

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

DESENVOLVIMENTO DE INTERFACE QGIS PARA MODELAGEM HIDROSEDIMENTOLÓGICA COM O MGB-SED: APLICAÇÃO NA BACIA DO RIO ITAPEMIRIM (ES)

*Murilo Brazzali Rodrigues¹ ; Mino Viana Sorribas² ; Diogo Costa Buarque³; Lizandra Broseghini
Föeger⁴; Geraldo André Rosseto Barreto⁵ & Fabrício Raig Dias Lima⁶*

Abstract: Soil erosion is a natural process that has been intensified by changes in land use and land cover resulting from human activities. Its negative impacts - such as nutrient loss, soil compaction, reduced agricultural productivity, and silting of water bodies - pose a significant challenge to environmental management. In this context, hydro-sedimentological models emerge as fundamental tools for understanding the dynamics of sediment generation and transport in river basins, supporting the development of effective control and recovery strategies. This study presents the development of a user interface for the MGB-SED model, integrated into the free software environment QGIS. The interface was designed to simplify the application of the model, facilitating both the preparation of input data and the visualization and analysis of results. As a case study, the tool was applied to the Itapemirim River basin (ES), demonstrating its effectiveness in simulating sediment generation and transport, as well as in the spatial identification of critical areas. The results show that the developed interface optimizes the modeling process, making it more accessible and efficient.

Resumo: A erosão do solo é um processo natural que tem sido intensificado pelas alterações no uso e cobertura do solo decorrentes de atividades humanas. Seus impactos negativos – como perda de nutrientes, compactação do solo, redução da produtividade agrícola e assoreamento de corpos hídricos – representam um desafio significativo para a gestão ambiental. Diante desse contexto, os modelos hidrossedimentológicos emergem como ferramentas fundamentais para entender a dinâmica de geração e transporte de sedimentos em bacias hidrográficas, subsidiando a elaboração de estratégias eficazes de controle e recuperação. Este estudo apresenta o desenvolvimento de uma interface de usuário para o modelo MGB-SED, integrada ao ambiente do software livre QGIS. A interface foi projetada para simplificar a aplicação do modelo, facilitando tanto a preparação dos dados de entrada quanto a visualização e análise dos resultados. Como estudo de caso, a ferramenta foi aplicada na bacia hidrográfica do rio Itapemirim (ES), demonstrando sua eficácia na simulação da geração e transporte de sedimentos, bem como na identificação espacial de áreas críticas. Os resultados evidenciam que a interface desenvolvida otimiza o processo de modelagem, tornando-o mais acessível e eficiente.

Palavras-Chave – Erosão do solo; geração e transporte de sedimentos

1) Labhig, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES (murilo.b.rodrigues@ufes.br)

2) Labhig, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES; Núcleo de Análises Ambientais, Centro de Pesquisa Inovação e Desenvolvimento, Caracica-ES (mino.sorribas@gmail.com)

3) Labhig, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES (diogo.buarque@ufes.br)

4) Labhig, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES (lizandrabf@gmail.com)

5) Labhig, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES (gandrebarreto@hotmail.com)

6) Labhig, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES (fabricioraigdiaslima@gmail.com)

INTRODUÇÃO

A erosão do solo é um processo natural, no entanto, mudanças no uso e cobertura do solo devido às atividades humanas têm potencializado esse processo (Schwamback *et al.*, 2024). Entre as consequências da erosão do solo nas bacias hidrográficas estão incluídas a compactação, perda de matéria orgânica e estrutura do solo, problemas de drenagem, redução de nutrientes, produtividade e rendimento agrícola, assoreamento de rios e reservatórios dentre outros (Selmy *et al.*, 2021).

O desenvolvimento e aplicação de ferramentas para auxiliar os gestores na definição de estratégias para reduzir a erosão do solo são fundamentais. Nesse contexto, modelos de erosão e transporte de sedimentos são ferramentas essenciais para entender e prever a erosão do solo devido à vários fatores naturais e antropogênicos, além de possibilitar o planejamento para a implementação de medidas de controle, preventivas e restaurativas (Borrelli *et al.*, 2021).

Além disso, a integração da modelagem hidrossedimentológica com sistemas de informação geográfica (SIG) permite analisar a distribuição espacial da geração de sedimentos causada pela erosão do solo. Essa abordagem facilita a identificação dos trechos de rios com maior transporte de sedimentos, sendo fundamental para definir áreas prioritárias para a implementação de medidas de controle da erosão. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar uma interface de usuário desenvolvida para o modelo MGB-SED, criado por (Buarque, 2015), integrada ao *software Open Source* QGIS. Como estudo de caso, o plugin foi aplicado para gerar os dados de entrada do MGB-SED referentes à bacia hidrográfica do rio Itapemirim (ES), além de permitir a visualização gráfica e cartográfica dos resultados da simulação.

