

XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA DO EPAMINONDAS COM USO DE SRTM NO SWAT+ E GRASS GIS

Juliana Vargas Bozzato¹; Paulo Anselmi Duarte da Silva²; Adão Pagani Junior³; Letiéle Eslabão do Espírito Santo⁴; Fábria Amorim da Costa⁵; Lilian Terezinha Winckler⁶ & Vitor Emanuel Quevedo Tavares⁷

Abstract: A morphometric characterization helps in understanding the dynamics of water in the catchment area of hydrographic basins, generating information that supports water resource management. The Epaminondas sub-basin has the highest contributing area to the Santa Barbara reservoir, which plays a significant role in the water supply of the municipality of Pelotas-RS. As a result, it has become the subject of studies for the protection and understanding of the region. The objective was to determine the morphometric characteristics of the basin using equations related to shape and drainage network, based on data collected through hydrological models in comparison to the data provided by FEPAM-RS. The QGIS free software was used, along with the hydrological models SWAT+ and GRASS GIS, which automatically generated the drainage network and basin delineation. The equations used included the Shape Factor, Conformity Index, drainage density, and average length of direct runoff. In comparison to the data provided by FEPAM-RS, the model that came closest to the official source's drainage sections in terms of area was SWAT+. The differences compared to the mapping of FEPAM-RS may be related to the type of Digital Elevation Model (DEM) used and the predominance of flat areas, which can lead to differences in the interpretation of the models. Nevertheless, the theoretical results from the equations were similar, indicating that the basin has a low tendency for flood generation and features regular drainage due to its relatively flat terrain.

Resumo: A caracterização morfométrica auxilia na compreensão de como ocorre a dinâmica da água na área de captação das bacias hidrográficas, gerando informações que são aliadas na gestão dos recursos hídricos. A sub-bacia Epaminondas apresenta a área de maior contribuição para o reservatório Santa Barbara, responsável por uma parcela significativa no abastecimento de água potável do município de Pelotas-RS, tornando-se alvo de estudos para a proteção e entendimento da região. O objetivo foi determinar as características morfométricas da bacia, utilizando as equações relativas à forma e à rede de drenagem, a partir de dados levantados por modelos hidrológicos em comparação aos dados disponibilizados pela FEPAM-RS. Foi utilizado o QGIS, e os modelos hidrológicos foram o SWAT+ e o GRASS GIS, que processaram de forma automática a geração da rede de drenagem e delimitação da bacia. As equações utilizadas foram o fator de forma, índice de conformidade, densidade de drenagem e extensão média do escoamento superficial direto. Em relação aos dados disponibilizados pela FEPAM-RS, o modelo que mais se aproximou aos trechos de

1) Universidade Federal de Pelotas – UFPEL, Pelotas, RS, Brasil, email: julianabozzato@outlook.com
2) Gerência Regional Sul de Pelotas - Gersul/FEPAM, Pelotas, RS, Brasil, email: pd.satolep@gmail.com
3) Universidade Federal de Pelotas – UFPEL, Pelotas, RS, Brasil, email: jr.paganii@gmail.com
4) Instituto Federal Riograndense – IFSul, Pelotas, RS, Brasil, email: letiele_santos@hotmail.com
5) Embrapa Clima Temperado – Pelotas, RS, Brasil, email: fabia.amorim@embrapa.br
6) Embrapa Clima Temperado – Pelotas, RS, Brasil, email: lilian.winckler@embrapa.br
7) Universidade Federal de Pelotas – UFPEL, Pelotas, RS, Brasil, email: vtavares@ufpel.edu.br

drenagem da fonte oficial em relação a área foi o SWAT+. A diferença em comparação ao mapeamento da FEPAM-RS, pode estar relacionada a fonte de MDE utilizado e a predominância de áreas planas e suave onduladas com pequenas diferenças de altitude, que podem gerar diferença na interpretação dos modelos. Os resultados teóricos das equações foram semelhantes, determinando que a bacia possui baixa tendência de geração de enchentes, e possui a drenagem regular devido às características do relevo pouco acidentado.

Palavras-Chave – hidrologia; gestão de recursos hídricos; modelagem hidrológica.

