ISSN 1678-7226
Delmaschio, B.; Coelho, A.; Campos, F. (73 - 94) Rev. Geogr. Acadêmica v.20, n.1 (2026)
10.5281/zenodo.22921302

USO DO MODELO SWAT+ PARA ANÁLISE DOS EFEITOS DAS MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DA TERRA DO RIBEIRÃO SAUANHA - ES

USE OF THE SWAT+ MODEL FOR ANALYSIS OF THE EFFECTS OF LAND USE AND LAND COVER CHANGES IN THE SAUANHA STREAM - ES

USO DEL MODELO SWAT+ PARA EL ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE LOS CAMBIOS EN EL USO Y LA COBERTURA DE LA TIERRA EN EL ARROYO SAUANHA - ES

Bruno Sára Delmaschio
Bacharel em Geografia; Mestrando em Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, E-mail: bruno.delmaschio@edu.ufes.br
https://orcid.org/0009-0002-4357-6117

André Luiz Nascentes Coelho
Pós-Doutor em Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, E-mail: alnc.ufes@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-9068-495X

Fábio Luiz Mação Campos
Doutor em Geografia, Instituto Federal do Espírito Santo, E-mail: fmacao@ifes.edu.br
https://orcid.org/0000-0001-9119-6421

RESUMO: A Mata Atlântica encontra-se extremamente fragmentada no estado do Espírito Santo em decorrência de sucessivos processos de desmatamento. Símbolo da conservação do bioma, o município de Santa Teresa tem registrado, nos últimos anos, novos focos de supressão vegetal. Isso o torna uma área de interesse, uma vez que alterações no uso e cobertura da terra tendem a afetar a dinâmica hidrológica e podem gerar prejuízos ambientais e socioeconômicos. Neste estudo, quantificaram-se as mudanças ocorridas no uso e cobertura da terra na bacia do ribeirão Sauanha, responsável pelo abastecimento do perímetro urbano do município, para os anos de 1990, 2006, 2010 e 2022. Em seguida, utilizou-se o modelo hidrológico SWAT+ para simular as vazões e avaliar a influência dessas mudanças na resposta hidrológica da bacia. Os resultados mostraram que o mosaico de usos entre agricultura e pastagens apresentou o maior crescimento no período, enquanto a cobertura florestal reduziu 4,5% entre 2010 e 2022. O SWAT+ obteve desempenho satisfatório segundo os indicadores NSE, Pbias, R^2 e RSR e demonstrou sensibilidade às pequenas mudanças no uso e cobertura da terra, com diferença inferior a 1% entre as vazões médias dos cenários e Q90 de 0,5 m^3/s. Dentre as conclusões, destacou-se que a expressiva proporção de florestas favoreceu processos como a infiltração, correspondente a um terço da precipitação, e o fluxo de base, que representou aproximadamente 70% do escoamento total, contribuindo para a estabilidade do regime de vazões da bacia.

Palavras-chave: Modelagem Hidrológica; Recursos Hídricos; Uso e Cobertura da Terra; Geoprocessamento; Mata Atlântica.

ISSN 1678-7226
Delmaschio, B.; Coelho, A.; Campos, F. (73 - 94) Rev. Geogr. Acadêmica v.20, n.1 (2026)
10.5281/zenodo.22921302

ABSTRACT: The Atlantic Forest in the state of Espírito Santo is highly fragmented due to successive deforestation processes. Although the municipality of Santa Teresa is a symbol of the biome's conservation, new instances of vegetation clearing have been recorded there in recent years. This makes it an area of interest, as changes in land use and land cover tend to affect hydrological dynamics and can lead to environmental and socioeconomic impacts. This study quantified changes in land use and land cover within the Sauanha Stream basin—which supplies the municipality's urban area—for the years 1990, 2006, 2010, and 2022. Subsequently, the SWAT+ hydrological model was used to simulate streamflow and assess how these changes influenced the basin's hydrological response. The results showed that the mosaic of agricultural and pasture land uses experienced the greatest growth during the period, while forest cover decreased by 4,5% between 2010 and 2022. The SWAT+ model demonstrated satisfactory performance based on NSE, Pbias, R^2, and RSR indicators and showed sensitivity to minor changes in land use and land cover, with a difference of less than 1% between the average streamflows of the scenarios and a Q90 of 0.5 m^3/s. Key conclusions highlighted that the significant proportion of forest cover favored processes such as infiltration, accounting for one-third of precipitation, and baseflow, representing approximately 70% of total runoff, thereby contributing to the stability of the basin's flow regime.

Keywords: Hydrological Modeling; Water Resources; Land Use and Land Cover; Geoprocessing; Atlantic Forest.

RESUMEN: El Bosque Atlántico se encuentra extremadamente fragmentado en el estado de Espírito Santo debido a sucesivos procesos de deforestación. El municipio de Santa Teresa, símbolo de la conservación de este bioma, ha registrado en los últimos años nuevos focos de eliminación de vegetación. Esto lo convierte en un área de interés, dado que las alteraciones en el uso y la cobertura del suelo tienden a afectar la dinámica hidrológica y pueden generar perjuicios ambientales y socioeconómicos. En este estudio se cuantificaron los cambios ocurridos en el uso y la cobertura del suelo en la cuenca del arroyo Sauanha —responsable del abastecimiento del casco urbano del municipio— para los años 1990, 2006, 2010 y 2022. Posteriormente, se utilizó el modelo hidrológico SWAT+ para simular los caudales y evaluar la influencia de dichos cambios en la respuesta hidrológica de la cuenca. Los resultados mostraron que el mosaico de usos entre agricultura y pastizales presentó el mayor crecimiento durante el período, mientras que la cobertura forestal se redujo un 4,5% entre 2010 y 2022. El modelo SWAT+ obtuvo un desempeño satisfactorio según los indicadores NSE, Pbias, R^2 y RSR, y demostró sensibilidad a los pequeños cambios en el uso y la cobertura del suelo, con una diferencia inferior al 1 % entre los caudales medios de los escenarios y un Q90 de 0,5 m^3/s. Entre las conclusiones, se destacó que la significativa proporción de bosques favoreció procesos como la infiltración —equivalente a un tercio de la precipitación— y el flujo base —que representó aproximadamente el 70 % de la escorrentía total—, contribuyendo así a la estabilidad del régimen de caudales de la cuenca.

Palabras clave: Modelación hidrológica; Recursos hídricos; Uso y cobertura de la tierra; Geoprocesamiento; Mata Atlántica.

10.5281/zenodo.22921302

1. INTRODUÇÃO

O município de Santa Teresa situa-se na região serrana do estado do Espírito Santo, possui uma população de 22.808 habitantes (IBGE, 2022) e mais de 40% de sua área ocupada por florestas, segundo dados da plataforma Mapbiomas (2024). Abrigando áreas protegidas como a Estação Biológica de Santa Lúcia, o Parque Natural Municipal de São Lourenço e a Reserva Biológica Augusto Ruschi, além da sede do Instituto Nacional da Mata Atlântica (INMA), o município é referência na preservação do bioma Mata Atlântica. Contudo, processos de desflorestamento na região vêm sendo noticiados nos últimos anos, como mostram as reportagens do Jornal A Gazeta (2020; 2022), em que é denunciado que a derrubada da mata se dá de forma ilegal, para fins de loteamento e construção de chácaras, com ênfase para regiões turísticas, como a do Caravaggio, próximo ao centro da cidade. Essas alterações na paisagem caracterizam o processo de mudança no uso e cobertura da terra e são resultado de ações antrópicas para satisfazer objetivos imediatos (CHOTO; FETENE, 2019).

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, Eckhardt e Rempel (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 principalmente por meio do sensoriamento remoto.

