AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ALTERAÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA NAS VAZÕES DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA COM USO DOS DADOS DO MAPBIOMAS

Bruno Sára Delmaschio [1], André Luiz Nascentes Coelho [1], Fábio Luiz Mação Campos [1], Vittoria Dalleprane[1], Bianka Palmeira Rodrigues [1], Christiana Keller Campos [1]

[1] Universidade Federal do Espírito Santo, Av. Fernando Ferrari, 514, Vitória - ES, 29075-073, Brasil, {brunosdelmaschio; alnc.ufes; fabiomacao; dallepranevittoria; bianka.geoufes; christianakeller3}@gmail.com.

RESUMO

A Mata Atlântica, bioma que outrora recobria praticamente todo o Espírito Santo, está hoje altamente fragmentada restando na porção Serrana do Estado importantes remanescentes dessa vegetação, com destaque para o município de Santa Teresa. Contudo, nos últimos anos, o desmatamento tem aumentado para dar lugar a chácaras e condomínios. Nesse contexto, o estudo analisou a influência dessas alterações entre 1990 e 2022 nas vazões da bacia Ribeirão Sauanha, cujo curso principal corta a sede de Santa Teresa, utilizando dados de uso e cobertura da terra do portal Mapbiomas e o modelo hidrológico SWAT+, que permite simular cenários modificando componentes como o uso e cobertura da terra. Os resultados evidenciaram que a bacia hidrográfica estudada apresenta sua área de formação florestal conservada, representando quantitativo expressivo da bacia. Apesar disso, identificou-se uma diminuição dessa classe de cobertura no período analisado.

Palavras-chave **—** Modelagem Hidrológica, Recursos Hídricos, Bacia Hidrográfica, Uso e Cobertura da terra, Mata Atlântica.

ABSTRACT

The Mata Atlântica, a biome that once covered nearly all of Espírito Santo, is now highly fragmented, with significant remnants of this vegetation remaining in the mountainous region of the state, particularly in the municipality of Santa Teresa. However, in recent years, deforestation has increased to make way for small farms and condominiums. In this context, the study analyzed the influence of these changes between 1990 and 2022 on the flows of the Ribeirão Sauanha watershed, whose main course runs through the center of Santa Teresa, using land use and cover data from the Mapbiomas portal and the SWAT+ hydrological model, which allows for the simulation of scenarios by modifying components such as land use and cover. The results showed that the studied watershed retains a significant area of preserved forest formation, representing a substantial portion of the watershed. Despite this, a decrease in this class of cover was identified during the analyzed period.

Key words **—** *Hydrological Modeling, Water Resources, Watershed, Land Use and 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 [1;2], 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 formação florestal tende a exercer um papel fundamental no ciclo hidrológico, como demonstrado por [3], em estudo que evidenciou que áreas com a presença da Mata Atlântica favorecem a infiltração de água no solo e atenuam o escoamento superficial, fator responsável 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 [4] e tendem a influenciar diretamente a dinâmica hidrológica da bacia hidrográfica [5]. 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 [5;6]. 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 [7].

Nesse sentido, o objetivo principal deste artigo é o de analisar, através de produtos de Sensoriamento Remoto do Mapbiomas, evidências da alteração no uso e cobertura da terra, entre os anos de 1990 e 2022, na bacia hidrográfica do Ribeirão Sauanha, município de Santa Teresa – ES, simulando através do *SWAT+ (Soil and Water Assessment Tool Plus)* o impacto dessas alterações nas vazões.

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 da bacia. Cabe salientar que a bacia foi delimitada a montante da estação fluviométrica escolhida como exutório, conforme descrito na Seção 2. Material e Métodos.

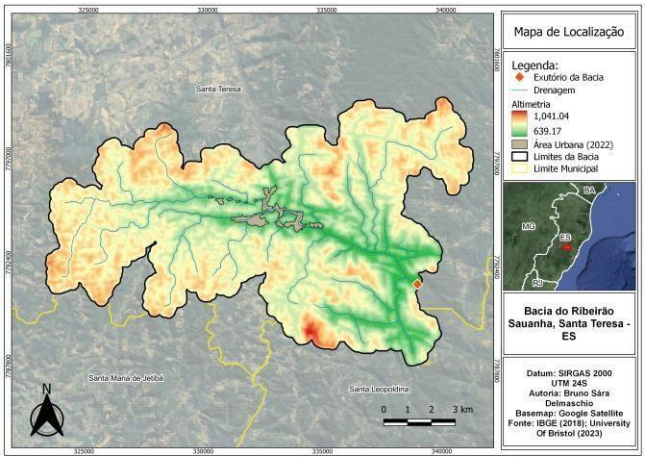


Figura 1: Mapa de localização da bacia do Ribeirão Sauanha.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia da pesquisa compreendeu a revisão bibliográfica e a aquisição e processamento dos dados para execução da modelagem hidrológica. A seguir são detalhados os processos empregados para cada um dos tipos de dados de entrada do modelo hidrológico.