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica (BH) é uma área de captação da precipitação, devido à sua delimitação topográfica (divisores de água), que forma uma rede de drenagem interligada que escoará para uma seção comum, denominada como exutório ou seção de controle (Mello *et al.*, 2020). Portanto, a BH é a unidade de análise mais apropriada para a gestão dos recursos hídricos, assim como já é estabelecido pela Política Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 1997).

Considerando que a água é um elemento imprescindível para a sociedade e ecossistemas, o planejamento na gestão desses recursos é necessário para otimizar sua alocação para os usos múltiplos, e para a prevenção de eventos extremos. O reconhecimento das características morfométricas dessas unidades de análise auxilia no entendimento da dinâmica dos recursos hídricos na escala adequada, o que é fortemente influenciado pelo relevo (Mello *et al.*, 2020).

Dessa forma, é possível realizar a delimitação de BH com base no seu Modelo Digital de Elevação (MDE), através de Sistemas de Informação Geográficas (SIG), podendo gerar os dados necessários para determinar, por exemplo, o seu formato e rede de drenagem. Os MDE podem ser gerados a partir de imagens da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), fornecendo dados contínuos que representam as características geomorfológicas da superfície terrestre (Longley *et al.*, 2013) e possibilitam operações algébricas.

A BH do Epaminondas é a sub-bacia com maior contribuição para o reservatório Santa Barbara, o qual é responsável por 60% do abastecimento público de água potável da cidade de Pelotas-RS (Tavares *et al.*, 2020). A área de captação desse curso hídrico é intensamente antropizada, sendo que as classes de uso que mais ocorrem, são: pastagens, cultivos agrícolas, florestas nativas, silvicultura, área urbanizada, campestre e mineração (Siqueira *et al.*, 2019).

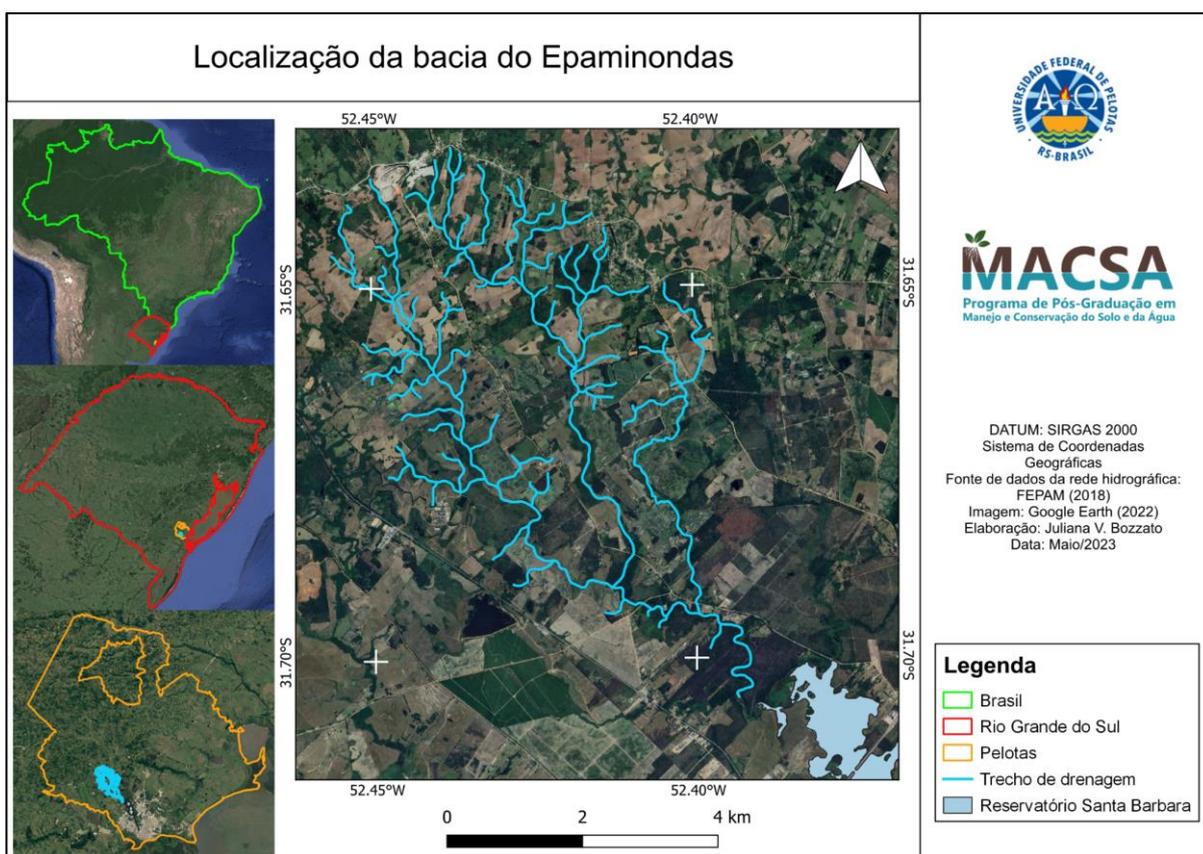
Tendo em vista a relevância da sub-bacia para o abastecimento do município, estudos são realizados na localidade com vistas ao levantamento de informações que possam contribuir com o planejamento na área da bacia (Siqueira *et al.*, 2019; Tavares *et al.*, 2020).