Diferente das alterações no relevo ou na composição dos solos, que normalmente levam milhares e até milhões de anos para ocorrer de forma plena, as mudanças no uso e cobertura da terra tendem a acontecer 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; BABEL; KAMALAMMA, 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 mudança no uso e cobertura da terra, acarretando a degradação dos ecossistemas (RUDEL *et al*., 2019). Isso é um problema porque as florestas são especialmente importantes para a manutenção do ciclo hidrológico, visto que apresentam maior capacidade de retenção de água, como demonstrado por Marchioro *et al.* (2011), em estudo que evidenciou que áreas cobertas por Mata Atlântica atenuam o escoamento superficial, um dos principais fatores desencadeadores dos processos de erosão e assoreamento. Nesses locais também há maior evapotranspiração devido à interceptação das gotas de chuva pelas copas das árvores, além do favorecimento dos processos de infiltração e percolação devido ao fluxo de água pelo tronco e acúmulo na serrapilheira (COELHO NETTO, 1994). Esses fatores resultam em uma vazão mais estável, reduzem o escoamento total (anual) da bacia e possibilitam o abastecimento dos aquíferos. Por outro lado, a urbanização diminui a infiltração e aumenta o escoamento superficial em magnitude e tempo (KHADKA; BABEL; KAMALAMMA, 2023), podendo acarretar distúrbios a longo prazo no regime das chuvas.

10.5281/zenodo.22921302

Portanto, a vegetação exerce um papel fundamental na regulação da dinâmica hidrológica de uma bacia hidrográfica (AMIRI; KHOSHRAVESH; VALASHEDI, 2023), ajudando a reter água e evitando picos rápidos de escoamento, o que é crucial para mitigar o risco de inundações (TAMURA, 2022). Leta, Demissie e Koriche (2017) destacam que as mudanças no uso da terra impactam os picos de vazão e as relações infiltração-escoamento, e Tumsa (2023) ressalta que esses processos podem levar à escassez de água, ao risco de enchentes e inundações, degradação dos solos, perda de biodiversidade, entre outros problemas socioambientais.

Dentre as formas de avaliação dos efeitos das mudanças no uso e cobertura da terra, a modelagem hidrológica configura-se como uma importante ferramenta de apoio 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 e da dinâmica dos sedimentos é crucial para o planejamento hídrico e ambiental. Nesse sentido, os modelos hidrológicos podem fornecer suporte 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 mudanças no uso e cobertura da terra em bacias hidrográficas ao longo de certos períodos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A área de estudo deste trabalho foi delimitada até a estação fluviométrica Valsugana Velha Montante, adotada como exutório da bacia no processamento empregado no modelo hidrológico SWAT+ e abrange um total de 127 km² do trecho inicial da bacia hidrográfica do ribeirão Sauanha, também chamado de rio Timbuí. A bacia do ribeirão Sauanha, em sua extensão total, possui cerca de 301 km² e enquadra-se como uma ottobacia de nível 6, com base no mapeamento do Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo (GEOBASES, 2019) e da metodologia de codificação da ANA (2007). Integra, enquanto sub-bacia, a bacia hidrográfica do rio Reis Magos, uma ottobacia de nível 5 com aproximadamente 700km², onde o ribeirão Sauanha deságua e segue até sua foz no oceano Atlântico (Figura 1), na divisa entre os municípios de Serra e Fundão, na Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV).

Para fins de pesquisa, adotou-se o nome bacia do ribeirão Sauanha para se referir ao objeto de estudo deste trabalho. O processo de escolha da estação Valsugana Velha Montante como exutório baseou-se na disponibilidade de dados da série histórica de vazão observada e a delimitação da área de drenagem bacia foi realizada automaticamente pelo SWAT+ com base nos dados do modelo digital de elevação (MDE) adotado. Estes procedimentos são detalhados nos itens 2.2.1 e 2.2.2, respectivamente.

10.5281/zenodo.22921302

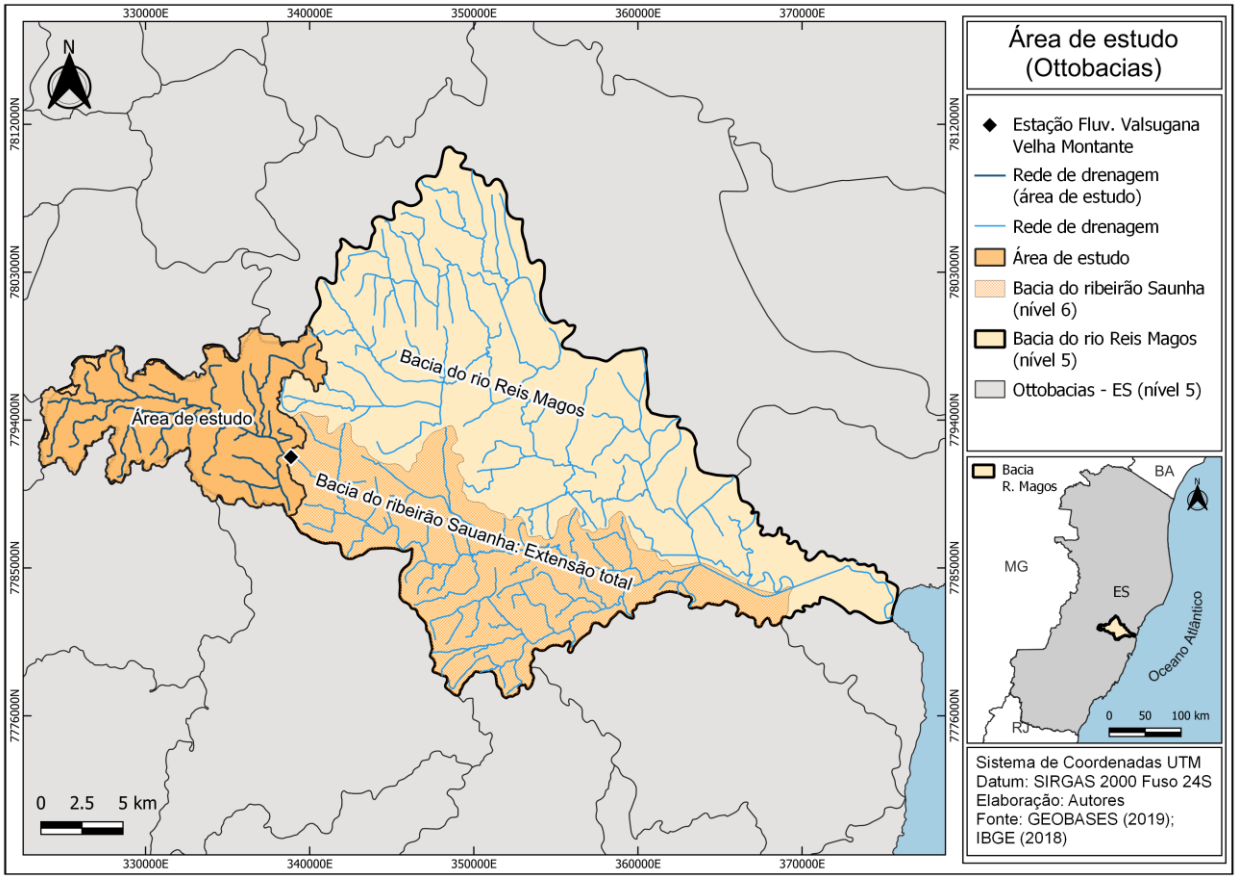


Figura 1: Localização da área de estudo no contexto das ottobacias do Espírito Santo. Fonte: Geobases (2019); IBGE (2018). Elaboração: Autores.

A bacia localiza-se no município de Santa Teresa, na região serrana do estado do Espírito Santo, próximo à divisa com os municípios de Santa Leopoldina e Santa Maria de Jetibá. A altitude média é de 809 m, variando entre 639 e 1.040 m (Figura 2). Os cursos d'água formadores do ribeirão Sauanha são os córregos de Valão de São Pedro e Valão de São Lourenço, que se encontram na área central da cidade (Figuras 2 e 3).

A paisagem é predominantemente composta por formações florestais da Mata Atlântica, cultivos agrícolas, com destaque para o café, e pastagens. A sede municipal de Santa Teresa, onde se concentra quase metade da população do município, cerca de 10 mil habitantes, localiza-se na porção central da bacia.

Dentre as áreas protegidas destacam-se o Parque Natural Municipal de São Lourenço, a Reserva Biológica Augusto Ruschi e a Estação Biológica de Santa Lúcia, locais que abrigam grande biodiversidade de flora e fauna e constituem-se como importantes núcleos de pesquisas.

