as relações infiltração-escoamento (LETA et al., 2017; CARVALHO et al., 2022). Em uma bacia hidrográfica, a ocorrência desses processos pode levar à escassez de água, ao risco de enchentes e inundações, à degradação dos solos, à perda de biodiversidade, entre outros problemas socioambientais (TUMSA, 2023).

1.1 Área de Estudo

A área de estudo deste trabalho é a Bacia do Ribeirão Sauanha, localizada no município de Santa Teresa, na região Serrana do Estado do Espírito Santo. A bacia, que possui aproximadamente 127 km², é drenada pelo rio de mesmo nome e tem uma amplitude altimétrica de 402 m, variando entre 639 m na parte mais baixa e chegando até 1.041 m nas partes mais elevadas do relevo, como pode ser visto na Figura 1 abaixo. A sede do município de Santa Teresa está situada na porção central. Cabe salientar que a bacia foi delimitada a montante da estação fluviométrica escolhida como exutório, conforme descrito na seção Materiais e Métodos.

Figura 1: Mapa de localização da Bacia do Ribeirão Sauanha



Fonte: Elaborado pelo autor. (2025)

Ribeirão Sauanha é o nome dado ao trecho de drenagem originado no encontro dos córregos Valão de São Lourenço e Valão de São Pedro, na altura do Centro do município de Santa Teresa (Figura 2). Este, por sua vez, é tributário do Rio Reis Magos, também conhecido como Rio Fundão, na divisa entre os municípios de Serra e Fundão.

Figura 2: Registros fotográficos de campo. Imagem 1: encontro dos córregos (a) Valão de Pedro e (b) Valão de São Lourenço. Imagem 2: Ribeirão Sauanha na altura do Centro de Santa Teresa. Nov/2023. Setas indicam a direção do fluxo de água



Fonte: Registro do autor. (2023)

2 Objetivos

Este estudo tem por objetivo geral, simular os impactos das alterações no uso e cobertura da terra sobre as vazões da bacia hidrográfica do Ribeirão Sauanha, no município de Santa Teresa – ES, por meio da modelagem hidrológica com o SWAT+ (Soil and Water Assessment Tool Plus), utilizando dados de uso e cobertura da terra obtidos por Sensoriamento Remoto entre os anos de 1990 e 2022.

2.1 Objetivos Específicos:

- Gerar produtos cartográficos para a bacia com base nos dados processados em SIG;
- Quantificar e analisar as alterações no uso e cobertura da terra da bacia nos anos analisados;
- Avaliar a influência da alteração do uso e cobertura da terra na vazão da bacia hidrográfica por meio da modelagem hidrológica;
- Avaliar a sensibilidade do modelo hidrológico às mudanças no uso e cobertura da terra entre os diferentes anos simulados e verificar sua adequação;
- Fornecer subsídio metodológico à pesquisas sobre impactos causados na dinâmica hidrológica por alterações feitas sobre o uso e cobertura da terra de uma bacia hidrográfica.

Diante desses objetivos, espera-se verificar o grau de perda de cobertura vegetal na bacia no período analisado e quantificar a influência desse processo nas vazões dos cursos hídricos, contribuindo para um melhor entendimento da relação entre o uso e cobertura da terra e a dinâmica hidrológica.

3 Embasamento Teórico

O conceito de uso e cobertura da terra é utilizado para descrever o conjunto de informações obtidas a partir da análise da dinâmica do território em termos dos processos de ocupação, da utilização da terra e de suas transformações (IBGE, 2024) e, segundo Altmann et al. (2009), configura um elo entre as informações dos meios biofísicos e socioeconômicos. De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2016), o uso da terra pode ser entendido como a forma pela qual o espaço geográfico é ocupado pelo homem, destacando também sua influência nos recursos naturais. Nas últimas décadas, o mapeamento do uso e cobertura da terra tem sido feito, sobretudo, com o uso de imagens de satélite.

Diferente das alterações no relevo e na composição dos solos, que geralmente levam milhares e até milhões de anos para ocorrer, as mudanças no uso e cobertura da terra acontecem em um intervalo de tempo mais curto, podendo abranger desde variações sazonais nas características da cobertura terrestre até transformações de longo prazo causadas por diversas atividades humanas, como urbanização, desmatamento e conversão para áreas agrícolas (KHADKA et al., 2023). De acordo com Shrestha et al. (2018), os impactos das mudanças climáticas sobre a qualidade das águas são ampliados quando cenários de alteração do uso e cobertura da terra são considerados em conjunto. Essa constatação demonstra a relevância do tema no contexto emergente das mudanças climáticas.

A expansão urbana e a conversão de áreas florestais para pastagens e agricultura são algumas das principais formas de alteração do uso e cobertura da terra, acarretando a degradação dos ecossistemas (RUDEL et al., 2019). Isso é um problema porque áreas com cobertura florestal apresentam maior capacidade de retenção de água. Nesses locais, tende a ocorrer maior evapotranspiração devido à interceptação das gotas de chuva pelas copas das árvores, além do favorecimento dos processos de infiltração e percolação de água no solo devido ao fluxo da água pelo tronco e acúmulo na serrapilheira (COELHO NETTO, 1994). Esses fatores reduzem o escoamento total (anual) da bacia e possibilitam o abastecimento dos aquíferos. Por outro lado, a urbanização reduz a infiltração e aumenta o escoamento em magnitude e tempo (KHADKA et al., 2023). Esses fatores podem acarretar distúrbios e alterações a longo prazo no regime das chuvas.

Portanto, a vegetação exerce um papel fundamental na regulação da dinâmica hidrológica de uma bacia hidrográfica (AMIRI et al., 2023). Estudos recentes mostram que áreas com cobertura vegetal densa apresentam menor escoamento superficial e maior infiltração, resultando em uma vazão mais estável e em uma redução do risco de assoreamento (LUO et al., 2020). Essa regulação é crucial para mitigar enchentes, pois a vegetação ajuda a absorver e reter água, evitando picos rápidos de escoamento que podem levar a inundações (TAMURA, 2022). Além disso, a falta de vegetação pode resultar em menor disponibilidade de água no solo, exacerbando problemas como a escassez hídrica e a degradação dos recursos hídricos (LOPES, 2022).

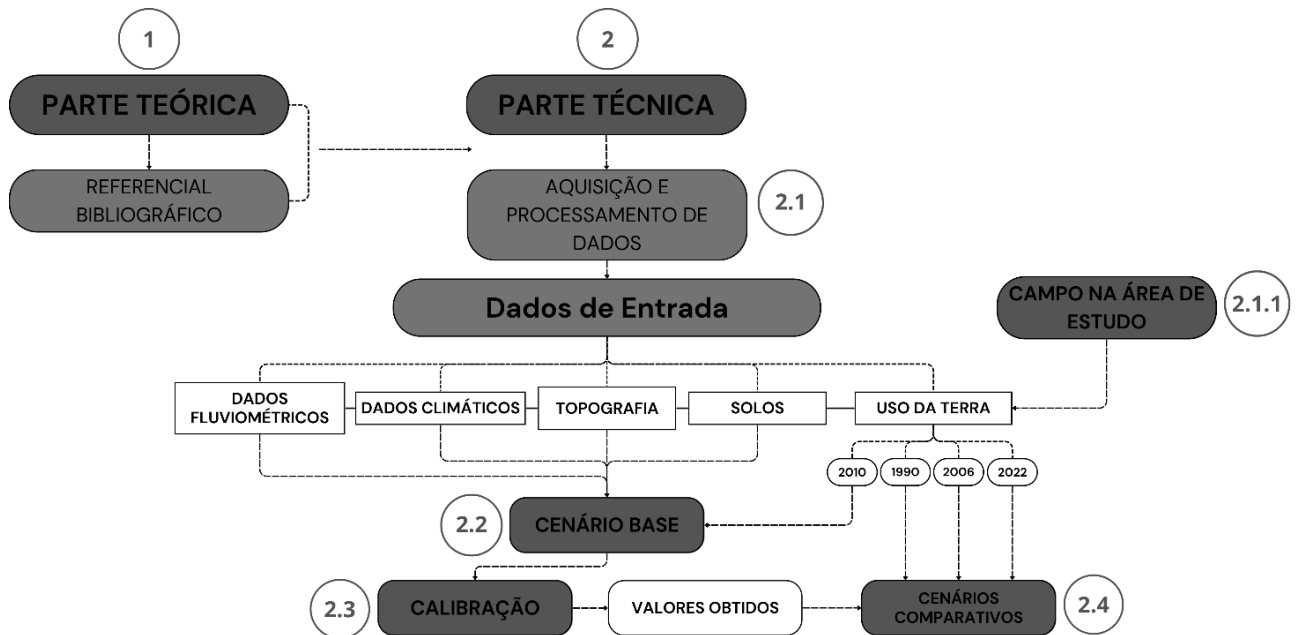
Dentre as formas de avaliação dos efeitos das alterações no uso e cobertura da terra, a modelagem hidrológica configura-se como uma importante ferramenta de auxílio nas análises necessárias. Para Campos e Coelho (2022), os modelos hidrológicos auxiliam na tomada de decisões e podem direcionar melhor o planejamento para territórios delimitados politicamente ou naturalmente, como as bacias hidrográficas. O entendimento do comportamento temporal e espacial da vazão hídrica e da dinâmica dos sedimentos é crucial para o planejamento hídrico e ambiental. Nesse sentido, os modelos hidrológicos podem fornecer suporte à tomada de decisões em diversos projetos (CAMPOS et al., 2024).