METODOLOGIA

Modelo MGB-SED

O modelo hidrossedimentológico de grandes bacias, MGB-SED, é um modelo de erosão e transporte de sedimentos desenvolvido por Buarque, (2015) que funciona integrado ao Modelo de Grandes Bacias (MGB) (Collischonn *et al.*, 2007; Paiva *et al.*, 2011; Pontes *et al.*, 2017). Na integração entre os modelos, a simulação hidrológica é realizada pelo MGB e a simulação de sedimentos pelo MGB-SED que é responsável pela estimativa da geração de sedimentos na bacia e o transporte de sedimentos nos rios.

O MGB-SED é formado por três módulos: bacia, rio e planície. No módulo de bacia é estimada a geração de sedimentos em cada minibacia (área de contribuição de cada trecho de drenagem), por meio da equação Universal de Perda de Solo Modificada (MUSLE) (Williams, 1975), representada pela Equação 1.

$$SED_{i,j} = \alpha * (Dsup_{i,j} * qpico_{i,j} * Ap_{i,j})^{\beta} * K_j * C_j * P_j * LS_{i,j} * FG_j \quad (1)$$

Na equação 1, SED [t] é a carga de sedimentos resultante da erosão do solo, i e j são índices que indicam as minibacias e a URH, α e β são coeficientes de ajuste, D_{sup} [mm/ha] é o volume de escoamento superficial, $qpico$ [m³/s] é a taxa de pico do escoamento superficial, Ap [ha] é a área superficial do pixel, K [0,013.t.m².h/m³.t.cm] é o fator de erodibilidade do solo, C [-] é o fator de cobertura e manejo do solo, P [-] é o fator de práticas conservacionistas, LS [-] é o fator topográfico, FG_j é o fator de rochas.

O volume de sedimentos gerado pela MUSLE é dividido em três classes de partículas de acordo com o percentual de cada uma delas existentes no solo: silte, argila e areia. Adicionalmente,

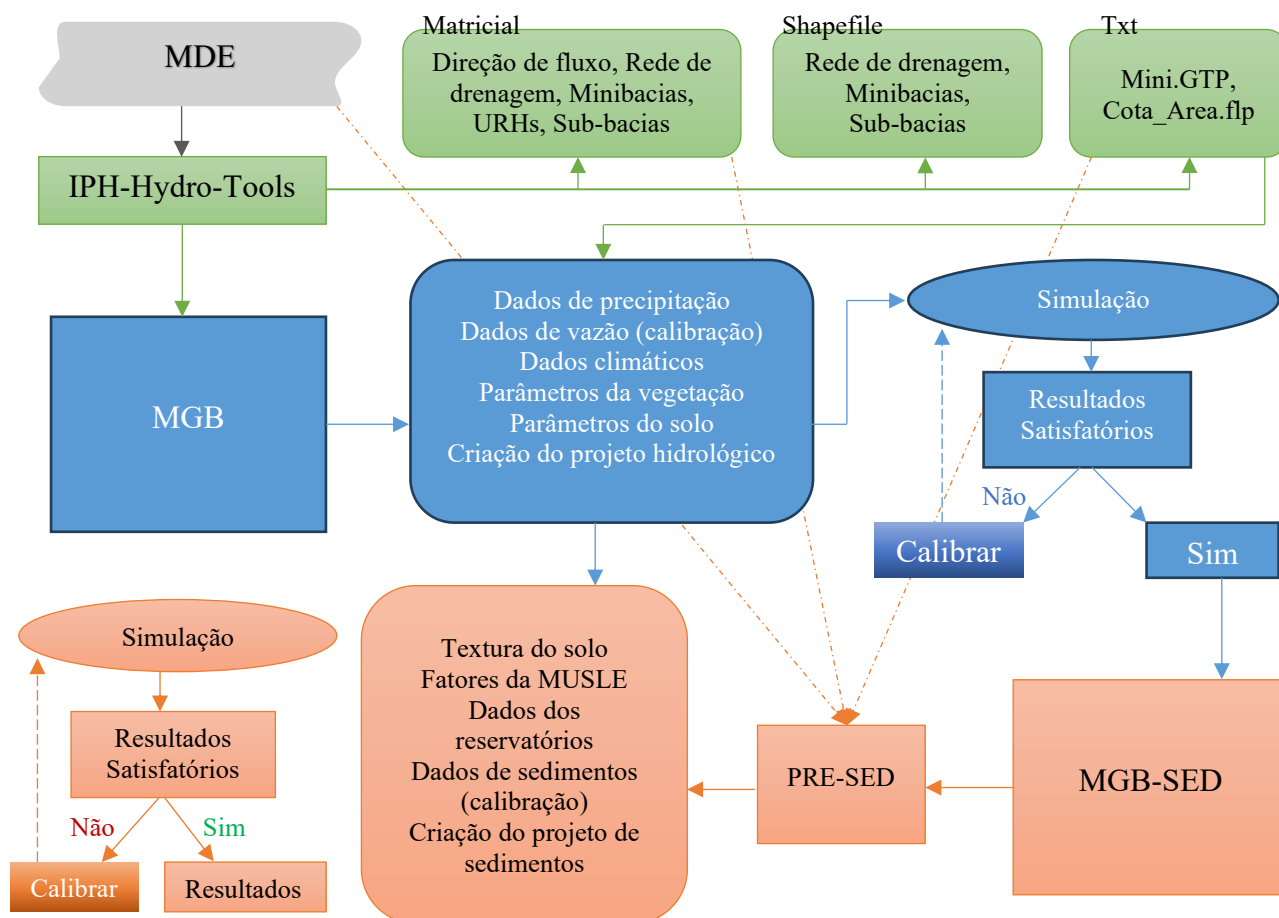
MGB-SED ainda permite retardar a entrada da carga de sedimentos na rede de drenagem, utilizando-se de reservatórios lineares combinados a um coeficiente de retardo (TKS, também considerado como calibrável).