O clima da região é subtropical úmido, sem estação seca e com verão quente a temperado, de acordo com a adaptação de Alvares *et al*. (2013) da classificação de Köppen, com temperatura média anual de 19,5°C e precipitação média anual de 1.491,6 mm, de acordo com o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural - Incaper (2020).

Segundo o mapeamento do Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN, 2012), a bacia está inserida na Região Geomorfológica dos Planaltos da Mantiqueira Setentrional. Predominam na bacia as unidades litológicas Nova Venécia e Ortognaisse Santa Tereza, conforme dados do Serviço Geológico do Brasil (VIEIRA *et al.*, 2018).

ISSN 1678-7226

10.5281/zenodo.22921302

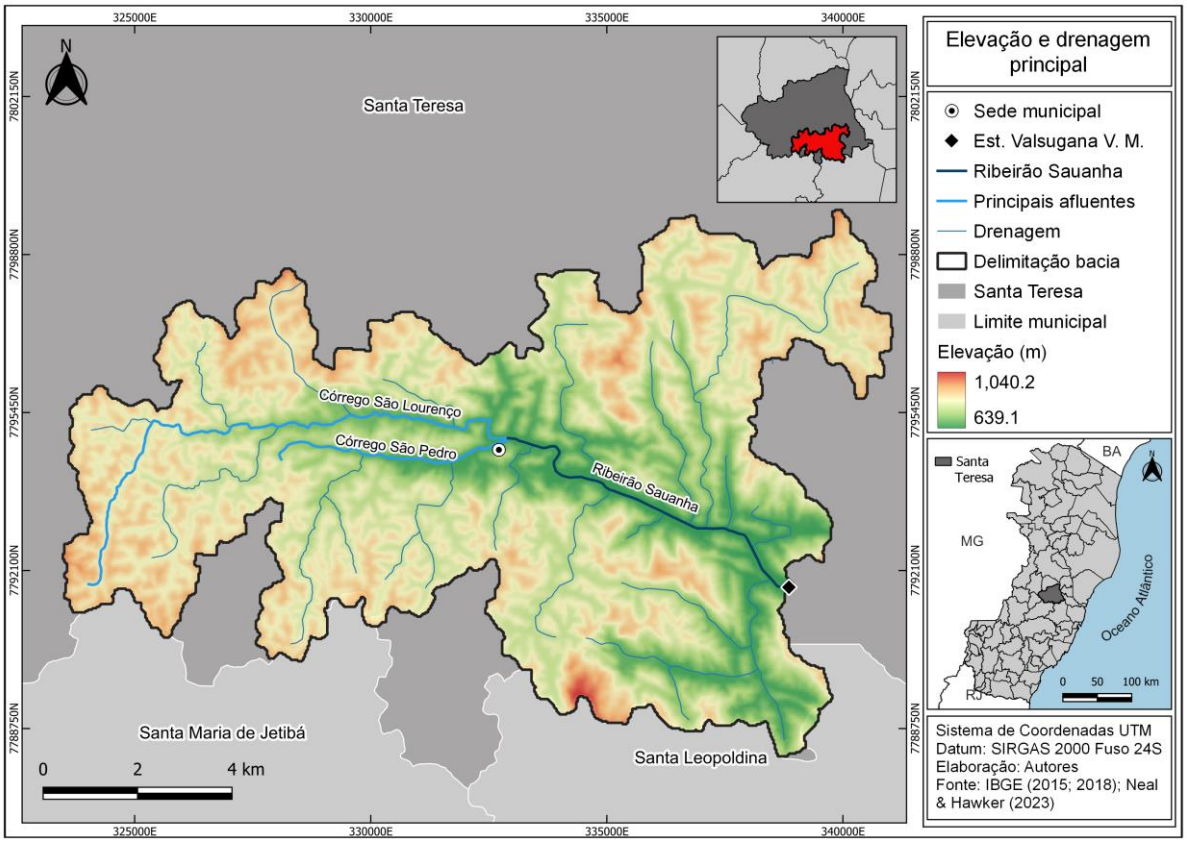


Figura 2: Mapa de localização da área de estudo com representação da altimetria e rede de drenagem principal. Fonte: IBGE (2015; 2018); Neal & Hawker (2023). Elaboração: Autores.



Figura 3: Registro fotográfico do encontro dos córregos Valão de São Pedro (a) e Valão de São Lourenço (b). Setas indicam direção do fluxo de água. Fonte: Autores

10.5281/zenodo.22921302

Segundo a classificação de Cunha *et al.* (2016), em escala 1:400.000, três classes de solos estão presentes na bacia, os Latossolos Amarelo e Vermelho-Amarelo, que ocupam respectivamente 12.6% e 41.7% da área total e o Cambissolo Háplico que representa cerca de 45.6% (Figura 4). Os Latossolos são caracteristicamente bem desenvolvidos em termos de profundidade, com estrutura granular e boa drenagem, facilitando a infiltração e a consequente recarga do lençol freático. O Latossolo Vermelho-Amarelo está presente junto ao alto e médio curso da drenagem, enquanto o Latossolo Amarelo distribui-se por quatro manchas de menor porte espalhadas pela área da bacia.

Por sua vez, nas partes menos elevadas da bacia, há predominância do Cambissolo Háplico, que de maneira geral, apresenta menor profundidade e estrutura menos desenvolvida em comparação aos Latossolos.

Foram utilizadas quatro estações de monitoramento hidrometeorológico (Figura 4), sendo uma estação fluviométrica (código 57040008), uma estação pluviométrica (código 1940010) e duas estações climáticas (códigos 83647 e A613), que constituem a base de dados observacionais utilizada na modelagem, fornecendo informações essenciais para a caracterização hidrológica e climática da bacia, bem como para a calibração do modelo hidrológico. Ressalta-se que a estação climática de código A613 encontra-se localizada fora dos limites da bacia hidrográfica, sendo sua utilização justificada pela proximidade espacial e pela representatividade das condições climáticas regionais, conforme discutido no subitem 2.2.5 - Dados climáticos.

