

ANÁLISE MORFOMÉTRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO VERMELHO-MS

Edwina Santos da Costa¹

Emerson Figueiredo Leite²

RESUMO: As bacias hidrográficas são importantes instrumentos de planejamento ambiental e necessitam de análise continuamente, pois, os elementos que a compõem estão em processo dinâmico de mudanças derivadas de ações naturais e antrópicas. A análise morfométrica apresenta informações importantes na caracterização hidrológica que podem subsidiar o planejamento ambiental. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo analisar a morfometria na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vermelho (BHRV), que se situa no bioma Cerrado, no Estado de Mato Grosso do Sul, nos municípios de Aquidauana e Dois Irmãos do Buriti, apresentando área de 451,83 km², com um perímetro de 142,79 km. Para a análise, utilizaram-se os *softwares* QGIS 3.14 e HidroBacias 2.0. O primeiro subsidiou o levantamento dos dados de entrada para serem, posteriormente, calculados os parâmetros morfométricos por meio do segundo. Os dados analisados apontaram que a área com maior escoamento superficial se localiza a oeste e a sudoeste da bacia, onde se apresenta um relevo mais acidentado, com maiores altitudes e ocorrência de processos erosivos mais intensos. A drenagem é composta por 66 canais, sendo 48 canais de 1ª ordem, 14 canais de 2ª ordem, 3 canais de 3ª ordem e 1 canal de 4ª ordem. Os parâmetros relativos à forma indicam que a bacia não é circular, apresentando uma densidade de drenagem de 0,546 km/km², que corresponde a um escoamento superficial regular.

PALAVRAS-CHAVE: Caracterização hidrológica; Hierarquia de canais; Planejamento de bacias hidrográficas.

MORPHOMETRIC ANALYSIS IN THE RIBEIRÃO VERMELHO-MS HYDROGRAPHIC BASIN

ABSTRACT: River basins are important environmental planning tools and need to be analyzed on an ongoing basis, as the elements that make them up are undergoing a

¹ Mestranda em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Aquidauana. E-mail: edwina_2018@hotmail.com. Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/6817592504438600>. Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0002-7922-7253>

² Pós-doutor em Geografia pela Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). Professor Associado 2 da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Aquidauana. E-mail: emerson.leite@ufms.br. Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/0091491869222740>. Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0003-2672-187X>.

dynamic process of change due to natural and anthropogenic actions. Morphometric analysis provides important information on hydrological characterization that can support environmental planning. In this context, the aim of this study was to analyze the morphometry of the Ribeirão Vermelho Hydrographic Basin (BHRV), which is located in the Cerrado biome in the state of Mato Grosso do Sul, in the municipalities of Aquidauana and Dois Irmãos do Buriti, with an area of 451.83 km² and a perimeter of 142.79 km. QGIS 3.14 and HidroBacias 2.0 software were used for the analysis. The former was used to collect the input data and then to calculate the morphometric parameters using the latter. The data analyzed showed that the area with the highest runoff is located to the west and southwest of the basin, where the relief is more rugged, with higher altitudes and more intense erosion processes. The drainage is made up of 66 channels, 48 of which are 1st order, 14 2nd order, 3 3rd order and 1 4th order. The shape parameters indicate that the basin is not circular, with a drainage density of 0.546 km/km², which corresponds to regular surface runoff.

KEYWORDS: Hydrological characterization; Channel hierarchy; Hydrographic basin planning.

ANÁLISIS MORFOMÉTRICO EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIBEIRÃO VERMELHO-MS

RESUMEN: Las cuencas fluviales son importantes herramientas de planificación medioambiental y deben analizarse de forma continua, ya que los elementos que las componen están sometidos a un proceso dinámico de cambio como consecuencia de acciones naturales y antropogénicas. El análisis morfométrico proporciona información importante sobre la caracterización hidrológica que puede servir de apoyo a la planificación ambiental. En este contexto, el objetivo de este estudio fue analizar la morfometría de la Cuenca Hidrográfica del Ribeirão Vermelho (BHRV), localizada en el bioma del Cerrado, en el estado de Mato Grosso do Sul, en los municipios de Aquidauana y Dois Irmãos do Buriti, con un área de 451,83 km² y un perímetro de 142,79 km. Para el análisis se utilizaron los softwares QGIS 3.14 e HidroBacias 2.0. El primero subvencionó la recogida de datos de entrada para que los parámetros morfométricos pudieran calcularse posteriormente con el segundo. Los datos analizados mostraron que la zona de mayor escorrentía se localiza en el oeste y suroeste de la cuenca, donde el relieve es más accidentado, con mayores altitudes y procesos erosivos más intensos. El drenaje está formado por 66 canales, 48 de los cuales son de 1º orden, 14 de 2º orden, 3 de 3º orden y 1 de 4º orden. Los parámetros de forma indican que la cuenca no es circular, con una densidad de drenaje de 0,546 km/km², que corresponde a un escurrimiento superficial regular.