No módulo de rios, partículas de silte e argila são transportadas em suspensão, enquanto a areia é transportada como carga de fundo. No módulo de planícies, a deposição de sedimentos em suspensão nas planícies de inundação é considerada. O MGB-SED permite ainda, considerar e avaliar a influência de reservatórios na propagação das vazões em seu interior e seus efeitos sobre o transporte de sedimentos. O equacionamento e detalhamento metodológico do modelo MGB-SED encontram-se disponíveis em Buarque, 2015; Föeger *et al.*, 2022; Fagundes *et al.*, 2023.

Interface MGB-SED

A interface proposta para o MGB-SED foi desenvolvida em linguagem *python* e *C#* como complemento ao *software Open Source* QGIS 3.38 e versões superiores. A figura 1 apresenta o procedimento clássico de aplicação do plugin do MGB-SED. Inicialmente, é necessário realizar processamento topográfico da bacia hidrográfica utilizando modelo digital de elevação para posterior simulação hidrológica com MGB. Finalizada a calibração hidrológica, obtêm-se os arquivos de entrada adicionais do MGB-SED, seguido de sua simulação e calibração, se houver dados observados de sedimentos disponíveis.

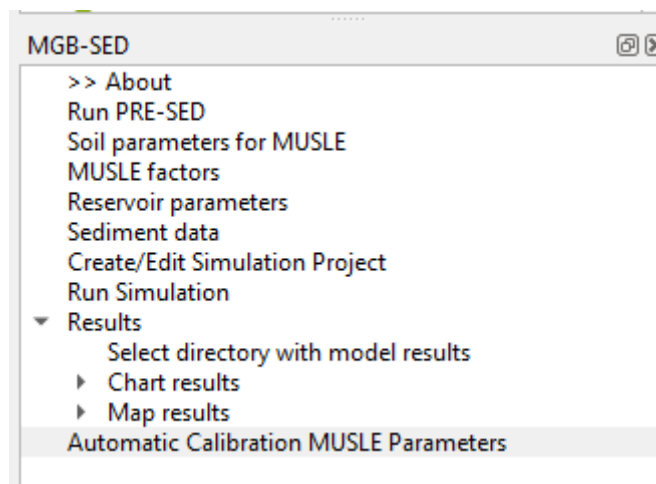
Figura 1 – Representação das etapas para a aplicação do MGB-SED no QGIS.



Como informado anteriormente, a aplicação do MGB-SED é condicionada à aplicação prévia do modelo MGB, o que inclui a obtenção dos seus arquivos de entrada e calibração hidrológica. A

interface do MGB-SED apresentada na figura 2, por sua vez, reúne funções para obtenção dos dados de entrada para a simulação de sedimentos, são elas:

Figura 2 – Recorte da interface do MGB-SED no QGIS.