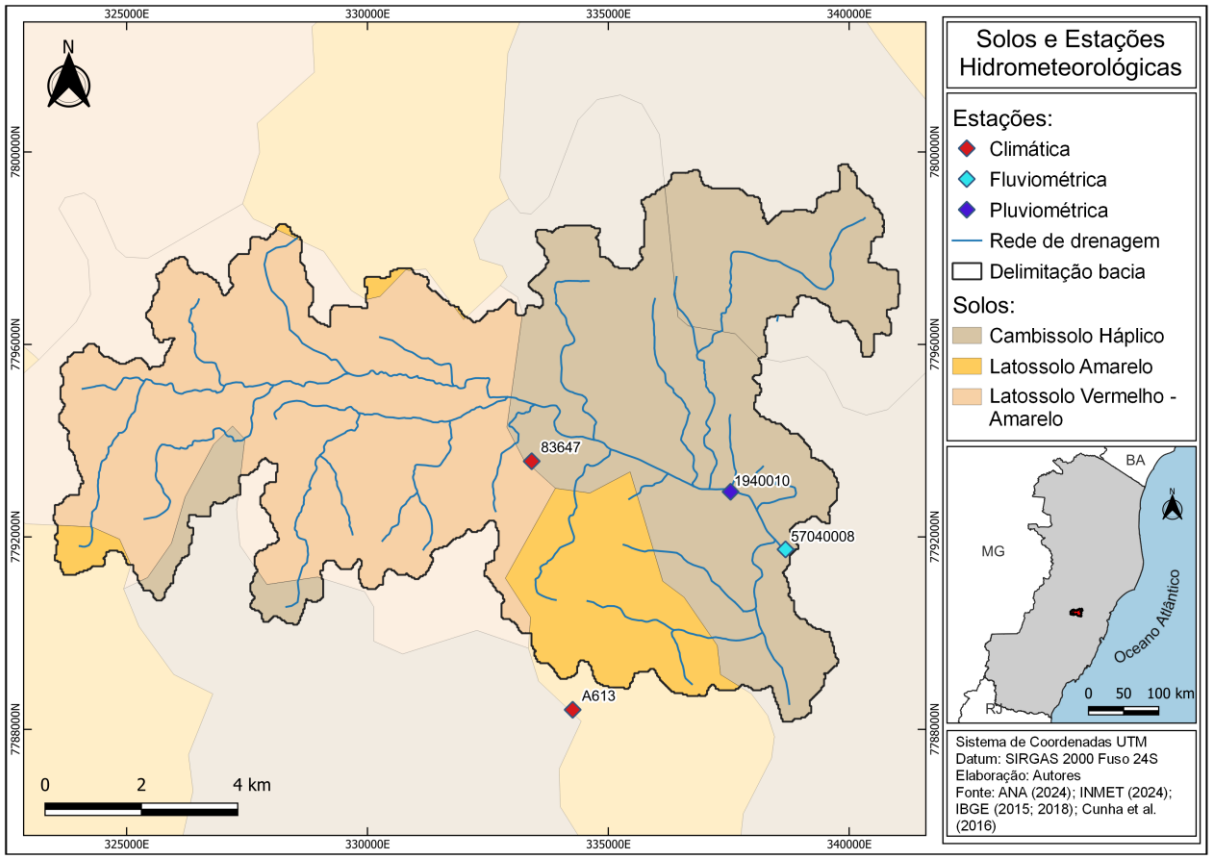


Figura 4: Mapa de classes de solos presentes na área de estudo e estações hidrometeorológicas utilizadas. Fonte: ANA (2024); INMET (2024); IBGE (2015; 2018); Cunha *et al.* (2016). Elaboração: Autores.

ISSN 1678-7226
Delmaschio, B.; Coelho, A.; Campos, F. (73 - 94) Rev. Geogr. Acadêmica v.20, n.1 (2026)
10.5281/zenodo.22921302

O uso e cobertura da terra na bacia é predominantemente de florestas de Mata Atlântica, com remanescentes de vegetação nativa ainda presentes. Estas formações estão distribuídas por toda a bacia, com destaque para as áreas mais elevadas, onde desempenham importante função na manutenção das nascentes. Entre os anos de análise mantiveram-se, de maneira geral, bem preservadas (Figura 5). Parte disso se deve à existência de áreas de preservação dentro da bacia. Observa-se também grande área coberta por um mosaico de usos entre cultivos agrícolas e pastagem em locais próximos aos cursos d'água, nas partes menor elevação na bacia. Essas áreas, também abrigam zonas periurbanas, como pequenas propriedades, sítios e chácaras (MAPBIOMAS, 2026). Como parte da região serrana do estado, a agricultura familiar tem forte presença no município, o que ajuda explicar a presença de lavouras de cultivos diversos, como hortaliças e café.

Na porção central da bacia, encravada entre os fundos de vale, está a área urbana, que corresponde à sede de Santa Teresa e maior núcleo populacional do munícipio. Entre os anos de 1990 e 2022 nota-se clara expansão da área construída (Figura 4). Outras classes não são tão visíveis na escala adotada, devido à pequena área que ocupam. Os mapas representam os quatro anos selecionados para análise e utilizam dados do mapeamento de uso e cobertura da terra do portal Mapbiomas com resolução espacial de 30m.

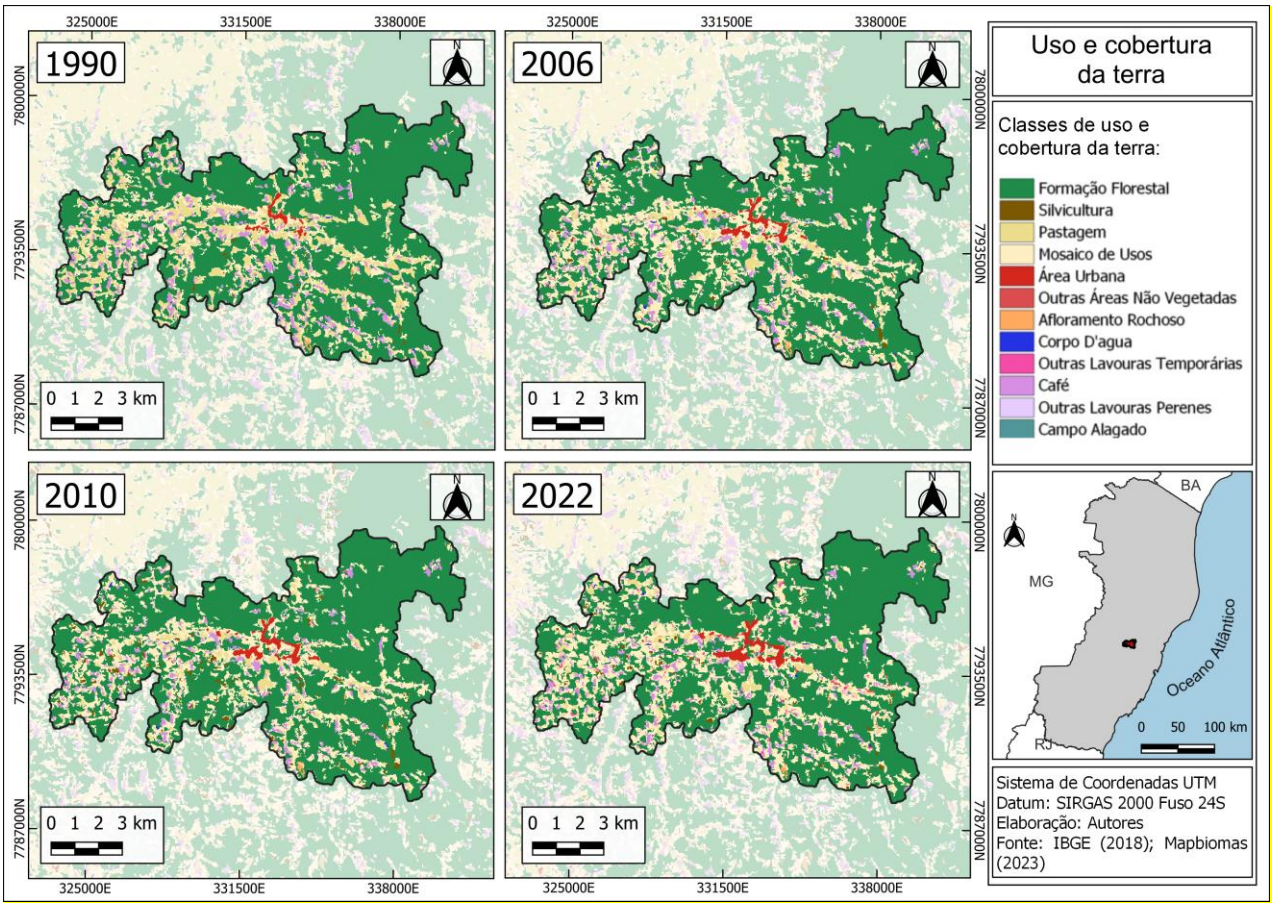


Figura 5: Mapas de uso e cobertura da terra da área de estudo para os anos de análise. Fonte: IBGE (2018); Mapbiomas (2023). Elaboração: Autores.

ISSN 1678-7226
Delmaschio, B.; Coelho, A.; Campos, F. (73 - 94) Rev. Geogr. Acadêmica v.20, n.1 (2026)
10.5281/zenodo.22921302

2.2 Estrutura Metodológica

A metodologia deste trabalho compreendeu a aquisição e o processamento dos dados de entrada necessários à modelagem hidrológica, a saber: dados de elevação, pedológicos, climáticos e de uso e cobertura da terra, utilizados na criação do cenário base, além da realização de uma visita de campo para verificação das características da bacia. Para a execução da modelagem hidrológica, foi utilizado o modelo *Soil and Water Assessment Tool Plus* (*SWAT+*) 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+ 4.0.1 no software QGIS 3.22.7.

Após a elaboração dos cenários, os dados das vazões simuladas foram comparados com os dados observados da estação fluviométrica. Posteriormente, procedeu-se à calibração do modelo, cujos valores obtidos para os parâmetros hidrológicos foram empregados na elaboração de cenários comparativos, nos quais o único dado alternado foi o de uso e cobertura da terra, conforme evidenciado no fluxograma (Figura 6).