O modelo hidrológico SWAT e sua versão mais recente, o SWAT+ (Soil and Water Assessment Tool) têm sido amplamente difundidos e permitem agregar informações espaciais e temporais para simular processos operantes em bacias hidrográficas, como vazões e produção de sedimentos (Mosbahi et al., 2023). Diversos autores, como Kumar et al. (2022), Ayele et al. (2023) e Mosbahi et al. (2023), utilizaram o SWAT em estudos que visavam avaliar os efeitos das alterações no uso e cobertura da terra em bacias hidrográficas ao longo de certos períodos.

4 Materiais e Métodos

A metodologia adotada nesta pesquisa foi estruturada em duas fases principais: teórica e técnica. A fase teórica teve como objetivo fornecer embasamento conceitual ao estudo, enquanto a fase técnica compreendeu a aplicação prática dos procedimentos metodológicos. Esta última foi subdividida em quatro etapas principais, conforme ilustrado de forma esquemática na Figura 3, a seguir.

Figura 3: Síntese das principais etapas da pesquisa



Elaborado pelo autor. (2025)

A primeira fase consistiu em uma revisão bibliográfica, com o objetivo de fornecer embasamento teórico à pesquisa. Essa etapa envolveu a consulta a periódicos, livros, artigos e teses relacionados ao referencial teórico do estudo.

A segunda fase correspondeu à parte técnica da pesquisa, e compreendeu as etapas de aquisição e processamento dos dados necessários à modelagem hidrológica, além da realização de uma visita de campo para averiguação das características da bacia. Essa fase incluiu a coleta e o tratamento de dados fluviométricos, topográficos, pedológicos, climáticos e de uso e cobertura da terra, utilizados para a construção do cenário base. Posteriormente, foi realizada a calibração do modelo, seguida pela simulação e comparação entre os diferentes cenários.

Para a execução da modelagem hidrológica, foi utilizado o modelo SWAT+ (*Soil and Water Assessment Tool Plus*) desenvolvido pela Texas A&M University em parceria com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) e que foi aplicado através do plugin QSWAT+ no QGIS. A seguir são descritas as etapas mencionadas.

Dados fluviométricos: Inicialmente, a metodologia empregada neste estudo compreende a identificação de estações fluviométricas com registros históricos de, no mínimo, oito anos de dados disponíveis. Essa busca foi realizada para o Estado do Espírito Santo utilizando o mapa de estações da plataforma HidroWeb da ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico), que forneceu

acesso à localização das estações e às suas séries históricas. A estação fluviométrica identificada pelo código 57040008, operada pelo CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), atual Serviço Geológico Brasileiro (SGB) e sob responsabilidade da ANA, foi selecionada para a pesquisa e sua localização usada para marcar o exutório da bacia no modelo SWAT+.

Dados Topográficos e Delimitação da Bacia: Para a delimitação da área da bacia, foi utilizado o MDE (Modelo Digital de Elevação) FABDEM, com resolução espacial de 30 metros (Neal; Hawker, 2023). Após a inserção no QSWAT+ e a definição do local do exutório, a delimitação topográfica da bacia e dos principais cursos d'água foi realizada automaticamente.

Dados pedológicos: Os dados pedológicos necessários incluíram o mapa de solos do Espírito Santo, obtido junto ao Portal Geobases (Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo), os pontos de coleta de amostras de solo, disponibilizados pelo GeoInfo, infraestrutura de dados espaciais pertencente à EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) e as tabelas contendo as informações das amostras, obtidas no Banco de Dados de Solos (BDSolos) da EMBRAPA.

Nesta etapa, os pontos de coleta de solo foram sobrepostos ao mapa pedológico e à área da bacia, permitindo a identificação das amostras de interesse. Em seguida, foram coletadas as informações técnicas sobre as amostras representativas dos tipos de solos presentes na bacia.

Dados climáticos: No QGIS, foram identificadas as estações climáticas e pluviométricas localizadas dentro da área da bacia e em um raio de até dois quilômetros desta, utilizando um arquivo vetorial obtido junto à ANA. Dentre essas estações, foram selecionadas apenas aquelas que apresentavam séries históricas consistentes no período de 1990 a 2020, totalizando 31 anos, conforme recomendação da Organização Meteorológica Mundial (OMM) para o cálculo de normais climatológicas.

Dados de uso e cobertura: Para a classificação do uso e cobertura na bacia, foram utilizados dados obtidos na plataforma Mapbiomas. Para a análise, foram selecionados três anos representativos: 1990, 2006 e 2022, cobrindo o início, meio e fim do período de estudo. Em seguida, foram elaboradas planilhas com as classes de uso e cobertura e arquivos raster para serem usados como entrada no modelo.

A calibração do modelo foi realizada a partir da criação de um cenário que utilizou dados de uso e cobertura da terra referentes a um ano dentro do período de estudo, com o objetivo de comparar os resultados com os registros de vazão da estação fluviométrica selecionada. Considerando que os dados mais consistentes dessa estação abrangem o período entre 2004 e 2014, e levando em conta a recomendação de Arnold et al. (2012) de aplicar um período de aquecimento de três anos para estabilizar as variáveis internas do modelo, a simulação foi conduzida entre 2007 e 2014. Para a calibração, foi escolhido o ano de 2010 como **cenário base**.