Dados Fluviométricos: A aquisição dos dados fluviométricos consistiu na identificação de estações fluviométricas no Espírito Santo com registros históricos de, no mínimo, oito anos. Foi utilizado o mapa de estações da plataforma HidroWeb [8] para acessar a localização e séries históricas. A estação fluviométrica identificada pelo código 57040008, operada pelo CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), foi escolhida para a pesquisa, sendo sua localização usada para marcar o exutório da bacia no modelo *SWAT+*.

Dados Topográficos e Delimitação da Bacia: A delimitação da área da bacia foi realizada com o MDE (Modelo Digital de Elevação) [9], que possui uma resolução espacial de 30 metros. Foi inserido o MDE no plugin *QSWAT+* no QGIS e marcado o exutório, após isso a delimitação topográfica da bacia e dos principais cursos d'água ocorreu automaticamente.

Dados Pedológicos: Os dados pedológicos incluíram o mapa de solos do Espírito Santo, obtido no [10], e os pontos de coleta de amostras de solo, disponibilizados pelo GeoInfo [11]. Esses pontos foram sobrepostos ao mapa pedológico e à área da bacia, permitindo a identificação das amostras de interesse. Informações técnicas sobre as amostras representativas dos tipos de solo presentes na bacia foram então coletadas nos dados da [11].

Dados Climáticos: Utilizando o QGIS, foram identificadas as estações climáticas e pluviométricas dentro da área da bacia e em um raio de até dois km, com base em um arquivo vetorial da [8]. Apenas as estações com dados consistentes entre 1990 e 2020 foram selecionadas, abrangendo os 30 anos de uma normal climatológica.

Dados de Uso e Cobertura: Para a classificação do uso e cobertura, foram utilizados os dados do [12], onde adquiriu-se os arquivos rasters de três anos representativos: 1990, 2006 e 2022, além do ano de 2010 para fins de calibração.

Calibração da Modelagem: A calibração do modelo exigiu a criação de um cenário com dados de um ano dentro do período de estudo para comparar com os registros de vazão da estação fluviométrica selecionada, cujos dados mais consistentes estão entre 2004 e 2014. Além disso, foi necessário utilizar os primeiros três anos da modelagem para o período de aquecimento do modelo. Assim, a simulação foi realizada entre os anos de 2007 e 2014. Para fins de calibração, foi elaborado um mapa de uso e cobertura para o ano de 2010, que serviu como cenário base.

Após a inserção dos dados mencionados no modelo e a simulação do cenário para 2010, foi utilizado o RSWAT 3.1 [13] dentro do RStudio para a seleção dos parâmetros e calibração dos valores, conforme detalhado na Tabela 1 abaixo.

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

Tabela 1: Parâmetros e valores adequados para a calibração.

Esses parâmetros e seus respectivos valores foram utilizados para criar os cenários referentes aos anos de 1990, 2006 e 2022.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processamento dos dados em ambiente QGIS permitiu gerar mapas de uso e cobertura da terra para a bacia em cada um dos quatros anos selecionados. A Figura 2 abaixo apresenta um comparativo entre o uso e cobertura na bacia para os anos de 1990, 2006, 2010 e 2022, segundo dados do Mapbiomas.

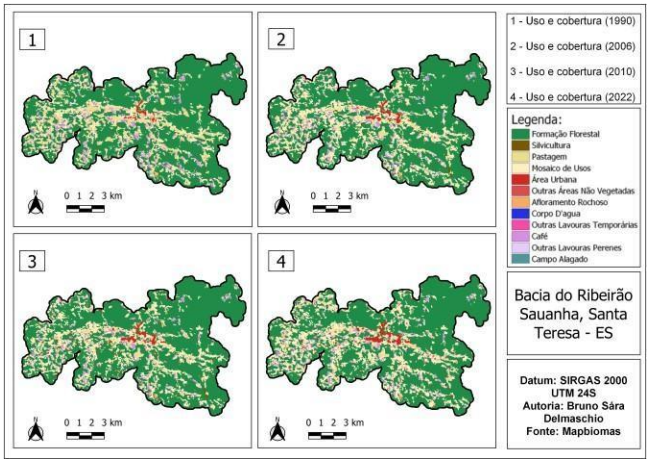


Figura 2: Mapas de uso e cobertura da terra para os anos de análise selecionados.