Sendo assim, o presente estudo teve por objetivo identificar as características morfométricas relativas ao formato e à rede de drenagem da bacia de captação do arroio Epaminondas, comparando os resultados a partir da base cartográfica oficial - BCRS25, disponibilizados pela Fundação Estadual do Meio Ambiente Henrique Luiz Roessler (FEPAM-RS), e dados gerados a partir de modelos utilizando SRTM pelos *softwares* SWAT+ e GRASS no QGIS.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área da sub-bacia do Epaminondas está localizada no município de Pelotas-RS (Figura 1), e situada dentro do polígono de coordenadas X¹ 52°22'58,80" O - Y¹ 31°37'51,19" S e X² 52°27'26,19" O - Y² 31°42'29,44" S. O clima da região é do tipo subtropical úmido (Cfa), de acordo com a classificação de Köppen, não apresenta sazonalidade bem definida, com precipitação média anual de 1.425 mm.

Figura 1 – Mapa de localização da bacia do Epaminondas.



Há diversos *softwares* utilizados em SIG, que a partir dos MDE, conseguem extrair informações referentes à geomorfologia das bacias hidrográficas. A partir do MDE, os *softwares* corrigem as possíveis falhas de altimetria e geram o fluxo de drenagem com base nas características do relevo (Mello *et al.*, 2020). Com o conhecimento da seção de controle da bacia, foi delimitado o divisor de águas e a área de drenagem a partir dos dados gerados (Fiorese e Aguilar, 2019; Aires *et al.*, 2021).

O SWAT+ (*Soil and Water Assessment Tool*) e o GRASS GIS (*Geographic Resources Analysis Support System*) são utilizados para a modelagem de superfícies topográficas para estimar o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas (Aires *et al.*, 2021; Lelis e Calijuri, 2010). Após o processamento dos dados de imagem do SRTM para o Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC), realizada por meio dos modelos utilizados, a rede de drenagem foi determinada com base na estimativa automática.

A delimitação dos trechos de drenagem, foi realizada com a base cartográfica da FEPAM-RS, com escala de 1:25.000 (FEPAM-RS, 2018). O MDE foi obtido a partir de imagens de *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), através do *USGS* (*United States Geological Survey*), pela imagem s32_w053_1arc_v3, resolução espacial de 30m x 30m. Os *softwares* utilizados foram o SWAT+ versão 2.3.3. e GRASS GIS versão 2.12.99, complementos do programa livre QGIS versão 3.28.6, sendo adotado o DATUM SIRGAS 2000/ UTM Zona 22S (EPSG: 31982), com a apresentação dos resultados no sistema de coordenadas geográficas.

O ponto do exutório da bacia foi delimitado a partir dos dados da BCRS25, e a validação dos arquivos gerados foi feita por observação, e pela projeção desses dados no *software Google Earth Pro*.