Após a inserção do conjunto de dados no modelo e a criação do cenário base, foi utilizado o RSWAT 3.1 (Nguyen et al., 2022) dentro do RStudio para a seleção dos parâmetros e calibração dos valores, conforme detalhado na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1: Valores adequados para a calibração

Parâmetro	Valor adequado
cn2	0.001
canmx	2.842
esco	0.876
perco	0.621
lat_ttime	0.762
cn3_swf	0.799
epco	0.121
flo_min	16.787
revap_co	0.088
revap_min	8.479
alpha	0.07
surlag	1.61
awc	0.007

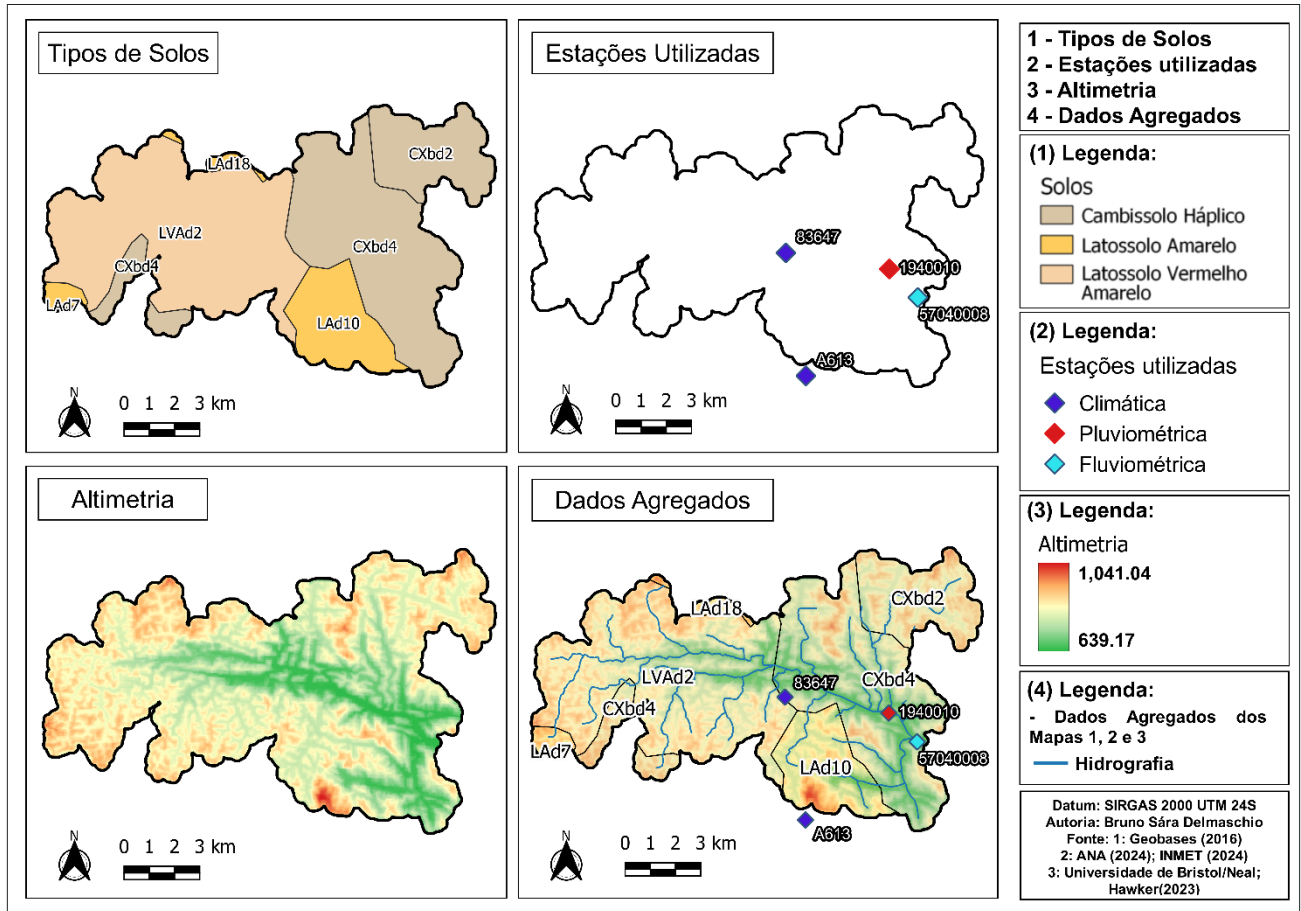
Elaborado pelo autor. (2025)

Esses parâmetros e seus respectivos valores foram utilizados para criar os cenários referentes aos anos de 1990, 2006 e 2022. Vale destacar que, entre essas simulações, o único dado de entrada alterado foi o uso e cobertura da terra, enquanto os demais dados permaneceram padrão. Foram geradas as vazões simuladas tanto para o passo diário quanto para o mensal, com base no uso e cobertura de cada um dos anos mencionados. Por fim, os dados resultantes da simulação foram analisados e comparados com os dados observados e com as características da bacia, cujos resultados podem ser vistos a seguir.

5 Resultados

Produtos cartográficos: A produção cartográfica foi gerada a partir do processamento dos dados em ambiente QGIS e compreende o mapa de solos, o mapa de localização das estações escolhidas e o mapa de altimetria da bacia, que podem ser vistos na Figura 3.

Figura 4: Produtos cartográficos (Solos, Estações e Altimetria)

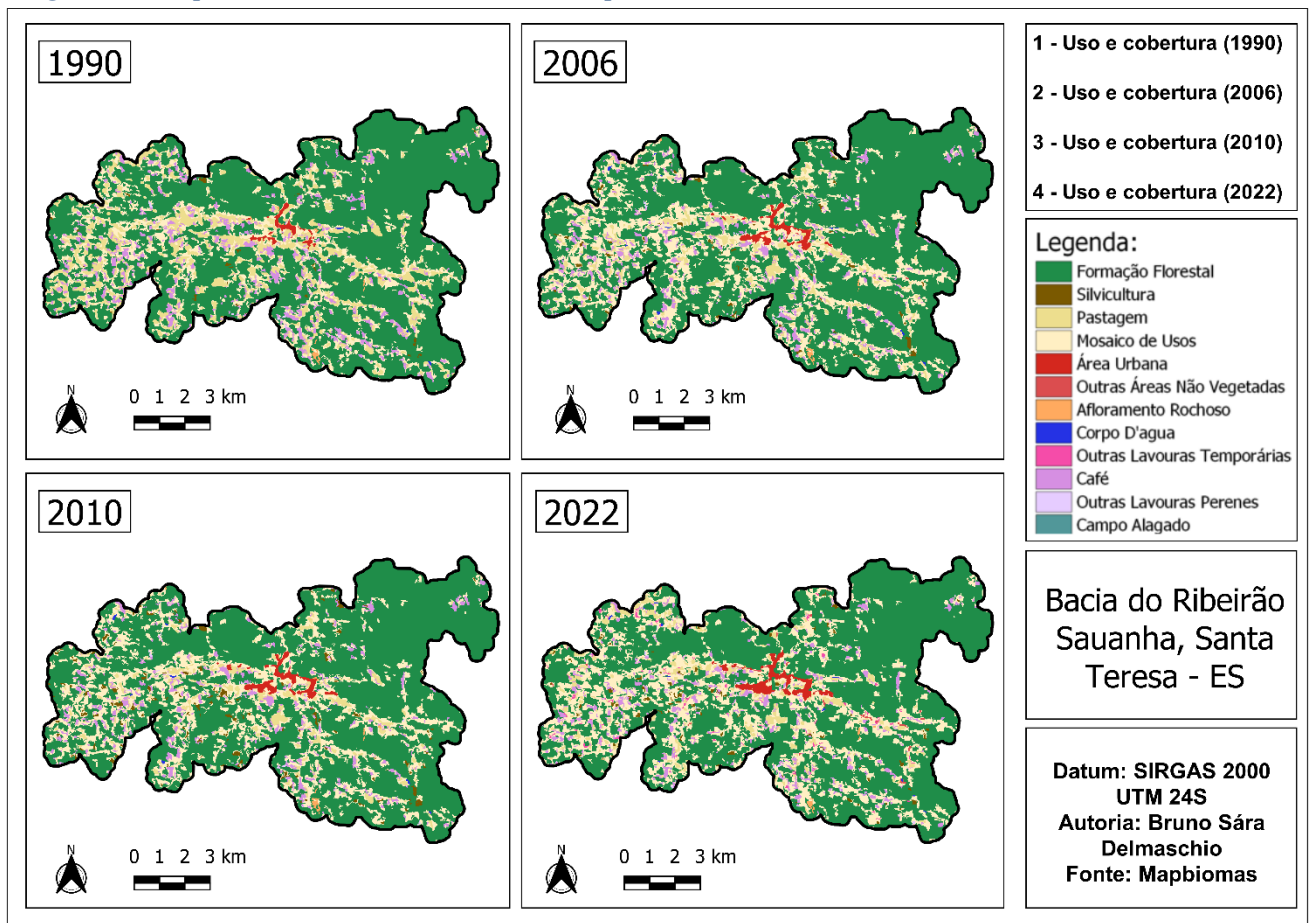


Elaborado pelo autor. (2025)

A análise dos mapas apresentados revela a ocorrência de apenas três tipos de solos na bacia: Latossolos Amarelo e Vermelho-Amarelo, caracterizados por seu bom desenvolvimento, e Cambissolo Háplico, um solo menos desenvolvido. Para a modelagem, foram utilizadas quatro estações: uma fluviométrica (código 57040008), uma pluviométrica (código 1940010) e duas climáticas (códigos 83647 e A613), sendo que esta última está localizada fora dos limites da bacia. A altimetria da bacia varia de 639,17 m no ponto mais baixo a 1.041,04 m na área mais elevada.