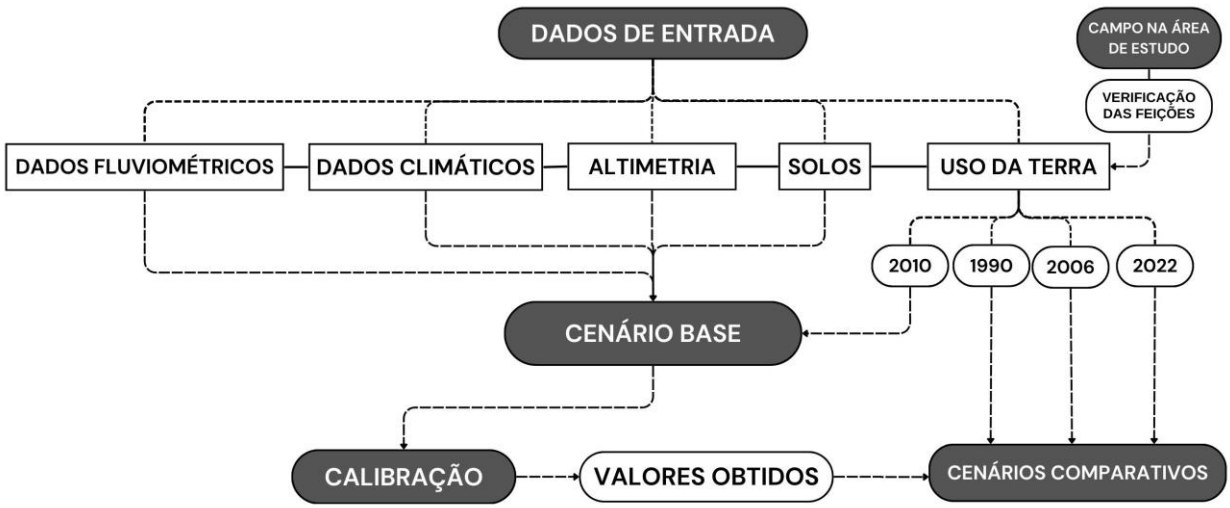


Figura 6: Fluxograma síntese das principais etapas da pesquisa. Fonte: Autores.

2.2.1 Dados Fluviométricos

Inicialmente, o fluxo de trabalho empregado neste estudo compreendeu a identificação de estações fluviométricas no município de Santa Teresa que possuíam registros históricos de vazão com, no mínimo, oito anos de dados ininterruptos disponíveis. Essa busca foi realizada utilizando o mapa de estações da plataforma HidroWeb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), que forneceu acesso à localização das estações e às suas séries históricas. A estação fluviométrica Valsugana Velha Montante, identificada pelo código 57040008, operada pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), atual Serviço Geológico Brasileiro (SGB) e sob responsabilidade da ANA, foi selecionada e sua localização usada para marcar o exutório da bacia no plugin QSWAT+.

10.5281/zenodo.22921302

2.2.2 Dados de Elevação

Para a delimitação da área da bacia, foi utilizado o MDE FABDEM (*Forest And Buildings removed Copernicus 30m DEM*), com resolução espacial de 30 metros (NEAL & HAWKER, 2023). A bacia foi delimitada à montante da estação fluviométrica Valsugana Velha Montante (57040008) de forma automática pelo QSWAT+ utilizando o MDE como base no QGIS. Com isso, foi gerado a área que se denominou bacia do ribeirão Sauanha.

2.2.3 Dados Pedológicos

Os dados pedológicos necessários incluíram o *shapefile* do mapa de solos do Espírito Santo, em escala 1:400.000, elaborado com base no trabalho de Cunha *et al.* (2016) e obtido no site Geobases e os pontos de coleta de amostras de solo, disponibilizados pelo portal GeoInfo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Além destes, também foram utilizados dados planilhados contendo as informações de descrição das amostras de solo, obtidas junto ao Banco de Dados de Solos (BDSolos) da EMBRAPA.

Nesta etapa, os pontos de coleta foram sobrepostos ao mapa de solos e à área da bacia no QGIS, permitindo a identificação das amostras de interesse. Em seguida, foram obtidas nas planilhas as informações técnicas sobre as amostras representativas dos tipos de solos presentes na bacia. Esse conjunto de informações foi inserido no QSWAT+ como parte do processo de criação do cenário.

2.2.4 Dados de Uso e Cobertura da Terra

Para a classificação do uso e cobertura da terra foram utilizados dados de mapeamento em formato raster com resolução de 30m, obtidos junto à plataforma Mapbiomas (https://brasil.mapbiomas.org/). Para a análise, foram selecionados três anos representativos: 1990, 2006 e 2022, cobrindo o início, meio e fim do período de estudo, além do ano de 2010, para criação do cenário base. Em seguida, com base no raster, foi elaborada uma planilha com as com a assimilação entre as classes do Mapbiomas e os códigos de uso e cobertura da terra. Esses arquivos também foram utilizados na etapa de criação dos cenários.

2.2.5 Dados Meteorológicos

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 as 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 (WMO, 2017) para o cálculo de normais climatológicas.

O conjunto de dados foi extraído de três estações meteorológicas, a estação pluviométrica 1940010, da ANA e as estações climáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 83647 e A613. Esses dados foram utilizados na elaboração de planilhas contendo as variáveis: precipitação, umidade, velocidade do vento, temperatura máxima e mínima e radiação solar.

ISSN 1678-7226
Delmaschio, B.; Coelho, A.; Campos, F. (73 - 94) Rev. Geogr. Acadêmica v.20, n.1 (2026)
10.5281/zenodo.22921302

2.3 Calibração dos Cenários

A calibração do modelo foi realizada a partir da criação de um cenário que utilizou dados de uso e cobertura da terra referente a um ano dentro do período de modelagem, com o objetivo de comparar os resultados com os registros de vazão da estação fluviométrica selecionada. Tendo em vista que os dados mais consistentes da estação fluviométrica Valsugana Velha Montante abrangem o período entre 2004 e 2014, e considerando 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 os anos de 2007 e 2014. Para a calibração, foi escolhido o ano de 2010 como cenário base.

Após a inserção do conjunto de dados no QSWAT+ 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. O objetivo desta etapa foi encontrar os parâmetros hidrológicos mais influentes na simulação e definir os melhores valores de ajuste para eles, a fim de tornar a modelagem mais confiável. Os parâmetros e seus respectivos valores adequados, bem como uma breve descrição de seu significado podem ser vistos abaixo (Tabela 1).

Tabela 1: Valores adequados para calibração.

Parâmetro	Valores	Significado
cn2	0.001	Curve number: Determina o volume aproximado de escoamento superficial de um evento de chuva em uma região.
canmx	2.842	Armazenamento máximo do dossel.
esco	0.876	Fator de compensação de evaporação do solo.
perco	0.621	Coeficiente de percolação.
lat_ttime	0.762	Exponencial do tempo de viagem do fluxo lateral.
cn3_swf	0.799	Fator de ajuste do Curve Number para condições muito úmidas do solo
epco	0.121	Fator de compensação de absorção de água pela planta.
flo_min	16.787	Profundidade do lençol freático para que ocorra o fluxo de retorno.
revap_co	0.088	Profundidade limite da água em aquífero raso necessária para permitir que ocorra a renovação.
revap_min	8.479	Profundidade do lençol freático para que a renovação ocorra.
alpha	0.07	Fator alfa para curva de recessão das águas subterrâneas.
surlag	1.61	Coeficiente de atraso do escoamento superficial.
awc	0.007	Capacidade de água disponível na camada do solo.

Fonte: Autores.

Esses parâmetros foram utilizados na criação dos cenários referentes aos anos de 1990, 2006 e 2022. Vale destacar que, entre essas simulações, o único dado de entrada modificado foi o uso e cobertura da terra, enquanto os demais permaneceram padrão.

Como dados de saída foram obtidas as vazões simuladas para o passo mensal e diário, com base no uso e cobertura de cada um dos anos mencionados. Por fim, esses dados foram analisados e comparados com os dados do cenário base e com as características da bacia.