Observa-se um pequeno aumento gradual da classe Formação Florestal entre 1990 e 2010, seguido por um recuo mais acelerado até o ano de 2022. Esse declínio é parcialmente atribuído aos loteamentos para construção de imóveis na região.

A partir da correlação entre os valores obtidos na calibração e as faixas indicadas em [14], pode-se estabelecer que, no passo diário, obteve-se valores satisfatórios em todos os índices. Para o passo mensal, obteve-se valor bom para o Coeficiente de Determinação (R^2) e os demais índices os valores mostraram-se satisfatórios. Os valores obtidos para a simulação diária e mensal podem ser visualizados na Tabela 2.

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

Tabela 2: Valores de calibração para o cenário base.

A análise do gráfico comparativo entre as vazões observada e simulada para o cenário base no passo mensal, na figura 3, permite inferir que os valores simulados se ajustaram bem aos dados observados, acompanhando o tempo de ocorrência da maioria dos picos de vazão. No entanto, os picos mais elevados do período parecem ter sido subestimados em intensidade pelo modelo.



Figura 3: Gráfico comparativo: vazão simulada para o cenário base (azul) X vazão observada (laranja).

Ao analisar a comparação da variação em porcentagem entre as vazões simuladas para os cenários com uso e cobertura de 1900, 2006 e 2022 e o cenário base (2010), percebe-se uma varia- ção maior na vazão mínima no cenário de 1990, assim como para a vazão máxima de 1990 e 2006, como pode ser visto na Tabela 3 abaixo.

Vazão	1990	2006	2022
Med	-0.4%	0.1%	-0.1%
Mín	-1.8%	0.6%	0.3%
Máx	-1.3%	-1.3%	-0.2%

Tabela 3: Variação entre as vazões diárias simuladas para os anos de análise em comparação com o cenário base (%)

Após a criação do cenário, também é possível gerar o SWAT+ Check, que permite analisar, entre outros dados, a resposta hidrológica da bacia no cenário modelado. A Figura 4, apresentada abaixo, foi gerada pelo programa para o cenário base, utilizando o uso e cobertura da terra de 2010.

Ao analisar os dados, verifica-se que 51% da precipitação é convertida em vazão, sendo 61% dessa vazão total proveniente do escoamento de base e apenas 39% do escoamento superficial, o que se relaciona fortemente à grande proporção de formações florestais na bacia, correspondendo a aproximadamente 69% da área total em 2010. Observa-se também que 27% da precipitação total infiltra no solo, enquanto 49% é transformada em evapotranspiração.

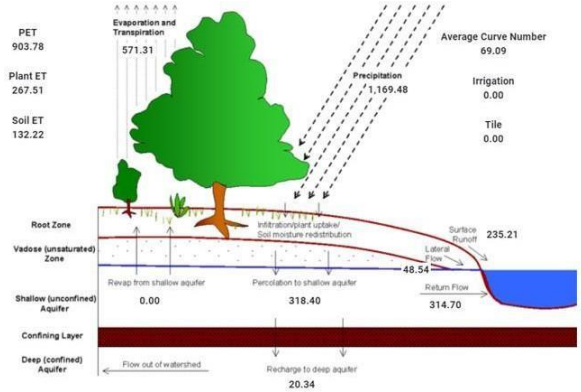


Figura 4: Esquema gerado pelo SWAT+ Check, representando o ciclo hidrológico da bacia na simulação realizada para o cenário base.

Os esquemas hidrológicos gerados pelo SWAT+ Check para as demais simulações demonstram padrões parecidos com o observado na Figura 4.

4. CONCLUSÕES

A realização de um estudo envolvendo a análise temporal das alterações ocorridas no uso e cobertura da terra em uma bacia hidrográfica e a avaliação dos impactos através da modelagem hidrológica 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 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. 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, como os fornecidos pela plataforma Mapbiomas, pois permite que pesquisadores possam desenvolver seus estudos mesmo com pouco ou nenhum orçamento atribuído.

5. REFERÊNCIAS

[1] 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 de maio 2023.

[2] 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 de maio 2023.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 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.

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

[9] 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.application/zip,text/plain; charset=windows-1252,application/pdf,text/plain; charset=UTF-8,text/plain; charset=ISO-8859-1

[10] 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.

[11] 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 de dezembro. de 2023.

[12] MAPBIOMAS.ORG. *Coleções. Uso e Cobertura*. 2023. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/colecoesmapbiomas/. Acesso em 20 de dezembro de 2023.

[13] 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.

[14] LETA, M. K.; MEKONNEN, D. F.; ALEMU, T. K.; HAILE, A. T.; MOGES, M. A. 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.