PALABRAS CLAVE: Caracterización hidrológica; Jerarquía de canales; Planificación de cuencas hidrográficas.

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural em equilíbrio dinâmico pertencente a um sistema geomorfológico no qual toda e qualquer atividade que ocorra em seu interior interfere na dinâmica desse sistema. A área da bacia é delimitada por sua topografia, convergindo seu escoamento em um sistema de drenagem conectada entre seus canais para um ponto de saída em comum (Christofolletti, 1980; Santos, 2004; Taveira, 2018).

A partir dos trabalhos desenvolvidos por Robert E. Horton em 1945 as análises em bacia hidrográficas começaram a ganhar destaque e caráter objetivo em uma abordagem quantitativa no qual seus estudos formularam a base de inúmeras pesquisas posteriores, sendo considerado um ponto de partida para a análise morfométrica (Christofolletti, 1980). Com o avanço da tecnologia a cartografia automatizada tem possibilitado a sofisticação e atualização de técnicas de análise ambiental.

Uma dessas técnicas é a análise morfométrica que consiste em analisar quantitativamente importantes características físicas dinâmicas de um sistema fluvial apresentando informações básicas para o entendimento das respostas hidrológicas (Miguel *et al.*, 2014; Taveira, 2018; Costa; Leite, 2020).

Para Teodoro *et al.*, (2007, p.137) “a caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais”, isso porque essa caracterização esclarece diversas questões, tais como a compreensão da dinâmica hidrológica, avaliação vulnerabilidade, avaliação do comportamento hidráulico, entre outros. No entanto, é importante destacar que, “os resultados dos cálculos obtidos, devem ser interpretados juntamente com estudo geomorfológicos qualitativos e observações de campo” (Costa; Leite, 2020, p.31).

A análise morfométrica permite a caracterização da dissecação da paisagem apontando elementos que correspondem aos processos erosivos naturais e os padrões de cada rede de drenagem conforme o relevo da área (Costa, 2015). Deste modo, os valores obtidos dos cálculos morfométricos colaboram para o entendimento da geomorfologia fluvial e podem elucidar aspectos da dinâmica das bacias hidrográficas. Além disso, de acordo com Miguel *et al.*, (2014, p.161) “aliado ao planejamento, a análise morfométrica vem se mostrando cada vez mais importante, devido ao seu conjunto de procedimentos metodológicos que compreendem todos os componentes naturais de uma bacia hidrográfica”. Relacionados ao planejamento de bacia hidrográficas, a análise morfométrica destaca-se como um método importante na caracterização e na compreensão dos componentes desse sistema ambiental.

A Lei nº 9.433/1997 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) define a bacia hidrográfica como unidade territorial para implantação de políticas e gestão dos recursos hídricos (Brasil, 1997). As análises de bacias hidrográficas são de suma importância para nortear ações preventivas e regeneradoras que possam contribuir para adequação ao uso da água.

Taveira (2018) destaca que a bacia hidrográfica deve ser tratada como sistema composto por elementos inter-relacionados, no qual quaisquer alterações em parte desse sistema refletem no ciclo natural hidrológico de alguma forma. Para Christofolletti (1999, p.35) “os sistemas ambientais representam entidades organizadas na superfície terrestre, de modo que a espacialidade se torna uma das características inerentes”. Deste modo, a compreensão da organização estrutural e funcional dos elementos que constituem as redes de drenagem é fundamental para entender o funcionamento desse sistema dinâmico.

Para compreender um sistema ambiental é necessário interpretar os elementos físicos, e funcionais que estão em constante interação areal de fluxos

de energia e matéria (Christofolletti, 1999). Deste modo, conforme Sirangelo, Guasselli e Oliveira (2015) a caracterização morfométrica é capaz de descrever elementos topográficos e geomorfológicos importantes na compreensão de sistemas ambientais que podem subsidiar a conservação dos ambientes naturais.

Frequentemente as bacias hidrográficas têm sido adotadas como unidades de pesquisa por planejadores, que ao analisar parâmetros que permitem mensurar possíveis eventos e o estado de conservação das bacias hidrográficas podem compreender a dinâmica fluvial e indicar melhores usos evitando possíveis desastres (Santos, 2004).

