

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

EFEITO DE PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA: UMA AVALIAÇÃO A PARTIR DO SWAT+

Fábio Luiz Mação Campos¹; André Luiz Nascentes Coelho² & Danielle de Almeida Bressiani³

Abstract: One of the most striking aspects of climate change is the consequences on the behavior of river basins in the face of the greater occurrence of extreme events such as prolonged droughts and intense rainfall. Nature-based solutions, such as some conservation practices, have been pointed out as alternatives to deal with these changes and can contribute to improving water availability and climate adaptability. This study aimed to evaluate and quantify the effect of four practices (residue management, strip-cropping, contour farming and terraces) on the water availability of two small river basins in Espírito Santo. To carry out the study, modeling, calibration and validation of the study basins were performed with the SWAT+ hydrological model. From the base scenario created, four alternative scenarios were simulated considering the effect of implementing conservation practices on some agricultural crops existing in the study areas. The flow behavior was compared to the base scenario in terms of the variation of the permanence curve and the minimum, average and maximum flows. The results showed that average flows would vary from -2.34% to +2.49%. The application of the practices, on the other hand, increased the minimum daily flows by between 0.76% and 8.84% and reduced the maximum flows by between -0.35% and -11.01%. The simulation of the scenarios confirmed the beneficial effect of conservation practices for the management of river basins and the possibility of increasing water availability and adapting to climate change through their application.

Resumo: Um dos aspectos mais marcantes das mudanças climáticas são as consequências no comportamento das bacias hidrográficas diante da maior ocorrência de eventos extremos como estiagens prolongadas e precipitações intensas. Soluções baseadas em natureza, como algumas práticas conservacionistas, têm sido apontadas como alternativas para lidar com essas mudanças e podem contribuir para melhoria da disponibilidade hídrica e adaptabilidade climática. Este trabalho objetivou avaliar e quantificar o efeito de 4 práticas (manejo de resíduos, o cultivo em faixas, a agricultura de contorno e terraços) na disponibilidade hídrica de duas pequenas bacias hidrográficas capixabas. Para execução do trabalho, foi executada modelagem, calibração e validação das bacias de estudo com o modelo hidrológico SWAT+. A partir do cenário base criado, 4 cenários alternativos foram simulados considerando o efeito da implantação das práticas conservacionistas em algumas culturas agrícolas existentes nas áreas de estudo. O comportamento da vazão foi comparado ao do cenário base em termos da variação da curva de permanência, e das vazões mínimas, médias e máximas. Os resultados mostraram que as vazões médias teriam uma variação de -2,34% a +2,49%. A aplicação das práticas, por outro lado, elevou entre 0,76% e 8,84% as vazões diárias mínimas e reduziu entre -0,35% e -11,01% as vazões máximas. A simulação dos cenários confirmou o efeito benéfico das práticas conservacionistas para manejo de bacias

1) Afiliação: Instituto Federal do Espírito Santo – IFES, fabiomacao@gmail.com.

2) Afiliação: Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, alnc.ufes@gmail.com.

3) Afiliação: Universidade Federal de Pelotas – UFPel, danielbressiani@gmail.com.

hidrográficas e a possibilidade de aumento da disponibilidade hídrica e adaptação às mudanças climáticas a partir de sua aplicação.

Palavras-Chave – Adaptabilidade climática; Bacias Hidrográficas; Soluções baseadas em Natureza.

INTRODUÇÃO

A gestão hídrica está enfrentando pressões sem precedentes à medida que o aumento dos desafios ambientais e antropogênicos, como as mudanças climáticas e a rápida urbanização, afeta a disponibilidade e a previsibilidade de água potável (Lebu *et al.*, 2024). Diante desses desafios é essencial que os pesquisadores, planejadores e gestores examinem essas questões em escala de bacia hidrográfica para desenvolver políticas e planos para garantir um futuro sustentável, pois as práticas de gestão do uso da terra desempenham um papel importante no planejamento e gestão das bacias hidrográficas (Uniyal *et al.*, 2020) e a segurança hídrica é essencial para garantir o desenvolvimento sustentável e econômico de uma nação ou região (Teixeira *et al.*, 2024).