Os métodos utilizados para a caracterização morfométrica foram o Índice de Gravelius ou Fator de Forma (kf) (Equação 1), Índice de conformação (Ic) (Equação 2), densidade de drenagem (Dd) (Equação 3) e extensão média do escoamento superficial (Cm) (Equação 4) (Mello *et al.*, 2020). Para

a realização dos cálculos foram obtidas a área, a largura média, a largura axial e o comprimento dos rios, sendo e os dados obtidos a partir das ferramentas SWAT+ e GRASS GIS.

A Equação 1 expressa a relação entre a largura média da BH (\bar{L} em km) e o comprimento axial (L_{ax} em km), buscando identificar a proximidade do formato da bacia em relação a um círculo, sendo que quanto mais próximo a um círculo, maior será sua capacidade de gerar *enchentes*, e é obtido por:

$$kf = \frac{\bar{L}}{L_{ax}} \quad (1)$$

A Equação 2 relaciona a área da bacia (A_{BH} em km^2) a de um quadrado de lado igual ao comprimento axial (L_{ax} em km), também estima a capacidade da área de drenagem em gerar *inundações*, sendo:

$$Ic = \frac{A_{BH}}{(L_{ax})^2} \quad (2)$$

A Equação 3 representa a relação entre o comprimento total dos cursos d'água ($\sum L_d$ em km) e a área da BH (A_{BH} em km^2), quanto maior for a Dd mais acidentado é o relevo, sendo assim, há maior capacidade de gerar *escoamento superficial*, obtida por:

$$Dd = \frac{\sum L_d}{A_{BH}} \quad (3)$$

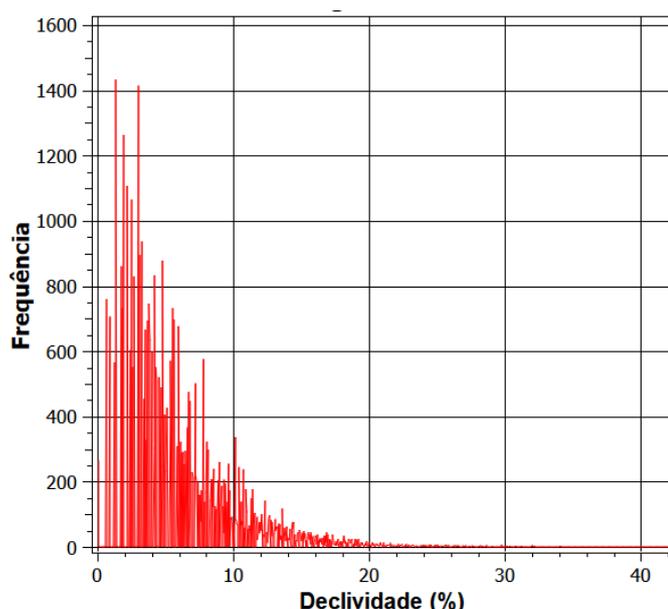
A Equação 4 relaciona a densidade de drenagem (Dd) com um comprimento médio lateral da rede de drenagem, e reflete no *tempo de concentração* da água na área de captação, expressa como:

$$Cm = \frac{1}{4 \cdot Dd} \quad (4)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