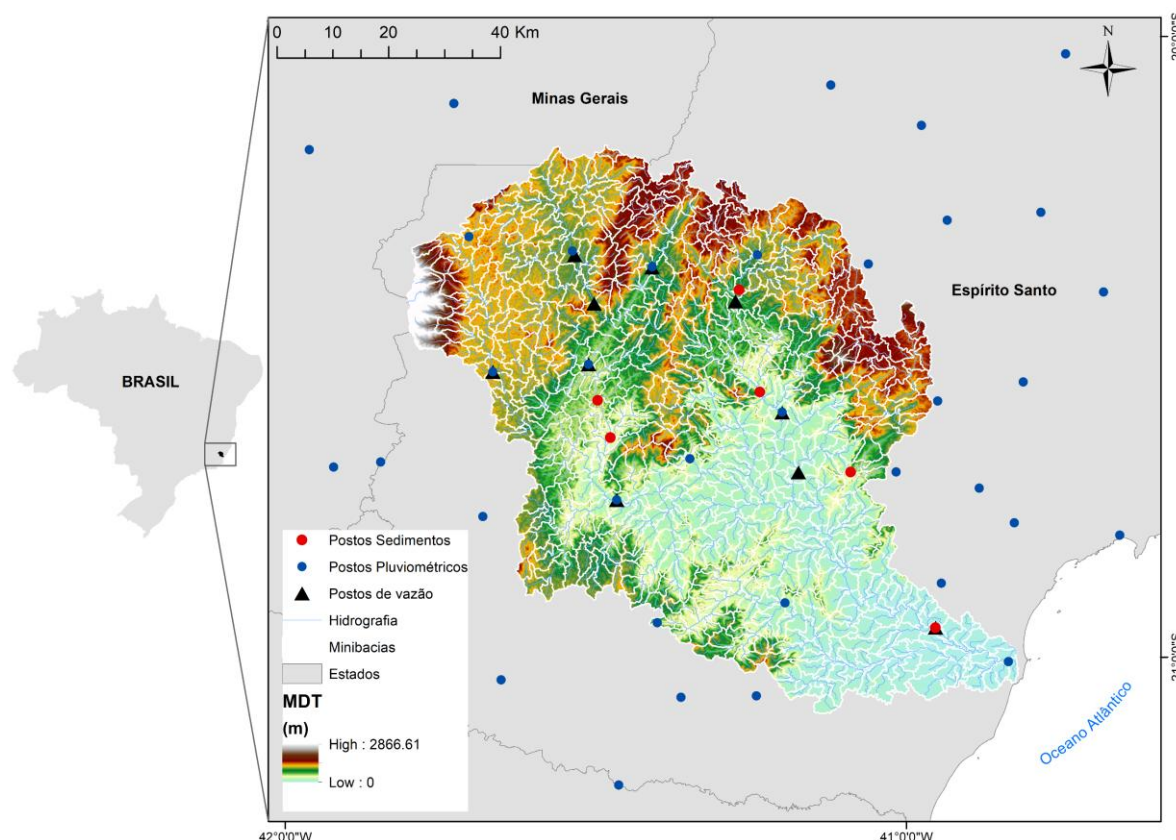
- Run PRE-SED – Algoritmo que utiliza os arquivos matriciais de delimitação da bacia hidrográfica de interesse para estimar, por unidade de resposta hidrológica (URH) e minibacia, o fator LS bidimensional da MUSLE, contagem das URHs e estimativa da taxa de entrega de sedimentos.
- Soil parameters for MUSLE – Função para configuração do arquivo que reúne informações sobre a textura do solo por URH e por sub-bacia. São necessárias informações sobre a porcentagem de areia, silte, argila, matéria orgânica e rocha para cada tipo de solo.
- MUSLE factors – Função para configuração do arquivo que reúne informações sobre os demais parâmetros da MUSLE por URH e por sub-bacia. São necessárias informações como os parâmetros de erodibilidade do solo (K), Cobertura e manejo do solo (C), Práticas conservacionistas (P), Fator de rochas (FG).
- Reservoirs parameters – Função para configuração dos arquivos que reúnem informações dos reservatórios a serem considerados na modelagem (opcional).
- Sediment data – Função para manipular e gerar os arquivos com dados de sedimentos observados obtidos do Hidro-WEB ou em fonte externa (em formato específico).
- Create/Edit Simulation Project – Função para criar o projeto para a simulação de sedimentos. Será necessário informar os arquivos a serem utilizados na simulação. Inclui ainda a geração do arquivo de calibração do MGB-SED.
- Run Simulation – Definição dos parâmetros finais e escolha do diretório onde o projeto será criado e executado.
- Results – Menu com múltiplas opções para visualização dos resultados em forma gráfica ou cartográfica. Em um submenu específico o usuário deverá indicar as pastas de dados de entrada e saída do modelo, além de arquivos vetoriais obtidos na etapa de delimitação da bacia. Esta etapa é necessária, pois, diferente do modelo MGB, no MGB-SED o usuário pode salvar os dados da simulação em qualquer diretório do computador.
- Automatic Calibration MUSLE Parameters – Ainda não disponível (em desenvolvimento).

Estudo de caso – Bacia hidrográfica do rio Itapemirim.

Para aplicação do plugin desenvolvido, foi escolhida a bacia hidrográfica do rio Itapemirim localizada na região Sul do Estado do Espírito Santo e apresentada na figura 3, devido a disponibilidade de dados hidrológicos e de sedimentos para ajuste do modelo. A bacia possui área de drenagem de aproximadamente 6000 km², onde estão localizados, total ou parcialmente, 17 municípios do estado do Espírito Santo e 1 de Minas Gerais. Os maiores acumulados pluviométricos da bacia são registrados nas regiões de topografia acidentada podendo alcançar 1733 mm/ano, enquanto sua região costeira registra 919 mm/ano (AGERH, IJSN 2018).

Para delimitação da bacia hidrográfica do rio Itapemirim e apropriação de seus dados topológicos foi empregado o complemento IPH-Hydro Tools (Siqueira et al., 2016) na manipulação do modelo digital de terreno (MDT) para América do Sul (ANADEM) (Laipelt et al., 2024). O MDT possui resolução espacial de 30 metros. Foram utilizadas as URHs propostas por Sorribas *et al.* (2024) construídas com dados do MapBiomas referente ao mapeamento do ano 2000 e dados de tipos de solo disponibilizados pelo IBGE. Ainda de acordo com Sorribas *et al.* (2024) uso do solo da bacia é formado principalmente por pastagens (42,2%), agricultura (27,4%) e florestas (26,6%).