A abordagem chamada de *Nature based Solutions* (NbS) vem ganhando cada vez mais notoriedade no combate a esses desafios, pois é considerado um conceito guarda-chuva que abrange uma gama de abordagens diferentes (Cohen-Shacham *et al.*, 2016). As práticas conservacionistas podem ser consideradas uma solução baseada na natureza para combater os picos de fluxo, a erosão do solo e a poluição de fontes difusas (Srivastava *et al.*, 2023). Nas últimas décadas, essas práticas de conservação provaram ser uma medida eficaz para prevenir ou minimizar a erosão do solo e os seus impactos negativos nas culturas, na água e nos solos (El Kadiri *et al.*, 2023).

O SWAT é um modelo hidrológico que pode ser usado para avaliar o impacto dos BMPs na poluição de fontes difusas e no abastecimento de água em áreas altamente propensas à erosão dentro de uma bacia hidrográfica (Arnold *et al.*, 1998; Nepal; Parajuli, 2022). Um de seus principais pontos fortes é uma estrutura flexível que permite a simulação de uma ampla variedade de práticas de conservação (Gassman *et al.*, 2007) por isso, este modelo tem uma longa tradição na avaliação na avaliação dessas práticas para diversas finalidades e em diversas partes do globo.

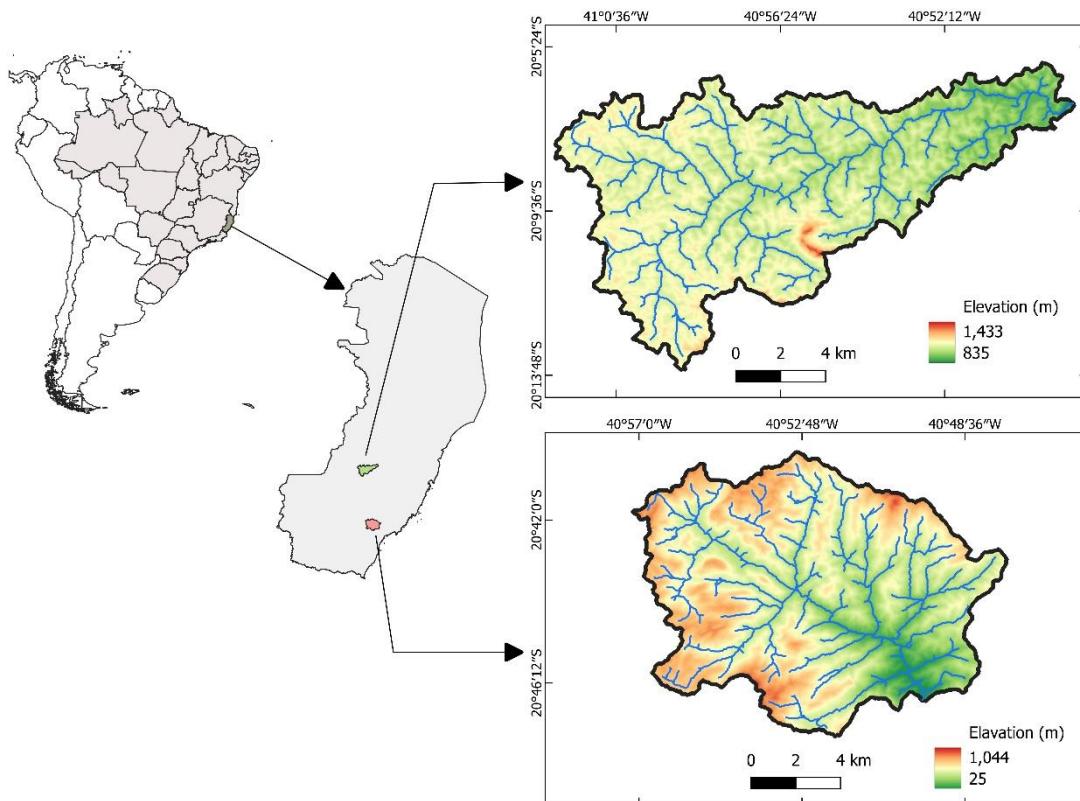
Uma nova versão desse modelo (SWAT+) conta com o novo esquema de discretização espacial, que melhora a representação de processos hidrológicos realistas desde encostas até canais, oferecendo uma heterogeneidade espacial melhorada e tornando-o mais adaptável que o SWAT na representação das interações e processos que ocorrem dentro de uma bacia hidrográfica (Bieger *et al.*, 2017). Essa versão, porém, não conta com muitos trabalhos que simularam o efeito das práticas conservacionistas nas bacias hidrográficas.