10.5281/zenodo.22921302

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Mudanças no uso e cobertura da terra

A fim de dimensionar quantitativamente as mudanças ocorridas sobre o uso e cobertura da terra na bacia do ribeirão Sauanha foi elaborado um comparativo, em porcentagem, das áreas ocupadas por classe de uso e cobertura mapeadas na bacia para os anos de análise da pesquisa (Tabela 2). As classes adotadas neste trabalho seguem a padronização oficial definida pelo projeto Mapbiomas (MAPBIOMAS, 2022).

Para os anos em que uma classe não foi mapeada nos dados utilizados, esta recebeu o sinal "-", indicando sua inexistência. Essas variações são decorrentes do critério adotado na classificação das imagens pelo Mapbiomas e eventuais mudanças na paisagem.

Tabela 2: Comparativo da área, em porcentagem, ocupada por classe de uso e cobertura da terra na bacia.

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

Fonte: Mapbiomas. Elaboração: Autores.

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, com um acréscimo de 61% (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, que corresponde à sede do município de Santa Teresa, quase triplicou no período, passando a representar 1,26% do total em 2022 e, embora não represente quantitativo expressivo na bacia, dá indícios da ocorrência de um processo de urbanização crescente com ampliação dos limites construídos.

A classe predominante é a Formação Florestal, que atingiu o valor máximo no período no ano de 2010, representando quase 70% da área da bacia e reduziu para aproximadamente 66% do total em 2022. Essa perda equivale a cerca de 4km² de floresta e representa uma redução de 4,5% da cobertura deste uso da terra. Esse declínio ocorre justamente no período em que houve

10.5281/zenodo.22921302
aumento no número de denúncias a respeito da derrubada ilegal da vegetação na região.

Foi realizada uma visita de campo que confirmou a presença de loteamentos próximos a zonas vegetadas na bacia (Figuras 7 e 8). Essas construções tendem a ocorrer em partes mais elevadas no relevo local, que são caracterizadas pela grande presença de cobertura florestal.

Ainda assim, pode-se dizer que a bacia apresenta-se bem vegetada, o que também pôde ser constatado durante a visita de campo. Salienta-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 a distribuição das classes de uso e cobertura da terra na bacia.



Figura 7: Registro fotográfico evidenciando loteamentos e chácaras próximos a áreas de mata. Fonte: Autores.

10.5281/zenodo.22921302



Figura 8: Registro fotográfico evidenciando loteamentos e chácaras próximos a áreas de mata. Fonte: Autores.

Durante a visita, também foi possível constatar que, via de regra, os locais mapeados como pertencentes à classe Solo Exposto apresentam uma configuração efêmera, pois, em muitos casos, trata-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 prática da agricultura familiar. Contudo, para fins de modelagem hidrológica, a classe Solo Exposto foi mantida quantitativamente inalterada.

3.2 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 de acordo com Leta *et al*. (2023).

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).

As Tabelas 4 e 5 foram construídas a partir da correlação entre os valores obtidos na

10.5281/zenodo.22921302

simulação para o cenário base e as faixas indicadas na Tabela 3 e apresentam o valor obtido para cada um dos índices de performance analisados.

Tabela 4: Índices de eficiência referentes ao cenário base obtidos para o passo mensal após a calibração.

Índice de performance do modelo	Valores Calibração	Classificação
R^2	0.76	Bom
NSE	0.60	Satisfatório
RSR	0.63	Satisfatório
Pbias	20.43	Satisfatório

Fonte: Autores.

Tabela 5: Índices de eficiência referentes ao cenário base obtidos para o passo diário após a calibração.

Índice de performance do modelo	Valores Calibração	Classificação
R^2	0.58	Satisfatório
NSE	0.55	Satisfatório
RSR	0.67	Satisfatório
Pbias	20.51	Satisfatório

Fonte: Autores.

Os índices indicam que o Coeficiente de Determinação (R^2) evidenciou boa capacidade de reprodução da variabilidade dos dados observados, enquanto os valores de NSE indicaram ajuste satisfatório das vazões simuladas. O índice RSR reforça essa avaliação, apresentando valores dentro da faixa aceitável. Entretanto, os valores de Pbias indicam uma tendência de superestimação das vazões simuladas, da ordem de aproximadamente 20%.

As simulações realizadas para o cenário base (2010) podem ser visualizadas em formato de gráfico para o passo mensal (Figura 9) e diário (Figura 10). Em ambos, a linha azul representa a vazão média simulada, enquanto a linha laranja representa a vazão média observada. O eixo X indica série temporal e o eixo Y a vazão em m^3/s.

10.5281/zenodo.22921302

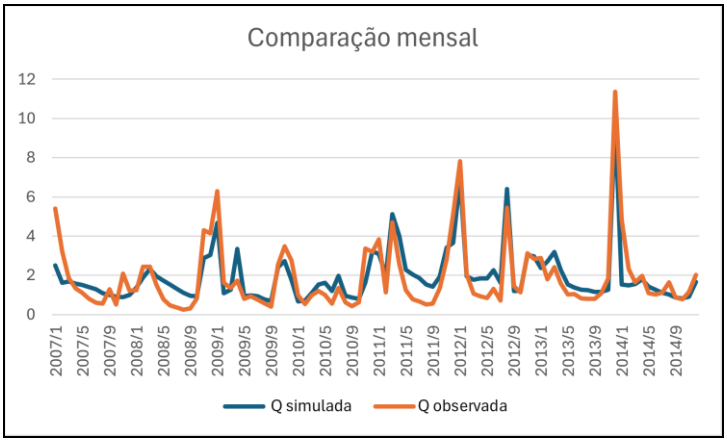


Figura 9: Gráfico comparativo dos valores médios mensais de vazão simulados pelo modelo para o cenário base e valores observados oriundos da estação fluviométrica Valsugana Velha Montante (57040008). Fonte: Autores.

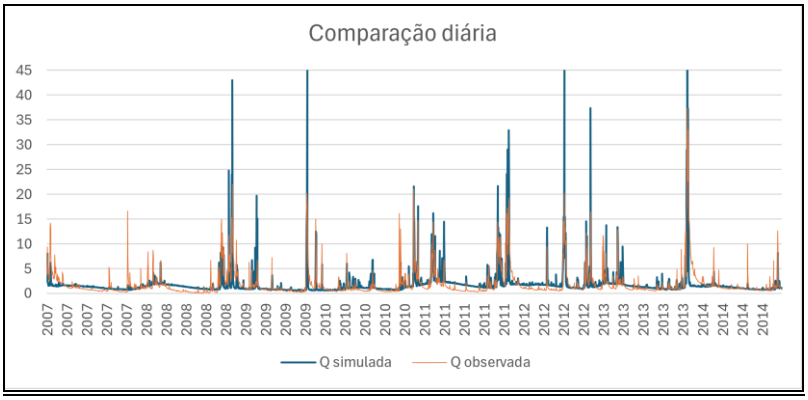


Figura 10: Gráfico comparativo dos valores médios diários de vazão simulados pelo modelo para o cenário base e valores observados oriundos da estação fluviométrica Valsugana Velha Montante (57040008). Fonte: Autores.

A análise dos gráficos e dos índices permitiu avaliar a simulação como adequada à representação das vazões na bacia. No gráfico em que estão representadas vazões mensais (Figura 9), observa-se que os valores simulados se ajustaram bem aos dados observados, acompanhando o tempo de ocorrência da maioria dos picos de vazão. No gráfico referente às vazões diárias (Figura 10), 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 modo geral, o SWAT+ apresentou bom desempenho e a modelagem pode ser considerada satisfatória, tendo em vista, sobretudo, a escassez de dados hidrometeorológicos, tanto em qualidade como em quantidade na área de estudo.

A partir dos dados de vazão simulada, foi elaborado um comparativo percentual (Tabela 6) entre o cenário base e os cenários alternativos, apresentando as vazões médias, mínimas, máximas e Q90, que é a vazão que é igualada ou superada em 90% do tempo.

10.5281/zenodo.22921302

Tabela 6: Variação das vazões diárias média, mínima, máxima e Q90 em relação ao cenário base.