Figura 3 – Localização da bacia hidrográfica do rio Itapemirim.



Realizado o processamento, foram obtidos dados hidrológicos (vazão e precipitação) por meio do Hidro-Web. Foram selecionadas 36 estações de chuva (localizadas na bacia ou em áreas circunvizinhas) e 10 estações de vazão. Os dados climáticos utilizados foram os disponíveis na base do MGB, e os dados de vegetação foram reproduzidos de Fagundes *et al.* (2019). Para avaliar a calibração hidrológica foram empregadas as métricas de desempenho NSE, NSElog, Pbias.

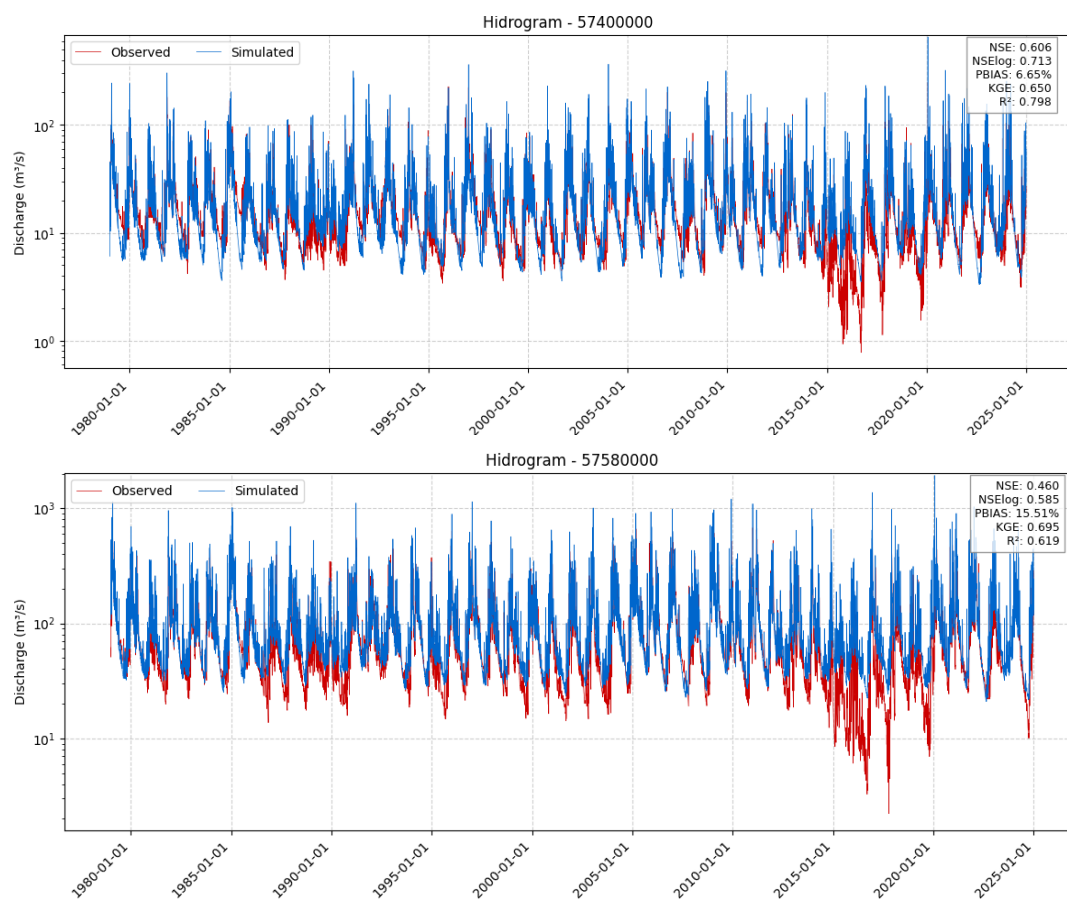
Processos e dados adicionais para a modelagem de sedimentos envolveram a execução do PRE-SED, a definição de dados de textura do solo e dos fatores da MUSLE que também foram reproduzidos de Fagundes *et al.* (2019). Em 2018 ano de publicação do plano de recursos hídricos da bacia, foram identificados 9 empreendimentos hidrelétricos e outros 8 em planejamento (AGERH, IJSN 2018). Todavia, neste estudo não foram considerados efeitos dos reservatórios sobre a dinâmica da vazão e sedimentos na bacia.

Foram identificadas seis estações de medição de sedimentos e de vazão, o que permite obter dados de descarga sólida. Assim, a calibração dos sedimentos foi realizada através da comparação dos dados simulados e observados de concentração de sedimentos em suspensão (CSS) e descarga sólida (QSS) nos dias em que foram efetuadas medições de dados observados. A maioria das estações têm dados de sedimentos disponíveis entre 2012 e 2023, com uma média de quatro medições anuais. Para avaliar a calibração dos sedimentos foram utilizadas diferentes métricas de desempenho. Para a calibração hidrológica e de sedimentos foi utilizado o período de simulação diária entre 1979 e 2024.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na calibração hidrológica, em sete das dez estações de vazão consideradas, foram obtidos valores de NSE superiores a 0,5, considerados, no mínimo, satisfatórios por Moriasi *et al.* (2007). Em relação à NSElog, todas as estações apresentaram valores superiores ou iguais a 0,5. A figura 4 apresenta os hidrogramas simulados e observados para as estações Itaici (57400000) e Usina Paineiras (57580000), bem como as métricas de desempenho calculadas pela interface do MGB-SED.