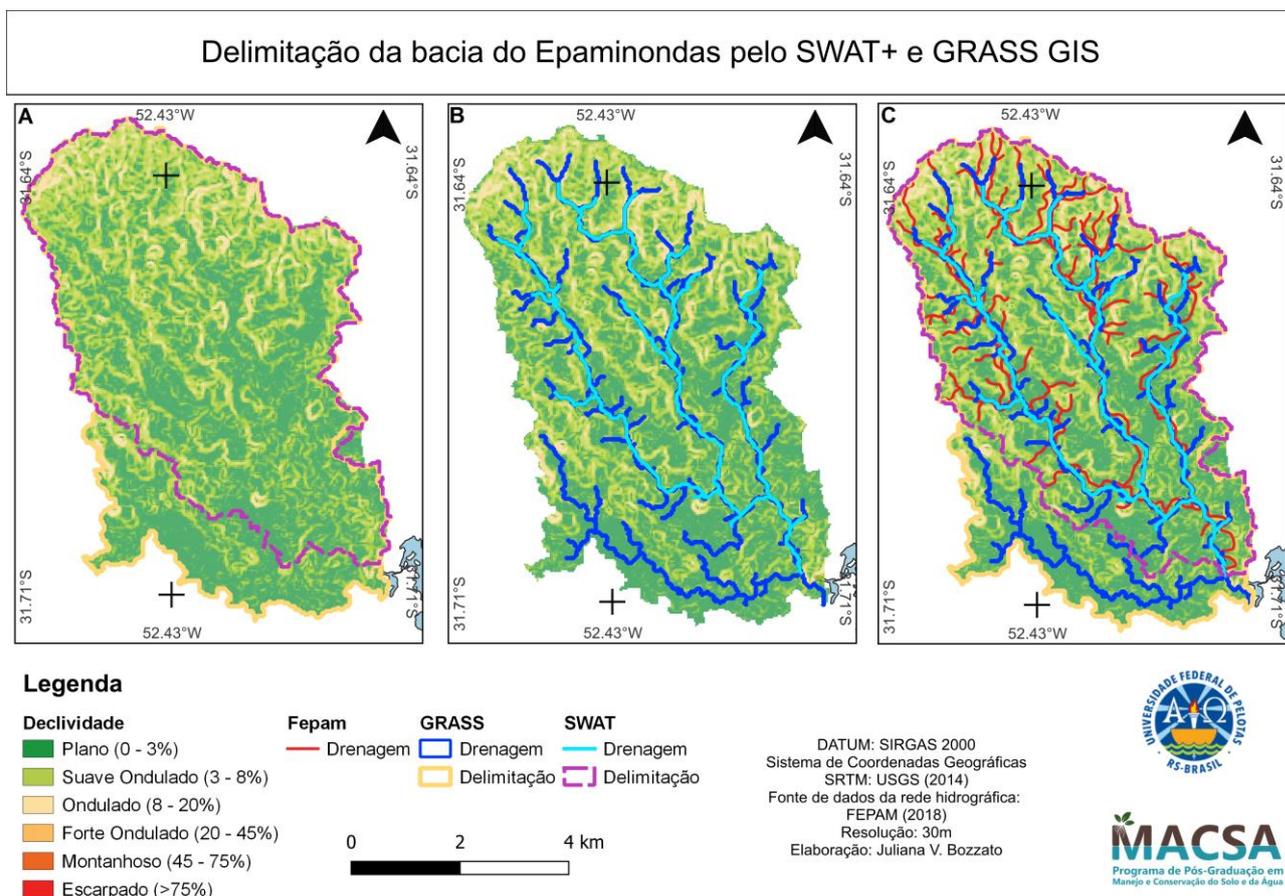
Como pode ser observado na Figura 2, a declividade da área delimitada é classificada predominantemente como plana (0 a 3%) e suave ondulado (3 a 8%), de acordo com a classificação da Embrapa (2018).

Figura 2 – Histograma dos dados de declividade da bacia do Epaminondas, a partir do MDE.



A delimitação das áreas de captação e da rede de drenagem podem ser comparadas observando a Figura 3, onde na imagem A está a delimitação da bacia, na imagem B está a rede de drenagem gerada, e na imagem C as informações estão sobrepostas aos dados da BCRS25.

Figura 3 – Mapa de delimitação da bacia do Epaminondas e canais de drenagem obtidas através de SRTM pelo SWAT+ e GRASS, em comparação aos dados da BCRS25.



Relacionando a informação obtida com o trecho de drenagem da BCRS25, o SWAT+ representou melhor os limites da bacia, enquanto o GRASS detectou outra sub-bacia do arroio Santa Barbara como parte do Epaminondas. Isso pode ter ocorrido em decorrência da proximidade da sub-bacia da Granja, o qual também foi considerado pelo GRASS como parte do Epaminondas, o que pode ser também influenciado pelo relevo predominantemente plano (Senturião e Esquerdo, 2012).

Outra observação que deve ser considerada pela diferença ocorrida, é a fonte de MDE utilizado e as diferentes resoluções espaciais. Os modelos do SRTM, são MDS (Modelo Digital de Superfície), que reflete a superfície e pode ser influenciada pelos elementos da paisagem (por exemplo, a copa de uma floresta) (Pereira et al., 2019). Embora os modelos SRTM ainda serem amplamente utilizados, há os MDT (Modelo Digital de Terreno) derivados dos sensores LiDAR (Light Detection and Ranging) que conseguem realizar a remoção desses elementos, gerando maior detalhamento (Mendonça et al., 2019). Porém são tecnologias com custos elevados.