Sem dúvidas é essencial a proteção das bacias hidrográficas, pois são fundamentais para a vida e o desenvolvimento das atividades humanas (Santos, 2004). Conforme destacado por Taveira (2018, p.20) “toda a superfície terrestre se encontra sobre uma bacia hidrográfica, ou seja, cada um de nós vive e desenvolve atividades nos limites de alguma bacia, podendo ser ela em uma área rural ou urbana”. Assim, analisar as características de uma bacia hidrográfica podem indicar usos mais adequados, além de indicar áreas que precisam ser recuperadas.

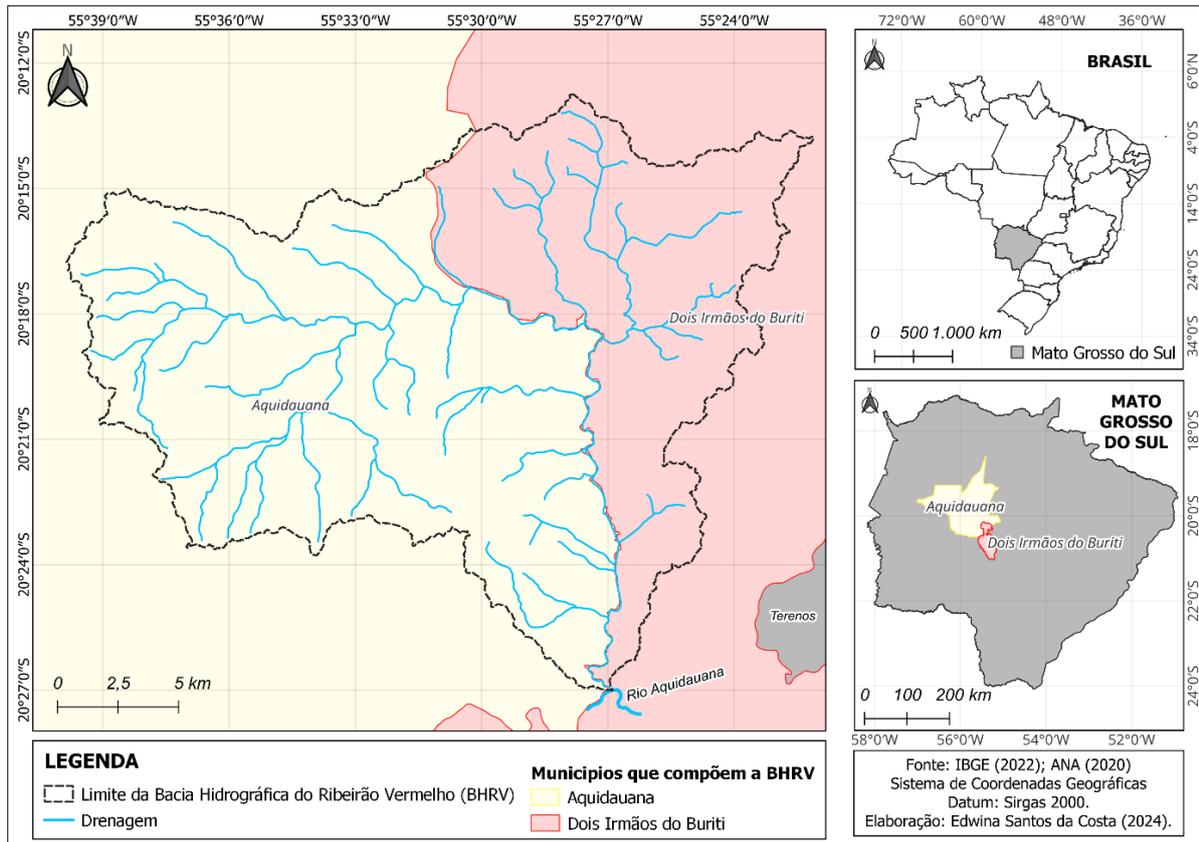
Nesse contexto, a presente pesquisa teve como objetivo analisar a morfometria da BHRV tendo como base os parâmetros relativos a forma: Kc - Coeficiente de compacidade; Kf - Coeficiente de forma; Ic - Índice de circularidade da bacia e Rea - Razão de alongação. Para os parâmetros relativos ao sistema de drenagem: Dd - Densidade de drenagem (km/km²); Ems - Extensão média do escoamento superficial (km); Eps - Extensão do percurso superficial (km); Cm - Coeficiente de manutenção (m²/m); Dr - Densidade de rios (Nr/km²); Ct - Coeficiente de torrencidade e Sin- Sinuosidade, Is - Índice de sinuosidade (%) e Textura topográfica, calculados de forma automática pelo *software* HidroBacias 2.0.