Também foram gerados mapas de uso e cobertura da terra para os anos de 1990, 2006, 2010 e 2022, apresentados na Figura 5. Na escala de mapeamento utilizada, com dados em formato raster e resolução espacial de 30m, as alterações no uso e cobertura da bacia, especialmente na classe de maior interesse nesta pesquisa, Formação Florestal, não foram visualmente tão significativas.

Figura 5: Mapas de uso e cobertura da terra para os anos de análise selecionados



Elaborado pelo autor. (2025)

Quantificação da alteração ocorrida no uso e cobertura da terra: A Tabela 2 apresenta um comparativo das áreas ocupadas por cada classe de uso e cobertura registrado na bacia do Ribeirão Sauanha, em quilômetros quadrados, nos anos de análise da pesquisa. As classes de uso e cobertura da terra adotadas neste trabalho seguem a nomenclatura oficial definida pelo projeto Mapbiomas.

É importante destacar que a classe Outras Lavouras Temporárias aparece apenas nos anos de 2006 e 2022 e a classe Campo Alagado, apenas em 2022. Essas variações são decorrentes do critério adotado na classificação das imagens pelo Mapbiomas.

Tabela 2: Comparativo da área (em km²) de cada classe de uso e cobertura mapeado na bacia pelo Mapbiomas

1990		2006		2010		2022	
Classe	Área km ²	Classe	Área km ²	Classe	Área km ²	Classe	Área km ²
Outras Áreas Não Vegetadas	0.02%	Outras Áreas Não Vegetadas	0.05%	Outras Áreas Não Vegetadas	0.02%	Outras Áreas Não Vegetadas	0.21%
Corpo D'água	0.04%	Corpo D'água	0.09%	Corpo D'água	0.08%	Corpo D'água	0.09%
Afloramento Rochoso	0.18%	Afloramento Rochoso	0.16%	Afloramento Rochoso	0.15%	Afloramento Rochoso	0.12%
Outras Lavouras Perenes	0.15%	Outras Lavouras Perenes	0.16%	Outras Lavouras Perenes	0.15%	Outras Lavouras Perenes	0.19%
Silvicultura	0.25%	Silvicultura	0.70%	Silvicultura	1.53%	Silvicultura	0.77%
Área Urbana	0.48%	Área Urbana	0.88%	Área Urbana	0.99%	Área Urbana	1.26%
Café	6.01%	Café	4.62%	Café	4.26%	Café	4.22%
Pastagem	11.25%	Pastagem	3.99%	Pastagem	3.17%	Pastagem	3.66%
Mosaico de Usos	14.25%	Mosaico de Usos	21.66%	Mosaico de Usos	20.23%	Mosaico de Usos	23.03%
Formação Florestal	67.37%	Formação Florestal	67.68%	Formação Florestal	69.42%	Formação Florestal	65.98%
		Outras Lavouras Temporarias	0.01%			Outras Lavouras Temporarias	0.47%
						Campo Alagado	0.001%

Fonte: Mapbiomas. Elaborado pelo autor. (2025)

A análise da tabela permite verificar que a classe Mosaico de Usos, que se caracteriza pela indistinção de pastagens e áreas agrícolas, foi a que apresentou maior crescimento absoluto de área no período, somando quase 12 km², um crescimento de 61%, ou 9% em relação à área total, entre os anos de 1990 e 2022. Vale destacar que, por ocorrerem em regiões ainda não urbanizadas, os loteamentos da bacia tendem a ser mapeados nessa classe. A área urbana da bacia quase triplicou em área.

A classe Formação Florestal atingiu o maior valor no período no ano de 2010, onde possuía quase 88 km², representando 69.4% da área total da bacia, reduzindo para 84 km² (66% da área total) em 2022, uma redução de mais de 3%. Esse declínio ocorre justamente no período em que houve aumento no número de denúncias a respeito da derrubada ilegal da vegetação na região.

Uma visita de campo realizada em novembro de 2023 confirmou a ocorrência de loteamentos próximos a zonas vegetadas na bacia, conforme pode ser visto na Figura 6.

Figura 6: Registros fotográficos de campo evidenciando loteamentos e chácaras na região próximos a áreas de mata. Nov/2023



Fonte: Registro do autor. (2023)

Ainda assim, de maneira geral, a bacia apresenta-se bem vegetada, o que também pôde ser constatado durante a visita de campo. Ressalta-se que esta pesquisa não teve como objetivo identificar a legalidade dos empreendimentos presentes na área, sendo o trabalho de campo realizado com o propósito de observar e caracterizar as classes de uso e cobertura da terra na bacia.

Durante essa visita, também foi possível constatar que, de maneira geral, os locais mapeados como pertencentes à classe Solo Exposto apresentam uma configuração efêmera, pois, em muitos casos, tratam-se de áreas sendo preparadas para plantio, onde o solo se encontra nu e revirado por determinado período. Esta característica é observada não apenas na bacia do Ribeirão Sauanha, como também em grande parte da Região Serrana do Estado, principalmente devido à presença significativa de pequenas propriedades rurais e à forte prática da agricultura familiar. Contudo, para fins de modelagem hidrológica, a classe Solo Exposto foi mantida quantitativamente inalterada.

Modelagem Hidrológica: A partir da obtenção dos índices de performance, como o Coeficiente de Determinação (R^2), o Coeficiente de Eficiência do Modelo de Nash-Sutcliffe (NSE), a Raiz do Erro Quadrático Médio (RSR) e o Percentual de Viés (PBias), foi possível avaliar o nível de confiabilidade das simulações realizadas. A Tabela 3 apresenta as faixas de adequação dos valores desses índices.

Tabela 3: Índices de performance de modelos hidrológicos

Classificação	R^2	NSE	RSR	Pbias
Muito Bom	> 0.8	> 0.75	< 0.5	< 10
Bom	0.7 a 0.8	0.65 a 0.75	0.5 a 0.6	10 a 15
Satisfatório	0.5 a 0.7	0.5 a 0.65	0.6 a 0.7	15 a 25
Insatisfatório	< 0.5	< 0.5	> 0.7	> 25

Fonte: Adaptado de Leta *et al.* (2023).

A partir da correlação entre os valores obtidos na simulação para o cenário base e as faixas indicadas na Tabela 3, pode-se estabelecer que, tanto para o passo diário, quanto para o passo mensal, obteve valores satisfatórios em todos os índices para para o cenário base (2010), conforme pode ser verificado na Tabela 4.