Este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito de 4 diferentes práticas conservacionistas em pequenas bacias hidrográficas com o SWAT+, considerando a variação da disponibilidade hídrica em duas bacias hidrográficas e abrindo uma investigação sobre a possibilidade do uso dessas práticas para ações de adaptabilidade climática e melhoria da disponibilidade hídrica.

METODOLOGIA

Para execução do trabalho foram escolhidas e modeladas duas bacias hidrográficas localizadas no estado do Espírito Santo, que foram delimitadas a montante de duas estações fluviométricas e foram nomeadas de Iconha e Rio Bonito. A localização das áreas de estudo e suas características hidrográficas e altimétricas podem ser vistas na Figura 1.

Figura 1 – Mapa de Localização e Hipsométrico das áreas de estudo



Os procedimentos metodológicos para realização do estudo foram iniciados com a aquisição dos dados geográficos e alfanuméricos necessários para realização da modelagem hidrológica das bacias no SWAT+. Posteriormente, a modelagem foi realizada e as bacias foram calibradas para o passo de tempo mensal e diário. Os períodos de simulação foram definidos de acordo com a disponibilidade de dados das estações fluviométricas perfazendo um total de 10 anos para Iconha (2007-2016) e 8 anos para Rio Bonito (2013-2020). Em ambas as bacias foram usados 3 anos de aquecimento para o modelo e os dois últimos anos usados para validação da calibração realizada.

Após criação dos cenários base, foram criados 4 cenários alternativos para cada uma das bacias. Esses cenários consistiram na aplicação das seguintes práticas conservacionistas: a) manejo de resíduos, b) cultivo em faixas, c) agricultura de contorno e d) terraços. Essas práticas foram implementadas nos usos agrícolas mais significativos de cada uma das bacias, a saber: Café, Alface, Banana, Eucalipto e Pastagem.

A simulação dessas práticas foi realizada pela alteração de alguns parâmetros do modelo com base na literatura disponível e nas experiências de simulação no SWAT (Arabi *et al.*, 2008; Nietz; Borst; Schubauer-Berigan, 2005; Silva *et al.*, 2023; Wischmeier; Smith, 1978).

Após a simulação dos cenários alternativos com aplicação das 4 práticas, os resultados de vazão no exutório de cada bacia foram comparados com cenário base para todo o período de simulação. Foi realizada uma avaliação para comparar a alteração das vazões médias, mínimas e máximas simuladas. Adicionalmente, uma comparação dos cenários em cada percentil da curva de permanência das bacias analisadas foi realizada a fim de melhor ilustrar os efeitos das práticas sobre a disponibilidade hídrica das bacias ao longo do tempo.

RESULTADOS

A fim de verificar a boa representatividade do modelo em termos da simulação dos processos e das vazões, a performance do cenário base foi avaliada conforme diferentes índices para os períodos de calibração e validação. Os índices foram considerados satisfatórios para ambas as bacias, mostrando um bom ajuste das curvas de vazão simulada pelo modelo e observadas pelas estações fluviométricas relacionadas, como pode ser visto nas figuras 2 e 3.