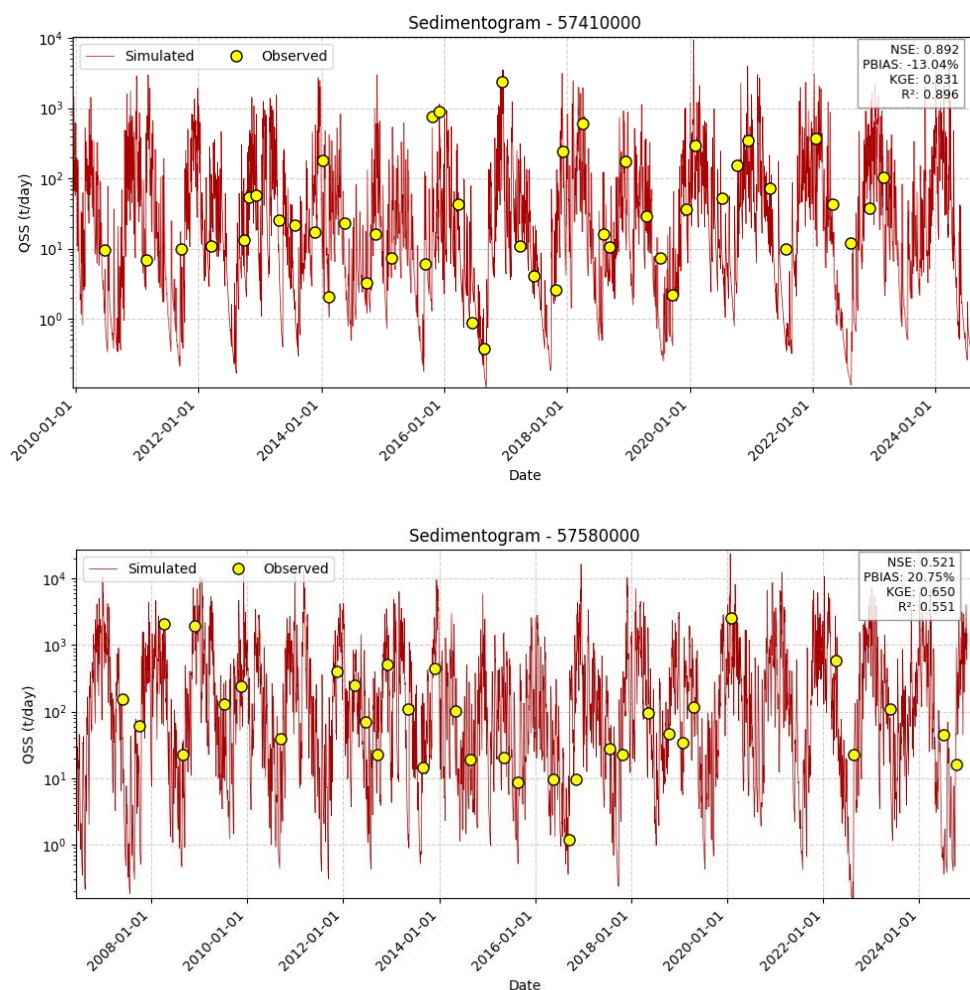
Figura 4 – Hidrogramas simulados e observados para as estações Itaici e Usina Paineiras.



Constata-se que o modelo hidrológico representou de forma satisfatória a vazão observada na estação Itaici e um desempenho aceitável na estação Usina Paineiras, próxima da foz. É importante salientar que a calibração hidrológica teve como objetivo ajustar de forma aceitável as vazões para a simulação subsequente de sedimentos.

Em relação aos resultados da calibração de sedimentos, as melhores métricas de desempenho foram obtidas para a descarga sólida (QSS) em comparação com a concentração de sedimentos em suspensão (CSS). Em quatro das seis estações avaliadas foram obtidos valores de KGE superiores a 0,5 para QSS e em duas estações para CSS, considerado nesse estudo como aceitável. Na figura 5 está apresentado a QSS simulada e observada nas estações PCH São Simão Montante 1 (57410000) e Usina Paineiras (estações de sedimentos mais a montante e jusante do rio Itapemirim). Os gráficos da figura 5 foram gerados na interface do MGB-SED e ajustados manualmente para melhor visualizar o período de dados observados. Figuras similares podem ser obtidas para CSS.

Figura 5 – Descarga sólida em suspensão simulada e observada para as estações PCH São Simão Montante 1 e Usina Paineiras.