Adicionalmente, ao ponderar sobre a relevância do relevo na formação hidrológica e seguindo a ênfase de Back (2014, p.103) de que “a altitude pode influenciar uma série de fatores meteorológicos e hidrológicos, como a quantidade de radiação, a temperatura, a evapotranspiração e a precipitação”, procedeu-se à análise da declividade e hipsometria na área da bacia. Essa análise identificou regiões com topografia mais acidentada e altitudes mais elevadas, explorando a interconexão entre o relevo e os processos hidrológicos.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo adotada neste trabalho é a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vermelho (BHRV) que está localizada no Estado de Mato Grosso do Sul, nos municípios de Aquidauana (63,53%) e Dois Irmão do Buriti (36,47%), entre as coordenadas geográficas 55°39'54", 55°21'57", de longitude oeste e 20°12'41" e 20°27'06" de latitude sul (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de localização.



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

A BHRV está inserida no bioma Cerrado que conforme destacado pela Embrapa (2012) tem importância significativa para manutenção dos recursos hídricos brasileiros, pois oito das 12 grandes regiões hidrográficas possuem nascentes nesse bioma. Além disso, o bioma Cerrado possui uma rica diversidade, considerada a segunda maior do planeta.

O clima da área da BHRV é composto, segundo a classificação de Koppen, pelos tipos de clima Am - clima tropical de monção e Aw - clima tropical de savana. O tipo Am apresenta temperatura média no mês mais frio maior que 18°C, com pequena duração de estação seca e o Aw é caracterizado por concentração de chuvas no verão de novembro a abril e estação mais seca no inverno, de maio a outubro (Ivasko Júnior *et al.*, 2020).

Conforme a classificação com base na geometria da disposição espacial dos rios proposta por Christofletti (1980), o tipo de drenagem que ocorre na BHRV é a drenagem dendrítica ou arborescente. Nesse tipo de drenagem os rios

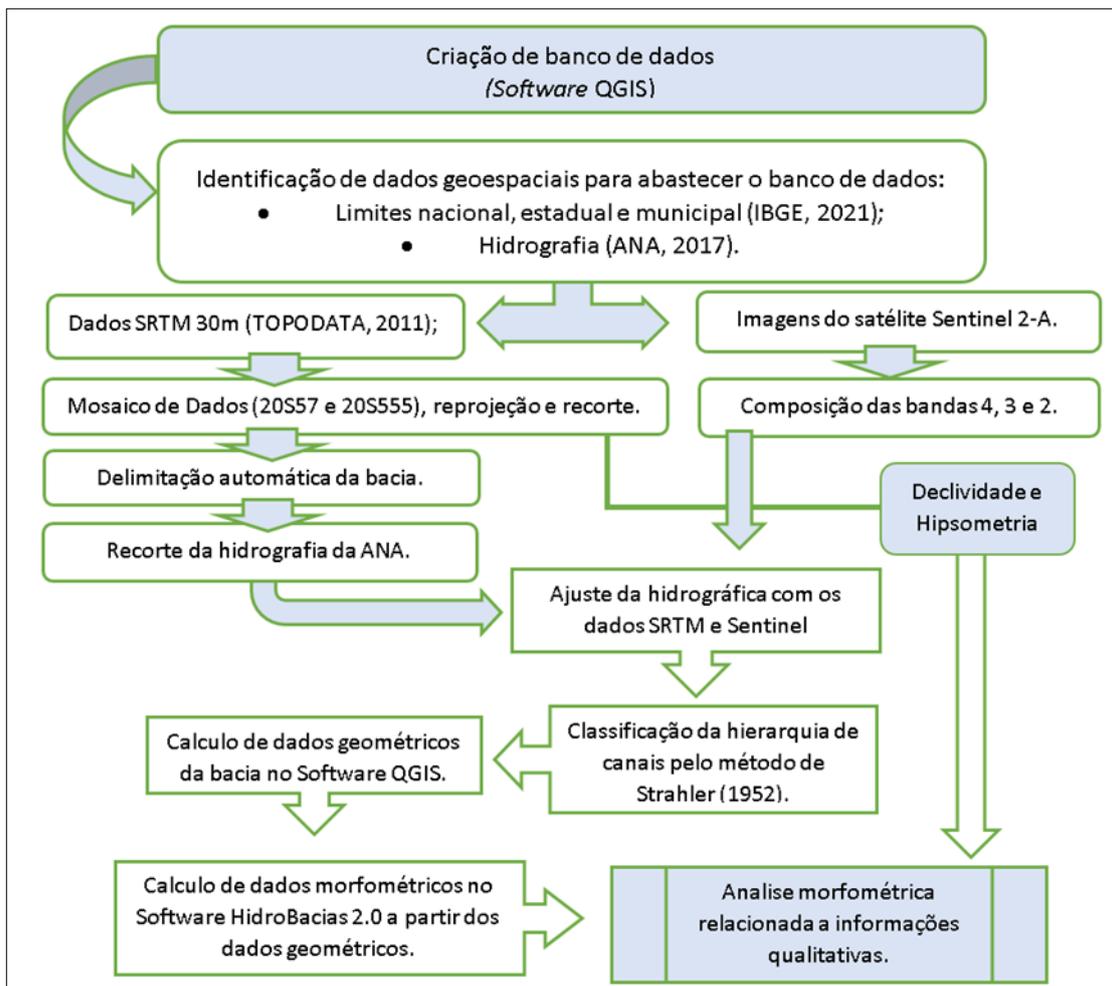
“confluem em ângulo relativamente agudos, o que permite identificar o sentido geral da drenagem pela observação do prolongamento da confluência”, importante informação a ser considerada em análises de bacias hidrográficas (Back, 2014, p.54).