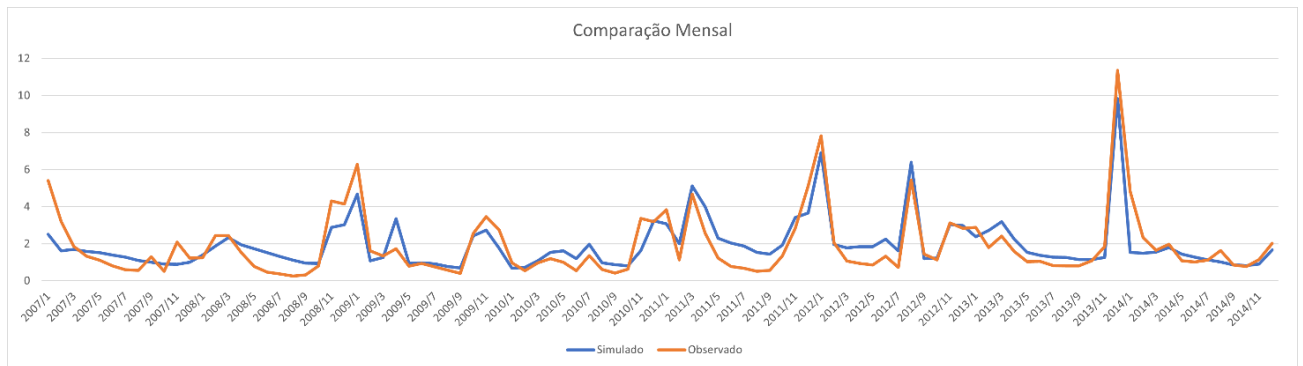
Tabela 4: Índices de eficiência obtidos após a calibração (Cenário Base)

Índice de performance do modelo	Valores calibração mensal	Classificação	Índice de performance do modelo	Valores calibração diária	Classificação
R ²	0.76	Bom	R ²	0.58	Satisfatório
NSE	0.6	Satisfatório	NSE	0.55	Satisfatório
RSR	0.63	Satisfatório	RSR	0.67	Satisfatório
Pbias	20.43	Satisfatório	Pbias	20.51	Satisfatório

Elaborado pelo autor. (2025)

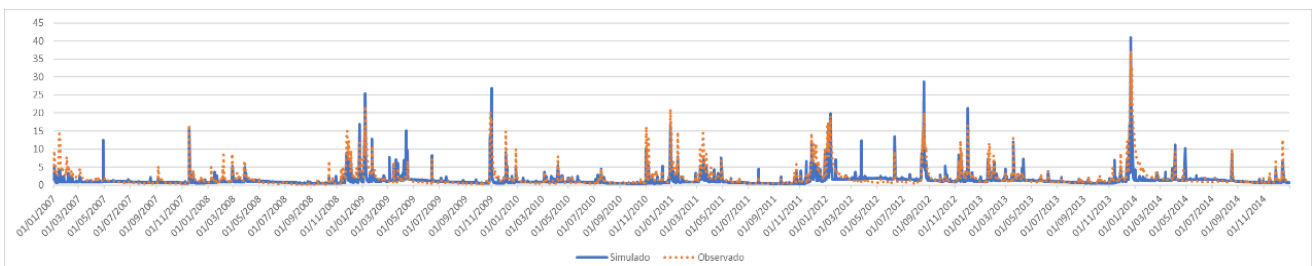
As simulações realizadas para o cenário base (2010) podem ser visualizadas graficamente na Figura 7, para o passo mensal, e na Figura 8, para o passo diário. Em ambas, a linha azul representa a vazão simulada, enquanto a linha laranja representa a vazão observada.

Figura 7: Valores de vazão médios mensais simulados pelo modelo e observados



Elaborado pelo autor. (2025)

Figura 8: Valores de vazão médios diários simulados pelo modelo e observados



Elaborado pelo autor. (2025)

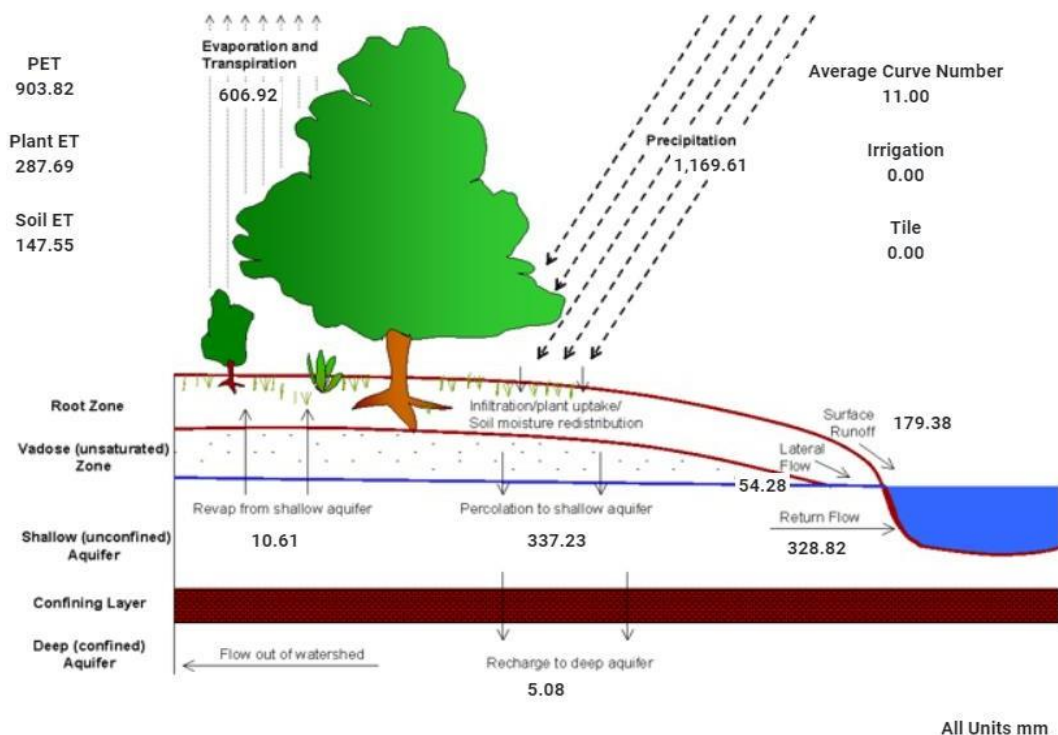
A análise dos gráficos e dos índices permite avaliar a simulação como adequada à representação das vazões na bacia. No gráfico mensal, os valores simulados ajustaram-se bem aos dados observados, acompanhando o tempo de ocorrência da maioria dos picos de vazão.

No gráfico de vazões diárias o modelo também obteve representação satisfatória na comparação entre as vazões simuladas e observadas. Observa-se que os maiores picos de vazão no período foram superestimados e alguns dos picos intermediários foram subestimados.

De maneira geral, o SWAT+ apresentou bom desempenho e a modelagem pode ser considerada satisfatória, tendo em vista sobretudo a escassez de dados climáticos e fluviométricos na área de estudo.

Resposta hidrológica da bacia: Outro importante resultado gerado pelo modelo é o SWAT+ Check, que permite analisar, entre outros dados, a resposta hidrológica da bacia no cenário modelado. A Figura 9, apresentada abaixo, foi gerada para o cenário base, utilizando o uso e cobertura da terra do ano de 2010.

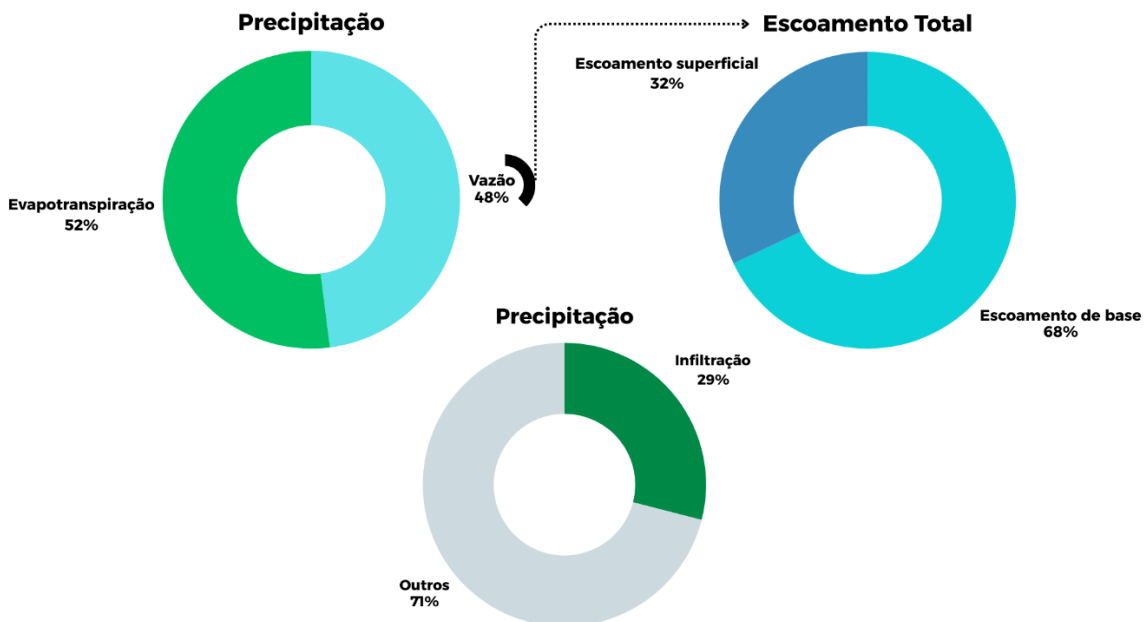
Figura 9: Esquema gerado pelo SWAT+ Check representando a resposta hidrológica da bacia na simulação realizada para o cenário base