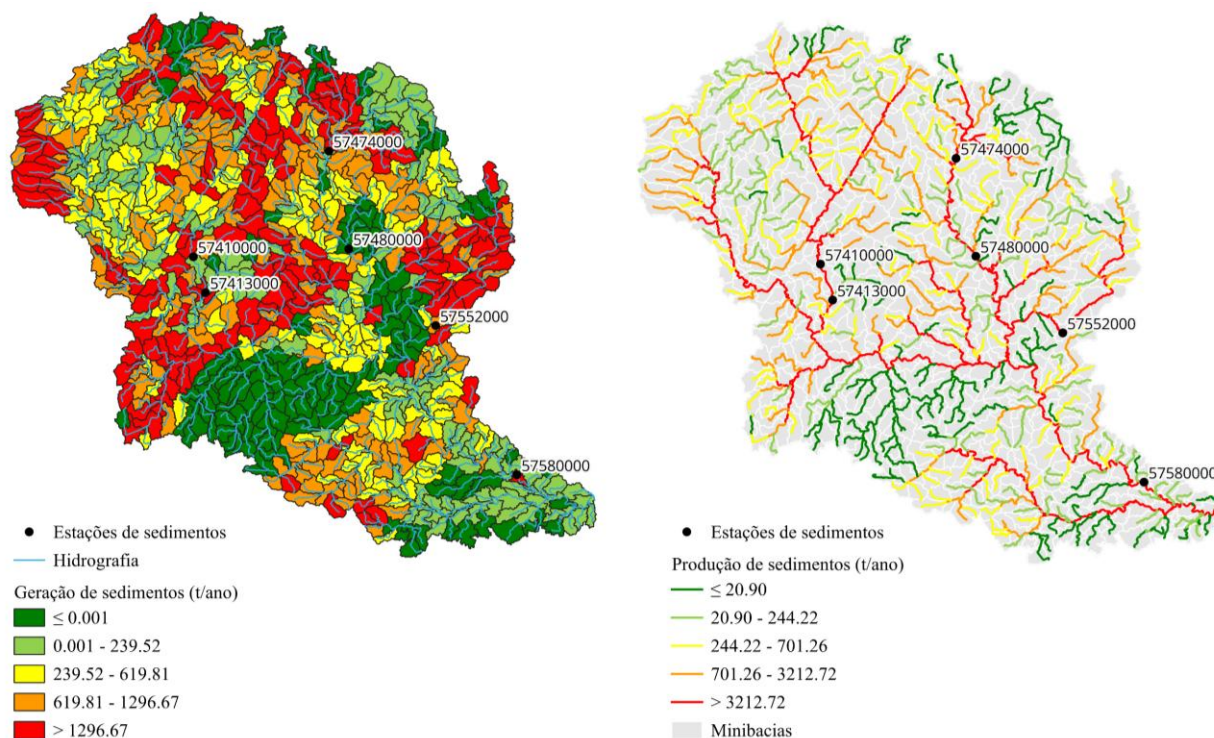
Conforme mencionado na área de estudo, a bacia do rio Itapemirim apresenta um elevado número de reservatórios de empreendimentos hidrelétricos que não foram considerados na simulação, uma vez que os reservatórios retêm sedimentos e podem influenciar a dinâmica hidrológica da bacia. Adicionalmente, o ajuste hidrológico não representou de forma satisfatória algumas recessões nos

hidrogramas resultantes de estiagens ou secas, principalmente a que ocorreu entre os anos de 2015 e 2016.

A figura 6 mostra a distribuição espacial da carga média anual de sedimentos (t/ano) estimada em cada minibacia e aportada à rede de drenagem no período entre 1979 e 2024. Adicionalmente, também é apresentada a distribuição espacial do transporte de sedimentos para o mesmo período. A categorização dos dados para visualização foi executada apenas para facilitar a exibição de resultados pela interface do MGB-SED. Cabe ao utilizador, a partir dos dados de saída do modelo, executar as suas próprias análises ou, a partir dos resultados disponibilizados pela interface nos arquivos shapefile, proceder à sua própria classificação. A visualização de dados de média diária de CSS e QSS também estão disponíveis na interface do MGB-SED.

Em relação a geração de sedimentos, as maiores cargas foram estimadas nas porções mais elevadas da bacia, que apresentam alta declividade e altos índices pluviométricos, em comparação as regiões com relevo mais plano próximo a foz da bacia, que apresentaram as menores cargas de sedimentos e menores acumulados pluviométricos. A geração média de sedimentos para a bacia do rio Itapemirim entre 1979 e 2024 foi estimada em $5,09 \times 10^5$ t/ano, utilizando os dados de saída do modelo MGB-SED.

Figura 6 – Geração de sedimentos e produção de sedimentos média anual estimada pelo MGB-SED para a bacia hidrográfica do rio Itapemirim.



Em relação a produção de sedimentos, observa-se que trechos de drenagem da bacia do rio Itapemirim transportam mais de 3112,72 t/ano de sedimentos. Em média o rio Itapemirim aporta em sua zona estuarina no Oceano Atlântico o equivalente a $2,02 \times 10^5$ t/ano de sedimentos.