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados no desenvolvimento deste trabalho estão apresentados logo a baixo, acompanhado em seguida da representação esquemática apresentada na figura 2.

- *Shapefile* dos limites nacional, estadual e municipal (IBGE, 2021), para identificação espacial e elaboração de mapa de localização.
- *Shapefile* de hidrografia (ANA, 2020), utilizado para identificar a hidrografia da área e realizar posteriormente a classificação hierárquica da bacia (ajustado a partir dos dados SRTM e Imagens do satélite Sentinel 2-A, bandas 2, 3 e 4);
- Imagens do satélite Sentinel 2-A, bandas 2, 3 e 4 (Instrumento Multi-Spectral Instrument-MSI, 25/10/2022, resolução espacial de 10m), no qual realizou-se a composição de bandas e análise para ajuste da hidrografia.
- Dados SRTM 30m 20S57 e 20S555 (TOPODATA, 2011), utilizado para gerar o limite da bacia, ajustar a hidrografia e gerar declividade e hipsometria;
- *Software* QGIS 3.14, utilizado na criação de banco de dados e manipulação de dados geoespaciais.
- *Software* HidroBacias 2.0, utilizado para calcular os índices morfométricos.

Figura 2 – Fluxograma Metodológico



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Conforme destacado por Back (2014, p.58) “o primeiro passo para se estudar uma bacia hidrográfica é sua individualização”, deste modo, foi realizado a delimitação da BHRV com base nos dados SRTM 30m, utilizando como apoio o *software* de geoprocessamento QGIS que possibilita a delimitação automática.

Também com os dados SRTM 30m gerou-se o modelo de declividade em porcentagem e realizou-se a classificação, segundo a proposta estabelecida pela Embrapa (1979), conforme quadro 1.

Quadro 1 – Classes de declividade e descrição.

Classe de Relevo	Classe de declividade	Descrição
Plano	(0 a 3%)	Superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos.

Suave ondulado	(3 a 8%)	Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto e/ou outeiros apresentando declividade suave.
Ondulado	(8 a 20%)	Superfície de topografia pouco movimentada, formada por conjunto de colinas e/ou outeiros.
Forte ondulado	(20 a 45%)	Superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e/ou morros com elevações de 100 a 200m de altitude relativa.
Montanhoso	(45 a 75%)	Superfície de topografia vigorosa, com predominância de formas acidentadas, usualmente constituída por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos.
Escarpado	(> 75%)	Regiões ou áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo escapamentos com declividade muito forte.

Fonte: Embrapa (1979).

Ainda com os dados SRTM 30m, conduziu-se uma análise hipsométrica, a qual foi posteriormente representada de maneira contínua em um mapa, acompanhada pelo mapa de declividade. É relevante destacar que a integração deste mapa com o mapa de declividade oferece uma visão mais completa da morfologia do terreno, revelando padrões de inclinação e contribuindo significativamente para a compreensão detalhada da geomorfologia da área em questão.