Figura 2 – Performance do cenário base na Bacia de Iconha (simulação mensal)

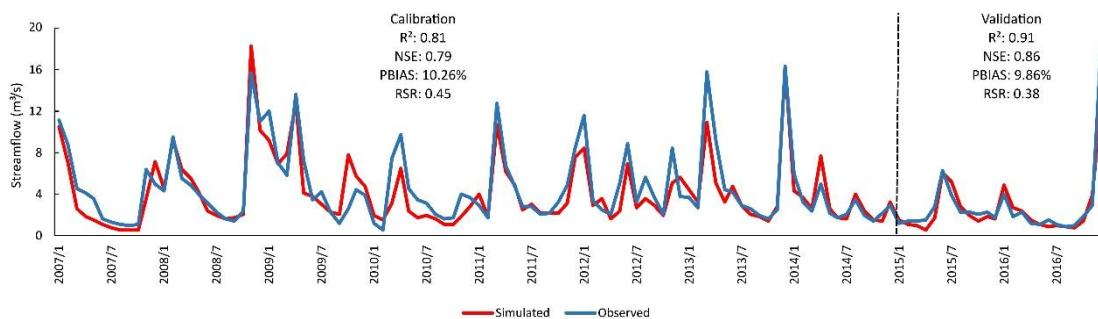
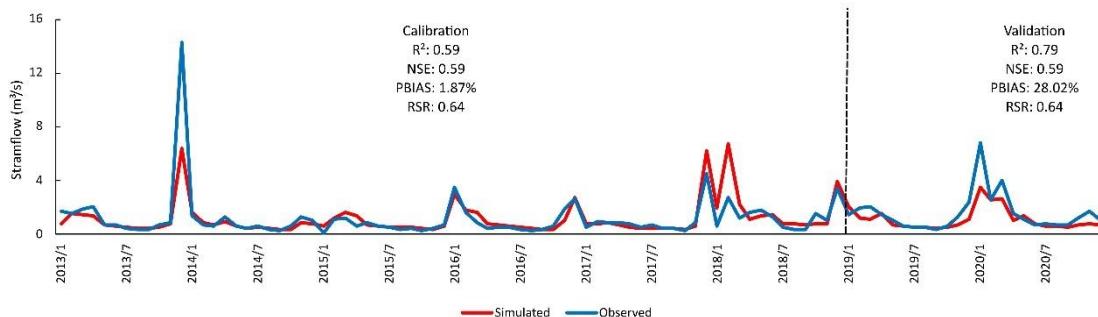


Figura 3 – Performance do cenário base na Bacia de Rio Bonito (simulação mensal)



Foi realizada uma comparação entre o cenário base e os 4 cenários alternativos em termos da alteração das 3 principais vazões de referência (média, mínima e máxima) para as bacias de Rio Bonito (RBO) e Ikonha (ICO). As alterações percentuais podem ser vistas na tabela 1.

Tabela 1 – Variação das vazões médias (%), mínimas e máximas em relação ao cenário base.

Vazão de referência	Agricultura de Contorno	Manejo de Resíduos	Cultivo em Faixas	Terraços
RBO Média	-1.11	-0.77	-1.00	-2.34
RBO Mínima	1.00	1.00	1.00	2.66
RBO Máxima	-1.79	-1.79	-11.01	-9.23
ICO Média	-0.16	-0.10	2.49	-0.56
ICO Mínima	0.76	0.76	12.63	8.84
ICO Máxima	-0.35	-2.09	-9.23	-1.39

Embora a redução da vazão média possa parecer um resultado negativo da implantação das práticas conservacionistas, uma avaliação mais detalhada foi realizada para avaliar a variação do perfil das curvas de permanência, mostrando como as mudanças na vazão ocorreram entre os percentis 1 e 99. Essa avaliação mostra que a redução das vazões médias se dá principalmente por causa das variações negativas das vazões mais altas onde o volume de água é consideravelmente maior que nas vazões regulares e de estiagem, como pode ser observado nas figuras 4 e 5.