Vazão	Base (m³/s)	1990	2006	2022
Med	1.48	-0.41%	0.13%	-0.10%
Mín	0.29	-1.73%	0.68%	0.34%
Máx	40.6	0.49%	0.49%	-0.25%
Q90	0.5	-0.60%	0.20%	-0.60%

Fonte: Autores.

Os resultados indicaram que as alterações no uso e cobertura da terra exerceram influência limitada sobre as vazões diárias da bacia no comparativo entre os cenários alternativos e o cenário base. A diferença entre as vazões médias foi inferior à 1%, com variações menos significativas nos anos de 2006 e 2022, temporalmente mais próximos do cenário base.

A vazão mínima foi superior à do cenário base nos anos de 2006 e 2022 e inferior no cenário do ano de 1990. Por sua vez, a vazão máxima simulada para os cenários de 1990 e 2006 foram superiores ao cenário base e a de 2022, inferior.

Os valores de vazão representativos do percentual Q90 apresentaram baixa variabilidade temporal, mantendo-se próximos de 0,5 m³/s ao longo dos cenários analisados, o que indica relativa estabilidade nas condições de escoamento de base.

Esses valores indicam que a vasta ocupação por cobertura vegetal na bacia amortece as variações nas vazões e estabiliza o escoamento. As poucas mudanças percentuais no uso e cobertura da terra foram representadas pela baixa variabilidade na vazão entre os cenários comparados, indicando que o desempenho do SWAT+ se deu de forma adequada.

Para analisar a resposta hidrológica da bacia no cenário base foi utilizado o SWAT+ Check, ferramenta essencial para entender o balanço hídrico no cenário modelado (Figura 11).

ISSN 1678-7226
Delmaschio, B.; Coelho, A.; Campos, F. (73 - 94) Rev. Geogr. Acadêmica v.20, n.1 (2026)
10.5281/zenodo.22921302

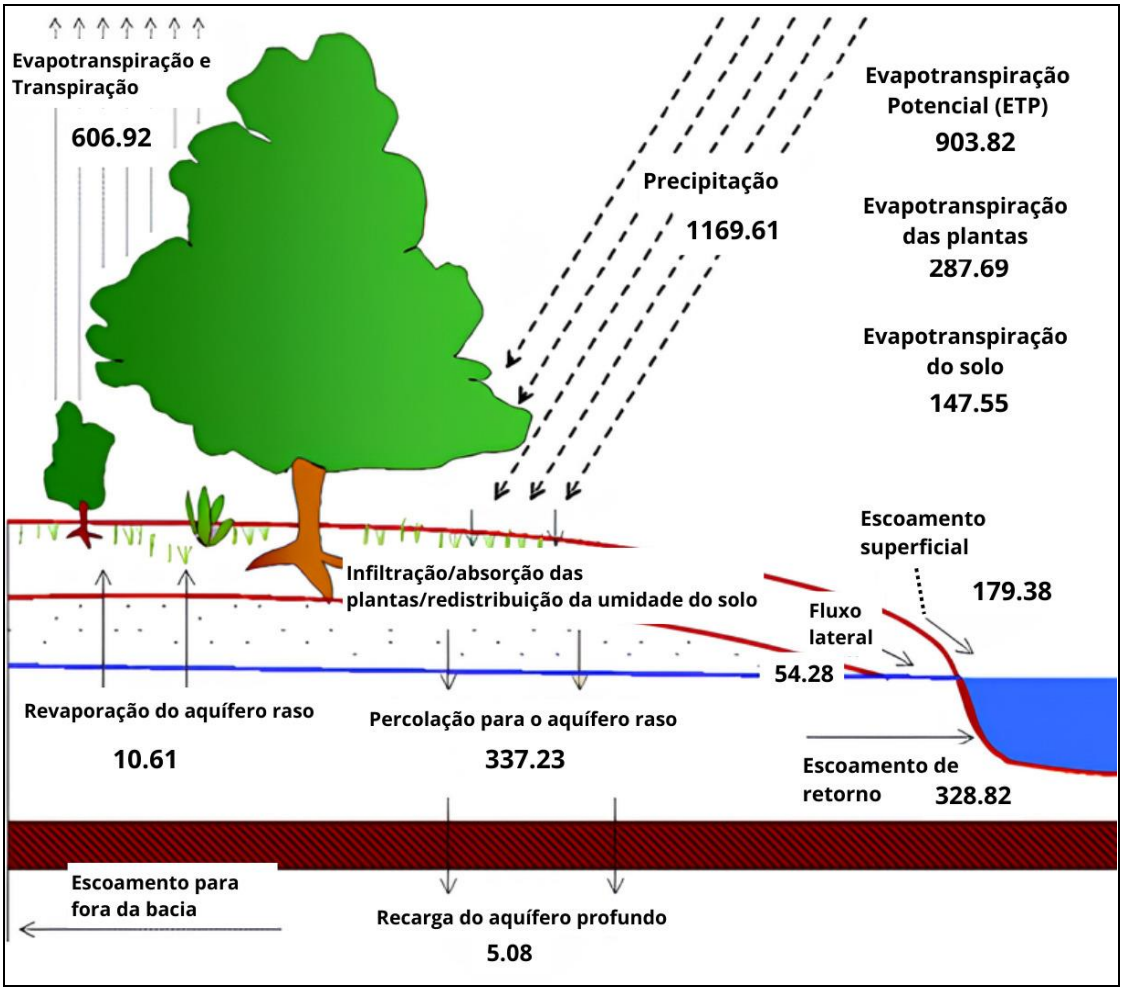


Figura 11: Esquema gerado pelo SWAT+ Check representando a resposta hidrológica da bacia na simulação realizada para o cenário base (valores em mm). Fonte: SWAT+.

Ao analisar os dados, verificou-se que 52% da precipitação foi transformada em evapotranspiração e 48% foi convertida em vazão, o que está fortemente relacionado com à expressiva área ocupada pelas formações florestais na bacia que, em 2010, representavam quase 70% da área total, maior valor dentre os anos de análise da pesquisa. Os gráficos representados abaixo (Figura 12) apresentam as inferências mais importantes feitas a partir da análise dos resultados do SWAT+ Check.

ISSN 1678-7226
Delmaschio, B.; Coelho, A.; Campos, F. (73 - 94) Rev. Geogr. Acadêmica v.20, n.1 (2026)
10.5281/zenodo.22921302

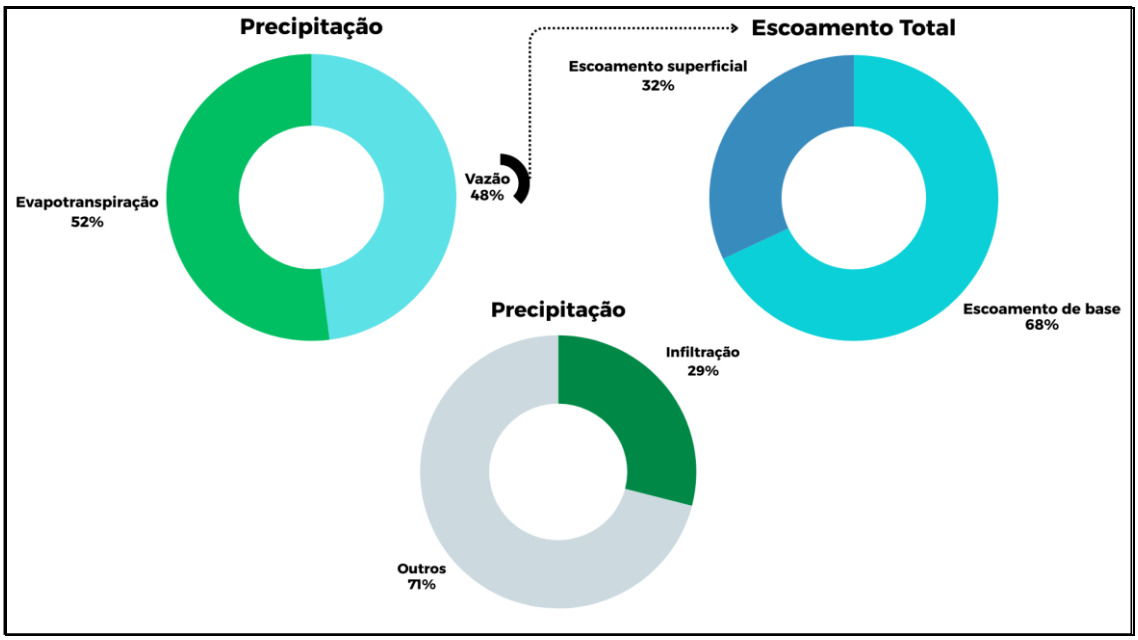


Figura 11: Gráficos representativos da resposta hidrológica da bacia. Fonte: SWAT+. Elaboração: Autores