As informações geradas em relação à área, largura axial e média, comprimento total dos rios e resultados das equações utilizadas para a caracterização da forma e rede de drenagem podem ser visualizadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características morfométricas obtidas a partir do SWAT+ e GRASS.

Características	SWAT+	GRASS
Área (km ²)	32,6	40,2
Largura axial (km)	9,6	10,2
Largura média (km)	3,6	4,2
Comprimento total dos rios (km)	33,4	58,8
Fator de Forma (kf) (adimensional)	0,384	0,417
Índice de conformação (Ic) (adimensional)	0,354	0,386
Densidade de drenagem (Dd) (km.km ⁻²)	1,021	1,460
Extensão média do escoamento superficial direto (Cm) (km)	0,255	0,365

Em relação ao kf e o Ic, os valores obtidos indicam que a bacia possui baixa propensão em geração de enchentes ($kf < 0,50$, enquanto Ic quanto mais próximo de 1 maior a tendência a enchentes). O valor reflete no comportamento do fluxo em consequência do formato. Por ser uma BH alongada possibilita maior distribuição do escoamento e menor chance de o escoamento se acumular ao mesmo tempo na seção de controle, gerando picos de cheia (Mello *et al.* 2020).

O valor da Dd representa o comprimento do curso d'água (em km) para drenar cada km², sendo a média entre os dados obtidos o valor de 1,241 km/km², classificando-a como uma bacia de drenagem regular ($0,5 \leq Dd < 1,5$ km/km²) (Mello *et al.*, 2020).

A extensão média do escoamento superficial direto indica o tempo de concentração dentro da área de captação da BH, sendo a média dos dados obtidos de 0,310 km. Os resultados de drenagem são reflexos da baixa declividade, refletindo em uma drenagem com menor velocidade no escoamento superficial, podendo implicar em menor intensidade nos processos erosivos em relação ao fator do relevo.

Embora os parâmetros obtidos a partir da delimitação da BH tenham diferenças, principalmente em relação ao tamanho da área e comprimento dos rios obtido pelo *software* GRASS, os resultados teóricos da caracterização foram semelhantes. O mesmo ocorreu com Dias *et al.* (2019), que utilizou o mesmo *software* para a delimitação, mas MDS diferentes.

Apesar das características da bacia, principalmente em relação ao relevo indicarem baixa propensão a processos erosivos, a predominância de solos rasos na BH (Tavares *et al.*, 2020) diminuem a capacidade de infiltração. Devido a essa característica de solo, o uso e manejo da terra, podem potencializar os processos erosivos mesmo o relevo sendo classificado como de baixo potencial de sofrer erosão.

Como foi observado por Lelis e Caliguri (2010) com o uso do SWAT na modelagem hidrossedimentológica, além da umidade do solo, precipitação, tipo de solo e uso, as técnicas de manejo e cobertura influenciam significativamente nas perdas de solo. Essa perda é uma consequência causada pela erosão hídrica, que junto aos sedimentos, pode carregar também nutrientes e pesticidas gerando impactos negativos à qualidade da água (Brady e Weil, 2013).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação aos modelos utilizados para a obtenção dos parâmetros morfométricos da bacia do arroio Epaminondas, o GRASS reconheceu maior área em relação ao SWAT+ e a da BCRS25 da FEPAM. Observa-se que apesar das diferenças espaciais geradas pelos modelos através da delimitação automática, não houve diferença no resultado teórico das equações.

Sendo assim, os resultados de Fator de Forma, Índice de Conformação, densidade de drenagem e extensão média do escoamento superficial direto traduzem que a bacia possui baixa propensão a inundações, devido ao seu formato alongado, e drenagem regular, em decorrência de sua declividade ser plana e suave ondulado em grande parte da área.