Figura 4 – Variação da vazão entre o cenário base e cada um dos cenários conservacionistas ao longo da curva de permanência na Bacia de Rio Bonito

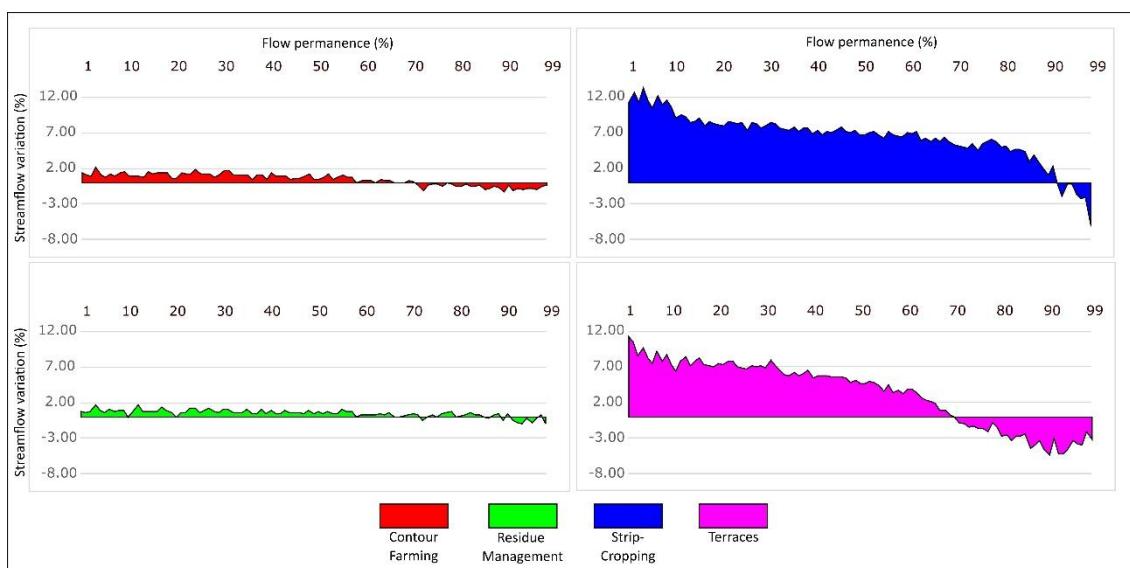
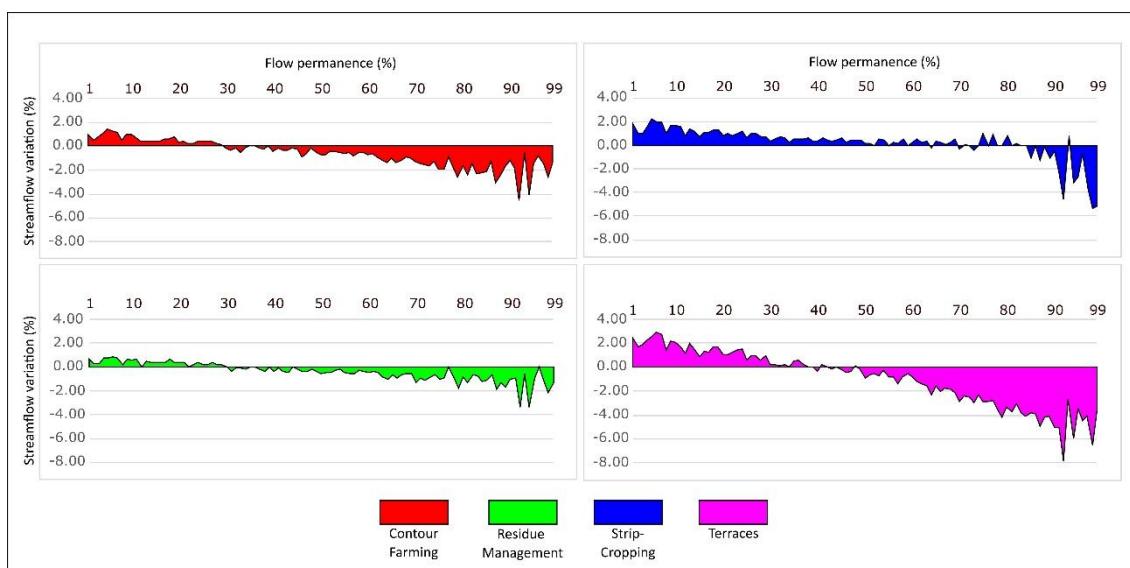