Observa-se também que, da água precipitada convertida em vazão, aproximadamente 68% são provenientes do escoamento de base, enquanto 32% correspondem ao escoamento superficial. Esse comportamento também está associado à cobertura vegetal da bacia, que favorece a infiltração de água no solo. A infiltração representa 29% da precipitação e promove o armazenamento hídrico, contribuindo para a liberação gradual da água aos cursos, reduzindo os picos de vazão e aumentando a participação do fluxo de base.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

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. Apesar disso, observa-se diminuição dessa classe no período compreendido entre os anos de 2010 e 2022, com redução de 4,5%, a maior perda no período analisado. Salienta-se que a vegetação citada é em grande parte Mata Atlântica nativa, bioma que se encontra extremamente ameaçado, o que evidencia ainda mais a importância da conservação da bacia. Em contraponto, a área urbanizada e o mosaico de usos composto por áreas agrícolas e pastagens, com a presença de zonas periurbanas, cresceram de forma acentuada.

A dinâmica hidrológica da bacia mostra-se positivamente influenciada pela presença das florestas, uma vez que estas favorecem a infiltração da água precipitada, contribuindo, entre outros aspectos, para a recarga do aquífero. Observa-se ainda um ganho no comportamento hidrométrico, dada a predominância do escoamento de base na composição da vazão, característica também associada a áreas com maior cobertura florestal. Esse comportamento promove maior estabilidade hidrológica ao reduzir o escoamento superficial, atenuar picos de vazão e minimizar processos erosivos e o assoreamento dos cursos d'água. Como consequência, há também uma redução do risco de inundações.

10.5281/zenodo.22921302

A permanência das florestas como cobertura da terra majoritário na bacia pôde ser percebida no amortecimento da variação das vazões médias, mínimas, máximas e da Q90 entre os cenários analisados. Soma-se a isso o fato de que, grosso modo, as mudanças mapeadas no uso e cobertura da bacia foram sutis e não influíram de forma significativa nos valores obtidos nas simulações, onde a vazão diária da bacia manteve-se igual ou superior à 0,5 m³/s em 90% do tempo, tanto para o cenário base quanto para os cenários comparativos.

Sendo assim, pode-se concluir que o SWAT+ mostrou-se apto a realizar as simulações para a bacia, obtendo índices satisfatórios em praticamente todas as simulações, sem nenhum índice insatisfatório. Destaca-se também que o modelo correspondeu adequadamente às pequenas variações no uso e cobertura entre os cenários simulados e, dessa forma, a metodologia é considerada válida para representação dos objetivos propostos nesta pesquisa.

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

Ressalta-se que a escolha de uma bacia que apresentou poucas mudanças 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 mudança do uso e cobertura da terra é diretamente influenciado pela resolução do mapeamento adotado, uma vez que pequenas alterações na paisagem podem ser generalizadas conforme a escala e métodos de mapeamento utilizados.

Por fim, é importante salientar que a realização de um estudo envolvendo a análise temporal das mudanças ocorridas no uso e cobertura da terra em uma bacia hidrográfica 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 relacionados a eventos extremos de precipitação.

AGRADECIMENTOS E NOTAS

Agradecimentos à FAPES – Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo, pela concessão de financiamento via Edital FAPES Nº 19/2025 - Procap 2026 Mestrado.

Este artigo deriva do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “Análise da influência da alteração do uso e cobertura da terra na vazão de uma bacia hidrográfica”, desenvolvido no Departamento de Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo.

REFERÊNCIAS

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 mai. 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 mai. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Catálogo de metadados da ANA**. Uso

10.5281/zenodo.22921302

da Terra. 2016. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records>. Acesso em: 25 mai. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Portal HidroWeb (SNIRH)**. 2023. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 10 dez. 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, 2009.

ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. V.22, No.6, p.711–728, 2013.

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, 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.

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, 2023.

CAMPOS, F. L. M.; COELHO, A. L. N. Geotecnologías, geomorfología e modelos hidrológicos: Possibilidades para o planejamiento hídrico e ambiental. **Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GeoSIG)**. 14(24). Sección I: 1-14. 2022.

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.

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.

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.

CUNHA A. D. M., FEITOZA H. N., FEITOZA L. R., OLIVEIRA F. S. D., LANI J. L., CARDOSO J. K. F., TRINDADE F. S. Atualização da legenda do mapa de reconhecimento de solos do Estado do Espírito Santo e implementação de interface no Geobases para uso dos dados em SIG. **Geografares,** v. 2, n22 p. 32 - 65. 2016.

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 dez. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Geoinfo – Pronasolos.** 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-

10.5281/zenodo.22921302

terra.html>. Acesso em: 23 mai. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico.** 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/es/santa-teresa.html>. Acesso em: 10 dez. 2023.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. **Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural (Proater) 2020 - 2023.** Vitória, ES. 2020.

INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES. **Mapeamento Geomorfológico do estado do Espírito Santo.** NT – 28. IJSN. Vitória, 2012. Disponível em: <https://ijsn.es.gov.br/Media/IJSN/PublicacoesAnexos/notatecnica/1310_ijsn_nt28-.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2026.

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

KUMAR, M.; DENIS, D. M.; KUNDU, A.; JOSHI, N.; SURYAVANSHI, S. 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, 2022.

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, p. 763 – 781, 2017.

LETA, M. K.; WASEEM, M.; REHMAN, K.; TRANCKNER J. 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, 2023.

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

MAPBIOMAS.ORG. Plataforma brasil mapbiomas.org. **Coverage**. 2024. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/coverage/coverage>. Acesso em: 08 jul. 2026.

MAPBIOMAS.ORG. **Códigos de Legenda**. 2026. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/codigos-de-legenda/. Acesso em: 11 jul. 2026.

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, p. 29 – 38, 2011.

MOSBAHI, M.; KASSOUK, Z.; BENABDALLAH, S.; AOUISSI, J.; ARBI, R.; MRAD, M.; BLAKE, R.; NOROUZI, H.; BÉJAOUI, B. Modeling Hydrological Responses to Land Use Change in Sejnane Watershed, Northern Tunisia. **Water**, v. 15, n. 9, p. 1737, 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 jul. 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.

10.5281/zenodo.22921302

RUDEL, T. K., DEFRIES, R., ASNER, G. P., & LAURANCE, L. W. Changing drivers of deforestation and new opportunities for conservation. **Conservation Biology**, 33(2), p. 298-309, 2019.

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, 2018.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Inventário Florestal Nacional: Espírito Santo – 2017**. Brasília, DF: Serviço Florestal Brasileiro, 2017.

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

SISTEMA INTEGRADO DE BASES GEOESPACIAIS DO ESPÍRITO SANTO. Geobases. IDE – Ottobacias. 2019. Disponível em: <https://ide.geobases.es.gov.br/layers/geonode_data:geonode:ottobacias_n_6>. Acesso em: 10 jul. 2026.

TAMURA, T. **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, 2022. Cap.7; p. 93 – 104.

TUMSA, B. C. 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, 2023.

VIEIRA, V. S.; SILVA, M. A.; CORRÊA T. R.; LOPES N. B. **Mapa geológico do estado do Espírito Santo.** Belo Horizonte: CPRM, 2018. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/items/a1abaa19-904f-4a1b-aa02-5734cc73c269>. Acesso em: 10 jul. 2026.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **Guidelines on the calculation of climate normals.** Geneva: WMO, 2017.