CONCLUSÕES

Considerando o trabalho realizado, conclui-se que:

- O MGB-SED conseguiu reproduzir a dinâmica hidrosedimentológica da bacia do rio Itapemirim de forma satisfatória, mesmo sem considerar os reservatórios.
- A integração do modelo à plataforma QGIS facilitou significativamente o manuseio dos dados de entrada e a visualização dos resultados, tornando o processo mais acessível para usuários com diferentes níveis de experiência.
- A interface gráfica no QGIS contribuiu para a análise espacial e temporal dos dados simulados, ampliando o potencial de uso da ferramenta em estudos aplicados de gestão de recursos hídricos. Além de poder auxiliar a etapa de calibração de sedimentos.
- Os resultados preliminares indicam que a ferramenta possui potencial para ser aplicada em outras bacias hidrográficas, servindo como apoio à tomada de decisão em contextos de planejamento e manejo ambiental.

REFERÊNCIAS

Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH); Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN). diagnóstico e prognóstico das condições de uso da água da bacia do rio Itapemirim. Vitória, 2018.

Borrelli, P.; Alewell, C.; Alvarez, P.; Anache, J. A. A.; Baartman, J.; Ballabio, C.; Bezak, N.; Biddoccu, M.; Cerdà, A.; Chalise, D.; Chen, S.; Chen, W.; De Girolamo, A. M.; Gessesse, G. D.; Deumlich, D.; Diodato, N.; Efthimiou, N.; Erpul, G.; Fiener, P.; ... Panagos, P. (2021). “*Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis*.” Science of The Total Environment, 780, 146494. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.146494>

Buarque, D. C. (2015). “*Simulação da geração e transporte de sedimentos em grandes bacias: Estudo de caso do rio Madeira*” [Tese Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental]. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Collischonn, W.; Tucci, C. E. M. (2001). “*Simulação Hidrológica de grandes Bacias*.” Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 6(1), 95–118. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v6n1.p95-118>

Fagundes, H. de O.; Fan, F. M.; de Paiva, R. C. D. (2019). Automatic calibration of a large-scale sediment model using suspended sediment concentration, water quality, and remote sensing data. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 24. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.241920180127>

Fagundes, H. de O.; Fleischmann, A. S.; Fan, F. M.; Paiva, R. C. D.; Buarque, D. C.; Siqueira, V. A.; Collischonn, W.; Borrelli, P. (2023). “*Human-Induced Changes in South American River Sediment Fluxes From 1984 to 2019*.” Water Resources Research, 59(6), 163056. <https://doi.org/10.1029/2023WR034519>

Föeger, L. B.; Buarque, D. C.; Pontes, P. R. M.; Fagundes, H. de O.; Fan, F. M., (2022). Large-scale sediment modeling with inertial flow routing: Assessment of Madeira river basin. *Environmental Modelling & Software*, 149, 105332. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105332>

Paiva, R. C. D.; Collischonn, W.; Tucci, C. E. M. (2011). “*Large scale hydrologic and hydrodynamic modeling using limited data and a GIS based approach*.” Journal of Hydrology, 406(3–4), 170–181. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.06.007>

Pontes, P. R. M., Fan, F. M., Fleischmann, A. S., de Paiva, R. C. D., Buarque, D. C., Siqueira, V. A., Jardim, P. F., Sorribas, M. V., & Collischonn, W. (2017). “*MGB-IPH model for hydrological and*

hydraulic simulation of large floodplain river systems coupled with open source GIS.” Environmental Modelling & Software, 94, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.03.029>

Schwamback, D.; Amorim Brandão, A. R.; Rosalem, L. M. P.; Oliveira, P. T. S.; Anache, J. A. A.; Wendland, E.; Berndtsson, R.; Persson, M. (2024). “*Land use transformations in the Brazilian Savanna: A decade of soil erosion and runoff measurements.*” CATENA, 246, 108412. <https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2024.108412>

Selmy, S. A. H.; Abd Al-Aziz, S. H.; Jiménez-Ballesta, R.; García-Navarro, F. J.; Fadl, M. E. (2021). “*Modeling and Assessing Potential Soil Erosion Hazards Using USLE and Wind Erosion Models in Integration with GIS Techniques: Dakhla Oasis, Egypt.*” Agriculture, 11(11), 1124. <https://doi.org/10.3390/agriculture11111124>

Siqueira, V. A.; Fleischmann, A.; Jardim, P. F.; Fan, F. M.; Collischonn, W. (2016). “*IPH-Hydro Tools : a GIS coupled tool for watershed topology acquisition in an open- source environment.*” Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 21(1), 274–287. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p274-287>

SORRIBAS, M.V.; RODRIGUES, M.B.; BUARQUE, D.C.; FAN, F.M.; REIS Jr., N.C. (2024) “*Um mapa de unidades de resposta hidrológica para modelagem hidrológica em bacias hidrográficas no estado do Espírito Santo*”. II FLUHIDROS - Simpósio Nacional de Mecânica dos Fluidos e Hidráulica e XVI ENES - Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 26 a 30 de agosto de 2024, Curitiba-Paraná. Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

Williams, J. (1975). “*Sediment-yield prediction with Universal Equation using runoff energy factor.*”