Figura 5 – Variação da vazão entre o cenário base e cada um dos cenários conservacionistas ao longo da curva de permanência na Bacia de Iconha



As vazões mínimas tiveram aumento em todos 4 os cenários. Esses aumentos variaram entre 0,76% e 12,63% em Iconha e entre 1% e 2,66% em Rio Bonito. A vazão de referência utilizada para outorga de recursos hídricos nas áreas de estudo (Q90), equivalente ao percentil 10, também teve aumento em ambas as bacias. Em Rio Bonito o aumento dessa vazão variou entre 0,71% e 2,12%, mas em Iconha os aumentos foram mais representativos e chegaram a 10,64%. Por outro lado, a comparação das vazões máximas obtidas nos cenários demonstrou uma tendência de redução em todas as simulações.

O ponto mais interessante de se destacar é que as práticas conservacionistas não só aumentam as vazões de estiagem, mas tendem a aumentar também uma grande faixa da curva de permanência, podendo com isso aumentar a quantidade de água disponível para captação por longos períodos.

O aumento das vazões de permanência pode proporcionar uma maior capacidade de captação para os usuários de recursos hídricos sem prejudicar os usuários localizados à jusante da bacia. Isso pode ser uma alternativa valiosa na equalização de conflitos por água e contribuir significativamente na garantia da disponibilidade hídrica de bacias de afetadas por estiagens. Por outro lado, a redução das vazões de pico pode colaborar com a redução dos danos causados pelas enchentes e chuvas torrenciais que ocorrem com frequência nas áreas de estudo.

CONCLUSÃO

Os métodos de aplicação e parâmetros utilizados para implementação das práticas conservacionistas no SWAT+ foram os mesmos para ambas as bacias. Por isso, conclui-se que as diferenças observadas entre a performance estão associadas ao tipo de cultura agrícola e às características físicas (solo, relevo, vegetação) existentes em cada bacia.

O modelo SWAT+ pode ser uma valiosa ferramenta para avaliação individual de bacias e suporte à gestão local de recursos hídricos, indicando as potencialidades de cada uma das práticas conservacionistas no perfil de vazão das bacias.

Com as mudanças climáticas os efeitos nas vazões próximas às máximas e às mínimas tendem a ser mais importantes que a média. Assim, a análise da alteração da vazão ao longo da curva de permanência da vazão é uma ferramenta valiosa para avaliação dos cenários simulados e mostra que diante do aumento das vazões de pico e do prolongamento dos episódios de estiagem provocadas por eventos climáticos extremos, a aplicação dessas práticas pode ser uma alternativa muito útil para amenizar os impactos e contribuir para a adaptabilidade às mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

ARABI, M.; FRANKENBERGER, J. R.; ENGEL, B. A.; ARNOLD, J. G. Representation of agricultural conservation practices with SWAT. **Hydrological Processes**, [s. l.], v. 22, n. 16, p. 3042–3055, 2008. <https://doi.org/10.1002/hyp.6890>.

ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMS, J. R. Large Area Hydrologic Modeling and Assessment Part I: Model Development1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, [s. l.], v. 34, n. 1, p. 73–89, 1998. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x>.

BIEGER, K.; ARNOLD, J. G.; RATHJENS, H.; WHITE, M. J.; BOSCH, D. D.; ALLEN, P. M.; VOLK, M.; SRINIVASAN, R. Introduction to SWAT+, A Completely Restructured Version of the Soil and Water Assessment Tool. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, [s. l.], v. 53, n. 1, p. 115–130, fev. 2017. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12482>.

COHEN-SHACHAM, E.; WALTERS, G.; JANZEN, C.; MAGINNIS, S. (Orgs.). **Nature-based solutions to address global societal challenges**. [S. l.]: IUCN International Union for Conservation of Nature, 2016. DOI 10.2305/IUCN.CH.2016.13.en. Disponível em: <https://portals.iucn.org/library/node/46191>. Acesso em: 17 abr. 2024.

ELKADIRI, R.; MOMM, H. G.; BINGNER, R. L.; MOORE, K. Spatial Optimization of Conservation Practices for Sediment Load Reduction in Ungauged Agricultural Watersheds. **Soil Systems**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 4, 13 jan. 2023. <https://doi.org/10.3390/soilsystems7010004>.

GASSMAN, P. W.; M. R. REYES; C. H. GREEN; J. G. ARNOLD. The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Applications, and Future Research Directions. **Transactions of the ASABE**, [s. l.], v. 50, n. 4, p. 1211–1250, 2007.
<https://doi.org/10.13031/2013.23637>.

LEBU, S.; LEE, A.; SALZBERG, A.; BAUZA, V. Adaptive strategies to enhance water security and resilience in low- and middle-income countries: A critical review. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 925, p. 171520, maio 2024.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171520>.

NEPAL, D.; PARAJULI, P. B. Assessment of Best Management Practices on Hydrology and Sediment Yield at Watershed Scale in Mississippi Using SWAT. **Agriculture**, [s. l.], v. 12, n. 4, p. 518, abr. 2022. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040518>.

NIETCH, C. T.; BORST, M.; SCHUBAUER-BERIGAN, J. P. Risk Management of Sediment Stress: A Framework for Sediment Risk Management Research. **Environmental Management**, [s. l.], v. 36, n. 2, p. 175–194, ago. 2005. <https://doi.org/10.1007/s00267-004-0005-1>.

SILVA, T. P.; BRESSIANI, D.; EBLING, É. D.; REICHERT, J. M. Best management practices to reduce soil erosion and change water balance components in watersheds under grain and dairy production. **International Soil and Water Conservation Research**, [s. l.], , p. S2095633923000424, jul. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.06.003>.

SRIVASTAVA, S.; BASCHE, A.; TRAYLOR, E.; ROY, T. The efficacy of conservation practices in reducing floods and improving water quality. **Frontiers in Environmental Science**, [s. l.], v. 11, p. 1136989, 15 maio 2023. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1136989>.

TEIXEIRA, A. L. D. F.; BHADURI, A.; SIEFERT, C. A. C.; IFTEKHAR, M. S.; BUNN, S. E.; SOUZA, S. A. D.; GONÇALVES, M. V. C.; COSTA, L. C. D. Water security threats and solutions in the Grande River basin – One of the Brazilian agricultural frontiers. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 906, p. 167351, jan. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167351>.

UNIYAL, B.; JHA, M. K.; VERMA, A. K.; ANEBAGILU, P. K. Identification of critical areas and evaluation of best management practices using SWAT for sustainable watershed management.

Science of the Total Environment, [s. l.], v. 744, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140737>.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning - Agricultural Handbook N. 537. [S. l.]: US Department of Agriculture, 1978. Disponível em: https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/64080530/RUSLE/AH_537.pdf.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à pesquisa do Espírito Santo – FAPES, pelo financiamento que permitiu a realização desta pesquisa.