Fonte: SWAT+.

Ao analisar os dados, verifica-se que 52% da precipitação é transformada em evapotranspiração e que 48% é convertida em vazão, sendo 68% dessa vazão total proveniente do escoamento de base e apenas 32% do escoamento superficial, o que se relaciona fortemente à grande proporção de formações florestais na bacia, correspondendo a aproximadamente 69.4% da área total em 2010. Observa-se também que 29% da precipitação total infiltra no solo. Esses valores podem ser vistos nos gráficos da Figura 10, abaixo.

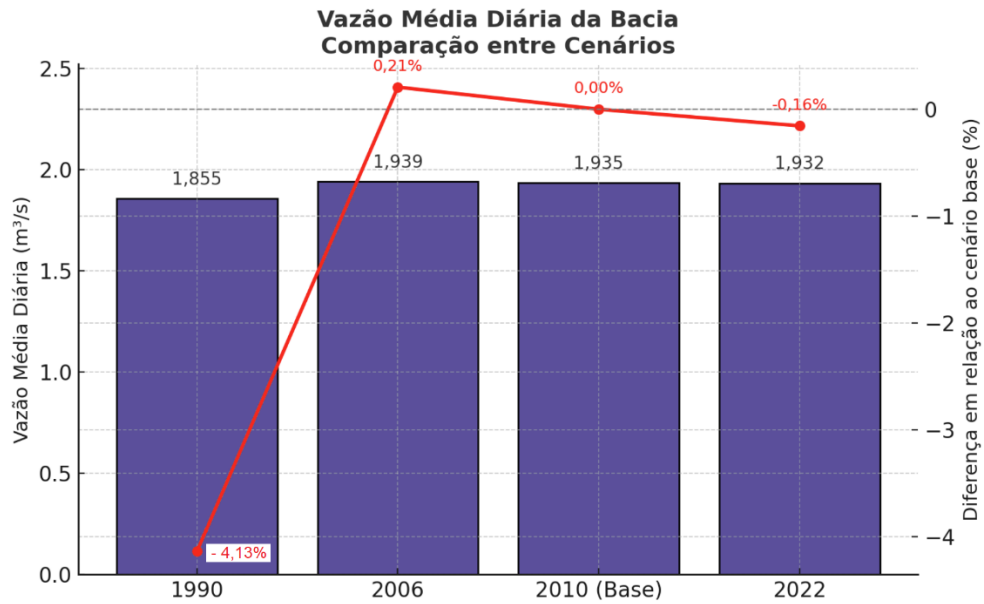
Figura 10: Gráficos representativos da resposta hidrológica da bacia (SWAT+ Check)



Fonte: SWAT+.

Comparação das vazões médias diárias: A Figura 11, abaixo, apresenta um comparativo dos valores de vazão média diária em cada um dos cenários simulados. A análise do gráfico permite inferir que as alterações no uso e cobertura da terra nos anos de 1990, 2006 e 2022 impactaram a vazão média diária da bacia hidrográfica do Ribeirão Sauanha de forma sutil. O cenário com dados do ano de 1990 apresentou a maior redução em relação ao cenário base, com uma diferença negativa de 4,13%, o que pode estar relacionado ao aumento da classe mosaico de usos e queda classe pastagem entre esses anos. Por outro lado, o cenário de 2006 mostrou uma ligeira elevação (0,21%), indicando pouca variação em relação ao cenário base. Já o cenário de 2022 apresentou uma leve redução (-0,16%).

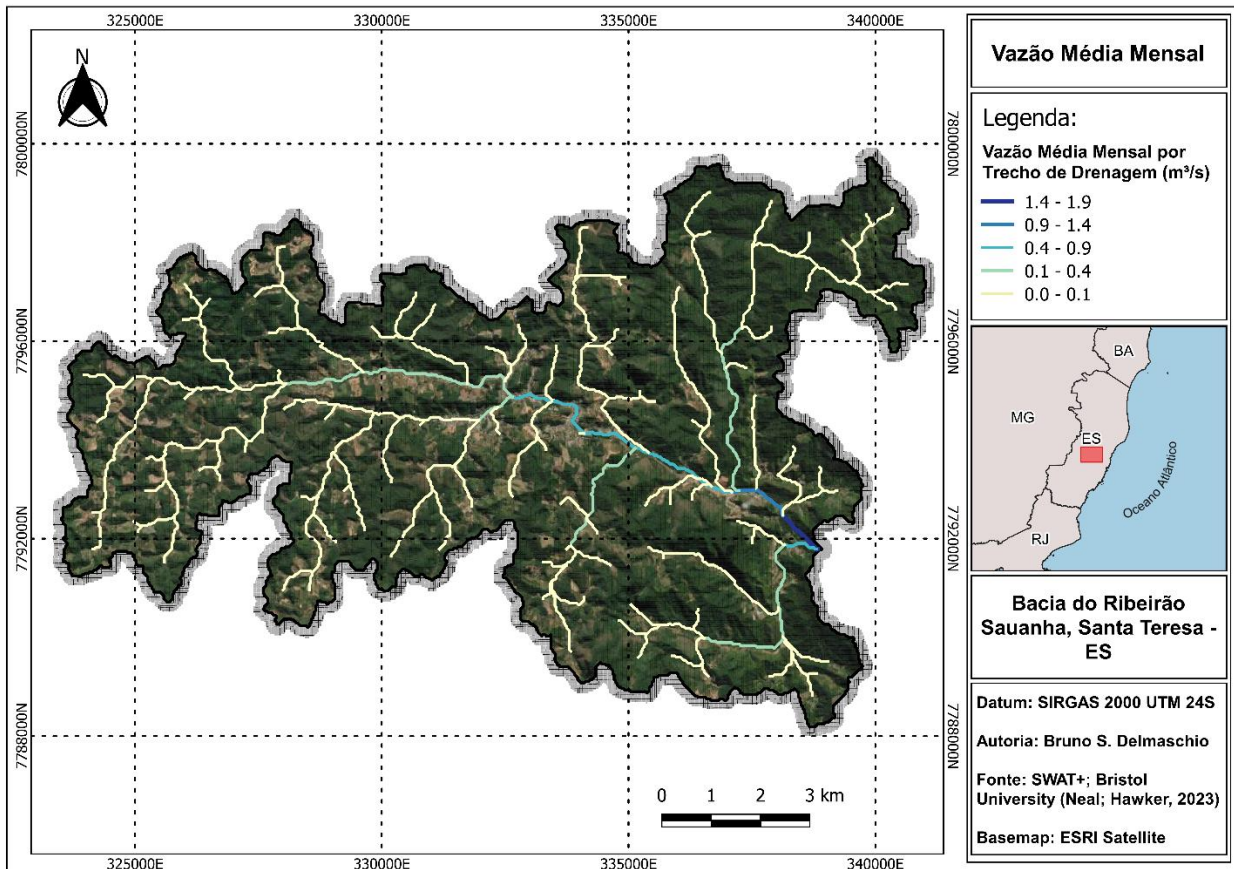
Figura 11: Comparação das vazões médias diárias em relação ao cenário base



Elaborado pelo autor. (2025)

Vazão Média Mensal por Trecho de Drenagem (Cenário Base): A Figura 12 apresenta as médias da vazão média mensal, em m³/s, para cada trecho de drenagem na Bacia do Ribeirão Sauanha, considerando o período simulado entre os anos de 2007 e 2014.