Todavia, considerando que esta é uma BH com forte influência da ação humana e que apresenta grande importância estratégica para a segurança hídrica do município, a adoção de técnicas de manejo ambientalmente mais adequadas e o tratamento de efluentes, podem contribuir com o aumento do tempo de retenção de água na bacia, e obter melhorias na água para o consumo humano.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão das bolsas de pós-graduação no PPG de Manejo e Conservação do Solo e da Água e a Embrapa Clima Temperado pelo auxílio no desenvolvimento do estudo.

REFERÊNCIAS

- AIRES, A. A. de; COSTA, J. D. da; BEZERRA, J. M.; RÉGO, A. T. A. do (2021) “*Caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica da barragem de Pau dos Ferros/RN*”. Revista Geama, v. 7, n. 3, p. 67-76
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. (2013) “*Elementos da natureza e propriedades dos solos*”. 3. ed. Bookman Porto Alegre-RS, 790 p.
- BRASIL (1997) *Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997*. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília-DF
- DIAS, de N. de O.; MACHADO, V. S.; MARCATO-JUNIOR, J.; OSCO, L. P.; RAMOS, A. P. M. (2019) “*Análise morfométrica de bacia hidrográfica utilizando dados de diferentes modelos digitais de superfície*”. Colloquium Exactarum, p. 23-35
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa em Agropecuária (2018) *Manual de classificação dos solos*. 5ª ed. Embrapa Solos (Ministério da Agricultura), Brasília-DF
- FEPAM-RS (2018) Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Röessler (Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – Rio Grande do Sul). *Base cartográfica do estado de Rio Grande do Sul, Escala 1:25.000 – BCRS25. Versão 1.0 – 2018*. Documentação técnica. Porto Alegre-RS
- FIGLIARESE, C. H.; AGUILAR, T. (2019) “*Caracterização morfométrica da sub-bacia hidrográfica do córrego Murubia no município de Muqui-ES, Brasil*”. Agrarian Academy, Goiânia, v. 6, n. 12, p. 1-14
- LELIS, T. A.; CALIJURI, M. L. (2010) “*Modelagem hidrossedimentológica de bacia hidrográfica na região sudeste do Brasil, utilizando o SWAT*”. Ambiente & Água, v. 5, n. 2, p. 158-174

- LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. (2013) “*Sistemas e Ciência da Informação Geográfica*”. 3 ed. Bookman, Porto Alegre-RS, 542 p.
- MELLO, C. R. de; SILVA, A. M. da; BESKOW, S. (2020) “*Hidrologia de superfície: princípios e aplicações*”. 2ª ed. UFLA Lavras-MG, 531 p.
- MENDONÇA, R. L.; MARÇAL, C. L. D; PAZ, A. R. (2019) “*Efeito da resolução espacial e da fonte de dados de elevação sobre a caracterização da rede de drenagem*”. in Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos-SP, Abr. 2019, p 231-234
- PEREIRA, V. P. B.; LOPES, A. P.; SILVA, A. M. (2019) “*Avaliação do modelo digital de elevação topodata a partir de dados lidar em uma área da Amazônia Central*”. in Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos-SP, Abr. 2019, p 1151-1154
- SENTURIÃO, A. C. O.; ESQUERDO, J. C. D. M. (2012) “*Atualização e ajustes da rede de drenagem da bacia do rio Apa/MS utilizando sensoriamento remoto o geoprocessamento*”. In Anais 4º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Bonito-MS, Out. 2012, p. 554 -560
- SIQUEIRA, R. de O.; BIERHALS, D. F.; SPIERING, V.; SOUSA, L. P. de; GUARINO, E. de S. G.; SANTOS, J. P. dos. (2019) “*Cobertura e uso da terra como subsídio ao programa de pagamento por serviços ambientais em Pelotas (Rio Grande do Sul)*”. in XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, Fortaleza-CE, Jun. 2019, p 1-12
- TAVARES, M. A. dos R.; NUNES, M. C. M.; TAVARES, V. E. Q.; FERNANDES, F. F.; SOUSA, L. P. de (2020) “*Capacidade de uso da terra e abatimento de erosão hídrica em propriedades agrícolas do sul do Rio Grande do Sul*”. Científica, Jaboticabal, v. 48, n. 4, p. 374-385.