Figura 10: Vazão total acumulada no período de 2007 a 2014 no cenário base



Elaborado pelo autor. (2025)

A análise do mapa permite identificar que a maior vazão média ocorre no curso principal da malha de drenagem. A junção dos valões de São Pedro e São Lourenço, onde se forma o Ribeirão Sauanha, na região central da cidade de Santa Teresa, enquadra-se na faixa de 0.4 a 0.9 m³/s. Os maiores valores de vazão são observados próximos ao exutório da bacia, atingindo a faixa de 1.4 a 1.9 m³/s.

6 Considerações Finais

A realização de um estudo envolvendo a análise temporal das alterações ocorridas no uso e cobertura da terra em uma bacia hidrográfica e a quantificação dos percentuais de mudança para cada classe de uso configura-se como de extrema importância na tentativa de entender as transformações na paisagem e propor formas de gestão da ocupação da bacia que sejam sustentáveis, visando melhorar a disponibilidade e qualidade das águas, assim como mitigar os impactos de eventos extremos de precipitação, que podem causar inundações em áreas habitadas, trazendo prejuízos socioeconômicos para a região.

A escolha de uma bacia que apresentou poucas alterações no uso e cobertura da terra ao longo do período analisado permitiu testar a sensibilidade do modelo em relação ao processo definido pela metodologia. É importante observar que o percentual de alteração do uso e cobertura da terra é diretamente influenciado pela resolução do mapeamento adotado, uma vez que pequenas mudanças na paisagem podem ser generalizadas conforme a escala utilizada.

Ressalta-se a importância da realização da visita de campo na execução da pesquisa geográfica, uma vez que ela otimiza a visualização e análise das características da área de estudo, permite a verificação dos dados processados e proporciona novas constatações e perspectivas, aproximando o pesquisador de seu objeto de estudo.

A partir da análise conjunta entre os dados de uso e cobertura da terra e as constatações realizadas em campo, é possível afirmar que a bacia hidrográfica do Ribeirão Sauanha apresenta sua área de formação florestal bem preservada, representando quantitativo expressivo da bacia. Apesar disso, observa-se uma diminuição dessa classe no período compreendido entre os anos de 2010 e 2022.

Destaca-se que a vegetação citada é em grande parte Mata Atlântica, bioma que se encontra extremamente ameaçado, o que evidencia ainda mais a importância da conservação da bacia.

A influência da vegetação na dinâmica hidrológica da bacia é positiva, visto que, como demonstrado pelos resultados, boa parte da água precipitada infiltra no solo, contribuindo entre outros, para o abastecimento do aquífero.

A variação das vazões médias entre os cenários foi pequena e, de maneira geral, o SWAT+ mostrou-se apto a realizar as simulações para a bacia, obtendo índices satisfatórios em praticamente todas as simulações, sem nenhum índice insatisfatório. Dessa forma, a metodologia pode ser considerada válida para representação dos objetivos propostos nesta pesquisa.

A escassez de dados meteorológicos na região representou um obstáculo para o abastecimento do modelo. Para fomentar futuras pesquisas, seria fundamental expandir a rede de coleta de dados climáticos, pluviométricos e fluviométricos, tanto em quantidade quanto em qualidade. Essa ampliação permitiria uma melhor cobertura espacial e temporal, aumentando a precisão dos dados disponíveis e possibilitando análises mais robustas e confiáveis.

Destaca-se o uso de dados livres e gratuitos no desenvolvimento de toda a pesquisa, facilitando que sua metodologia e apontamentos sejam utilizados em outros trabalhos alinhados ao tema. Reafirma-se assim a importância e utilidade de dados de acesso aberto, permitindo que pesquisadores possam desenvolver seus estudos mesmo com pouco ou nenhum orçamento atribuído.

Referências bibliográficas:

A GAZETA. **Desmatamento em Santa Teresa pode afetar abastecimento de água**. 2020. Disponível em: <https://www.agazeta.com.br/es/cotidiano/desmatamento-em-santa-teresa-pode-afetar-abastecimento-de-agua-em11-cidades-1220> . Acesso em: 29 maio 2023.

A GAZETA. **Loteamentos irregulares no ES levam a desmatamento da Mata Atlântica**. 2022. Disponível em: <https://www.agazeta.com.br/es/cotidiano/loteamentos-irregulares-no-es-levam-a-desmatamento-da-mataatlantica-1022>. Acesso em: 29 maio 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Catálogo de metadados da ANA**. Uso da Terra. 2016. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/d56de925-d890-4fc9-8ab1-15ecd1b6d8c7>. Acesso em: 25 maio 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Portal HidroWeb (SNIRH)**. 2023. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 10 dezembro 2023.

ALTMANN, A. L.; ECKHARDT, R. R.; REMPEL, C. Evolução temporal do uso e cobertura da terra - estudo de caso no município de Teutônia - RS - BRASIL. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 61, n. 3, p. 273 – 283, 1 out. 2009. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv61n3-43648> Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/43648>. Acesso em: 20 junho 2023.

AMIRI, S. N.; KHOSHRAVESH, M.; VALASHEDI, R. N. Assessing the effect of climate and land use changes on the hydrologic regimes in the upstream of Tajan river basin using SWAT model. **Applied Water Science**, v. 13, n. 6, p. 130, jun. 2023. DOI: 10.1007/s13201-023-01932-3. Disponível em: <https://www-scopus-com.ez43.periodicos.capes.gov.br/pages/publications/85159857226>. Acesso em: 17 junho 2023.

ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; SRINIVASAN, R.; WILLIAMS, J. R.; HANEY, E. B.; NEITSCH, S. L. **SWAT Input/Output File Documentation: Version 2012**. Temple: USDA Agricultural Research Service, 2012. Disponível em: <https://swat.tamu.edu/media/69296/swat-io-documentation-2012.pdf>. Acesso em: 20 outubro 2024.

AYELE, G. T.; YU, B.; BRUERE, A.; HAMILTON, D. P. Response of streamflow and nutrient loads in a small temperate catchment subject to land use change. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 195, n. 12, p. 1418, dez. 2023. DOI: 10.1007/s10661-023-11828-z. Disponível em: <https://www-scopus-com.ez43.periodicos.capes.gov.br/pages/publications/85175845071>. Acesso em: 15 julho 2023.

CAMPOS, F. L. M.; COELHO, A. L. N. Cartografia do relevo aplicada à alocação de práticas conservacionistas em bacias hidrográficas. Em: SANTOS, F. DOS (Ed.). **Geografia no Século XXI – Volume 8**. [s.l.] Editora Poisson, 2022. DOI: 10.36229/978-65-5866-200-6.CAP.02. Disponível em: https://www.poisson.com.br/livros/geografia/seculo/volume8/GeoSec_vol8.pdf. Acesso em: 18 julho 2023.

CAMPOS, F. L. M.; COELHO, A. L. N.; BRESSIANI, D. A.; CAMPOS, I. C. H. M. Uso do modelo hidrológico SWAT+ para quantificação e espacialização de processos em apoio ao planejamento ambiental. **Revista Pantaneira**, UFMS, v. 24 - 2024, p. 119 - 137, 2024. Disponível em: <https://periodicos.ufms.br/index.php/revpan/article/view/21316>. Acesso em: 14 maio 2023.

CARVALHO, V. S. O.; CUNHA, Z. A. da; ALVARENGA, L. A.; BESKOW, S.; MELLO, C. R. de; MINELLA, A. M.; OLIVEIRA, C. M. M. de. Assessment of land use changes in the Verde River basin using two hydrological models. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 118, p. 103954, out. 2022. DOI: 10.1016/j.jsames.2022.103954. Disponível em: <https://www-scopus-com.ez43.periodicos.capes.gov.br/pages/publications/85135942081>. Acesso em: 12 maio 2023.

COELHO NETTO, A. L. “Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia,” In: A. J. T. Guerra and S. B. Cunha, Eds., **Geomorfologia: Uma Atualizacao de Bases e Conceitos**, Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1994, pp. 93-148.

CHELKEBA TUMSA, B. The Response of Sensitive LULC Changes to Runoff and Sediment Yield in a Semihumid Urban Watershed of the Upper Awash Subbasin Using the SWAT+ Model, Oromia, Ethiopia. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2023, p. 1–18, 31 jan. 2023. DOI: 10.1155/2023/6856144. Disponível em: <https://www-scopus-com.ez43.periodicos.capes.gov.br/pages/publications/85148218106>. Acesso em: 16 junho 2023.

CHOTO, M; FETENE, A. Impacts of land use/land cover change on stream flow and sediment yield of Gojeb watershed, Omo-Gibe basin, Ethiopia. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, [s. l.], v. 14, p. 84–99, 2019. DOI: 10.1016/j.rsase.2019.01.003. Disponível em: <https://www-scopus-com.ez43.periodicos.capes.gov.br/pages/publications/85061809613>. Acesso em: 20 maio 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Banco de dados de solos – BD SOLOS**. 2023. Disponível em: https://www.bdsolos.cnptia.embrapa.br/consulta_publica.html. Acesso em 12 dezembro 2023.

GEOINFO. **Pronasolos**. 2023. Disponível em: https://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Aperfis_pronasolos_20201202v2. Acesso em 12 dezembro 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cobertura e uso da terra**. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/cobertura-e-uso-da-terra.html>. Acesso em: 23 maio 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Portal INMET**. 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br>. Acesso em: 10 dezembro 2023.

KHADKA, D.; BABEL, M. S.; KAMALAMMA, A. G. Assessing the Impact of Climate and Land Use Changes on the Hydrologic Cycle Using the SWAT Model in the Mun River Basin in Northeast Thailand. **Water**, v. 15, n. 20, p. 3672, 20 out. 2023. DOI: 10.3390/w15203672. Disponível em: <https://www-scopus-com.ez43.periodicos.capes.gov.br/pages/publications/85175419478>. Acesso em: 08 junho 2023.

KUMAR, M.; DENIS, D. M.; KUNDU, A.; JOSHI, N.; SURYAVANSHI, S. et al. Understanding land use/land cover and climate change impacts on hydrological components of Usri watershed, India. **Applied Water Science**, v. 12, n. 3, p. 39, mar. 2022. DOI: 10.1007/s13201-021-01547-6. Disponível em: <https://www-scopus-com.ez43.periodicos.capes.gov.br/pages/publications/85124806438>. Acesso em: 25 junho 2023.

LETA, M. K.; DEMISSIE, T. A.; KORICHE, S. A. Impacts of Land Use Land Cover Change on Sediment Yield and Stream Flow: A Case of Finchaa Hydropower Reservoir, Ethiopia. **International Journal of Science and Technology**, v. 6, n. 4, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/345842402_Impacts_of_Land_Use_Land_Cover_Change_on_Sediment_Yield_and_Stream_Flow_A_Case_of_Finchaa_Hydropower_Reservoir_Ethiopia. Acesso em: 20 maio 2023.

LETA, Megersa Kebede *et al.* Sediment yield estimation and evaluating the best management practices in Nashe watershed, Blue Nile Basin, Ethiopia. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 195, n. 6, p. 716, jun. 2023.

LOPES, Bruna Santos. How does land use cover change affect hydrological response in the Atlantic Forest? Implications for ecological restoration. **Frontiers in Water**. 2022. DOI: 10.3389/ffgc.2022.882551. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/water/articles/10.3389/frwa.2022.998349/full>. Acesso em: 20 maio 2025.

LUO, Jia *et al.* Impact of Multiple Vegetation Covers on Surface Runoff and Sediment Yield in the Small Basin of Nverzhai, Hunan Province, China. **Forests**, v. 11, n. 3, p. 329, 16 mar. 2020.

MAPBIOMAS.ORG. Coleções. **Uso e Cobertura**. 2023. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoesmapbiomas/>. Acesso em: 20 dezembro 2023.

MARCHIORO, E.; FERNANDES, N. F.; MACEDO, J. R. de; BHERING, S. B.; GONÇALVES, A. O.; CAIADO, M. A. C. Modelagem da produção de sedimentos no noroeste fluminense como subsídio ao planejamento ambiental: um estudo de caso da bacia do córrego santa maria. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, n. 1, 16 nov. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.20502/rbg.v12i1.216>. Acesso em: 05 maio 2023.

MOSBAHI, M.; KASSOUK, Z.; BENABDALLAH, S.; AOUISSI, J.; ARBI, R.; MRAD, M.; BLAKE, R.; NOROUZI, H.; BÉJAOU, B. Modeling Hydrological Responses to Land Use Change in Sejnane Watershed, Northern Tunisia. **Water**, v. 15, n. 9, p. 1737, 30 abr. 2023. DOI: 10.3390/w15091737. Disponível em: <https://www-scopus-com.ez43.periodicos.capes.gov.br/pages/publications/85159366900>. Acesso em: 27 junho 2023.

NEAL, J.; HAWKER, L. **FABDEM V1-2**. University of Bristol, , 2023. Disponível em: <https://data.bris.ac.uk/data/dataset/s5hqmjcdj8yo2ibzi9b4ew3sn/>. Acesso em: 11 julho 2023.

NGUYEN, T. V.; DIETRICH, J.; DANG, T. D.; TRAN, D. A.; DOAN, B. V.; SARRAZIN, F. J.; ABBASPOUR, K.; SRINIVASAN, R.. An interactive graphical interface tool for parameter calibration, sensitivity analysis, uncertainty analysis, and visualization for the Soil and Water Assessment Tool. **Environmental Modelling & Software**, [s. l.], v. 156, p. 105497, 2022. DOI: 10.1016/j.envsoft.2022.105497. Disponível em: <https://www-scopus-com.ez43.periodicos.capes.gov.br/pages/publications/85136095850>. Acesso em: 18 setembro 2023.

RUDEL, T. K., DEFRIES, R., ASNER, G. P., & LAURANCE, L. W. (2019). Changing drivers of deforestation and new opportunities for conservation. **Conservation Biology**, 33(2), 298-309. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2009.01332.x. Disponível em: <https://www-scopus-com.ez43.periodicos.capes.gov.br/pages/publications/70450235200>. Acesso em: 30 maio 2023.

SHRESTHA, S.; BHATTA, B.; SHRESTHA, M.; SHRESTHA, P. K. Integrated assessment of the climate and landuse change impact on hydrology and water quality in the Songkhram River Basin, Thailand. **Science of The Total Environment**, v. 643, p. 1610–1622, dez. 2018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.306. Disponível em: <https://www-scopus->

com.ez43.periodicos.capes.gov.br/pages/publications/85049331177. Acesso em: 25 maio 2023.

SISTEMA INTEGRADO DE BASES GEOESPACIAIS DO ESPÍRITO SANTO. Geobases. **Downloads** – Solos. 2016. Disponível em: <https://geobases.es.gov.br/downloads>. Acesso em 19 de dezembro de 2023.

TAMURA, Takao. Improvement of the Flood-Reduction Function of Forests Based on Their Interception Evaporation and Surface Storage Capacities. In: NAKAMURA, Futoshi (ORG.). **Green Infrastructure and Climate Change Adaptation: Function, Implementation and Governance**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. Cap.7; p. 93 – 104. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-6791-6_7?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 18 maio 2025.