A caracterização da paisagem por meio de medições assume um papel crucial no entendimento do ambiente, sendo que diversos parâmetros geomorfométricos se destacam nesse processo. A escolha desses parâmetros deve ser criteriosa, ajustando-se à especificidade de cada área, conforme ressaltado por Pirajá e Rezende Filho (2019).

As características básicas correspondentes a forma e o tamanho da bacia hidrográfica são interligados a resposta hidrológica e, portanto, a análise dos parâmetros morfométricos podem auxiliar na compreensão sobre o volume, velocidade e tempo de escoamento (Back, 2014; Taveira, 2018).

Para verificar a ordenação de canais, baseado no método de Strahler (1952), realizou-se a identificação hierárquica, no qual os canais que não recebem

escoamento de outros canais são considerados de primeira ordem, os que recebem escoamento da confluência de dois canais de primeira ordem são os de segunda ordem, os que recebe escoamento da confluência de dois canais de segunda ordem são canais de terceira ordem e assim sucessivamente, podendo receber também escoamento de ordem inferior das quais as formaram (Christofolletti, 1980).

Para analisar a morfometria da BHRV (Quadro 2) utilizou-se o *software* HidroBacias 2.0 que realiza o cálculo automático a partir dos seguintes dados geométricos de entrada, obtidos através do *software* QGIS 3.14: A - Área da bacia (km²); P - Perímetro (km); Lx - Comprimento axial (km); Lt - Comprimento total dos rios (km); L - Comprimento do rio principal (km); Ev - Distância nascente-foz (km) e N - Número total de rios de primeira ordem.

Quadro 2 - Índices morfométricos analisados.

Índices relativos à forma da bacia	Equação e descrição
Kc - Coeficiente de compacidade ou índice de Gravelius	$K = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}}$ Em que: P é o perímetro da bacia (km) e A é a área de drenagem da bacia (km ²).
Kf - Coeficiente de forma	$Kf = \frac{A}{(Lx)^2}$ Em que: A é a área de drenagem (km ²) e Lx é o comprimento axial da bacia (km)
Ic - Índice de circularidade	$Ic = \frac{A}{Ac}$ No qual: A é a área da bacia e Ac é área do círculo de perímetro igual ao da bacia, apresentando resultado de valor máximo 1,0 para bacias circulares.
Rea - Razão de alongação	$Re = \frac{Dea}{L} = 1,1284 \frac{\sqrt{A}}{L}$ Os resultados correspondem a suscetibilidade a enchentes de acordo com a forma da bacia. Dada por uma relação entre o diâmetro de um círculo e o comprimento do seu eixo (BACK, 2014)

Índices relativos ao sistema de drenagem	Descrição
Dd- Densidade de drenagem (km/km ²)	$Dd = \frac{LT}{A}$ <p>Em que LT é o comprimento total de rios (km) e A é a área da bacia (km²).</p>
Ems- Extensão média do escoamento superficial (km)	$Ems = \frac{A}{4LT} = \frac{1}{4Dd}$ <p>No qual: A é a área de drenagem (km²); LT é o comprimento total dos rios e Dd é a densidade de drenagem (km/km²).</p>
Eps - Extensão do percurso superficial (km)	$Eps = \frac{1}{2Dd}$ <p>Em que: Dd é a densidade de drenagem (km/km²).</p>
Cm - Coeficiente de manutenção (m ² /m)	$Cm = \frac{1}{Dd} \cdot 1000$ <p>Em que: Dd é a densidade de drenagem.</p>
Dr - Densidade de rios (Nr/km ²)	$Dr = \frac{N}{A}$ <p>No qual: N é o número total de rios e A é a área de drenagem (km²).</p>
Ct - Coeficiente de torrencidade	$Ct = Dr \cdot Dd$ <p>Em que: Dr é a densidade dos rios e Dd é a densidade de drenagem.</p>
Sin - Sinuosidade	$Sin = \frac{L}{Ev}$ <p>Em que: L é o comprimento do rio principal e Ev é a distância entre os pontos extremos do canal principal.</p>
Is - Índice de sinuosidade (%)	$Is = \frac{100(L - Ev)}{L}$ <p>Em que: L é o comprimento do rio principal e Ev é a nascente mais distante, medida em linha reta.</p>
Textura da topografia (Tt)	$\log Tt = 0,219649 + 1,115 \log Dd$ <p>Em que Tt é a textura topográfica e Dd é a densidade de drenagem.</p>

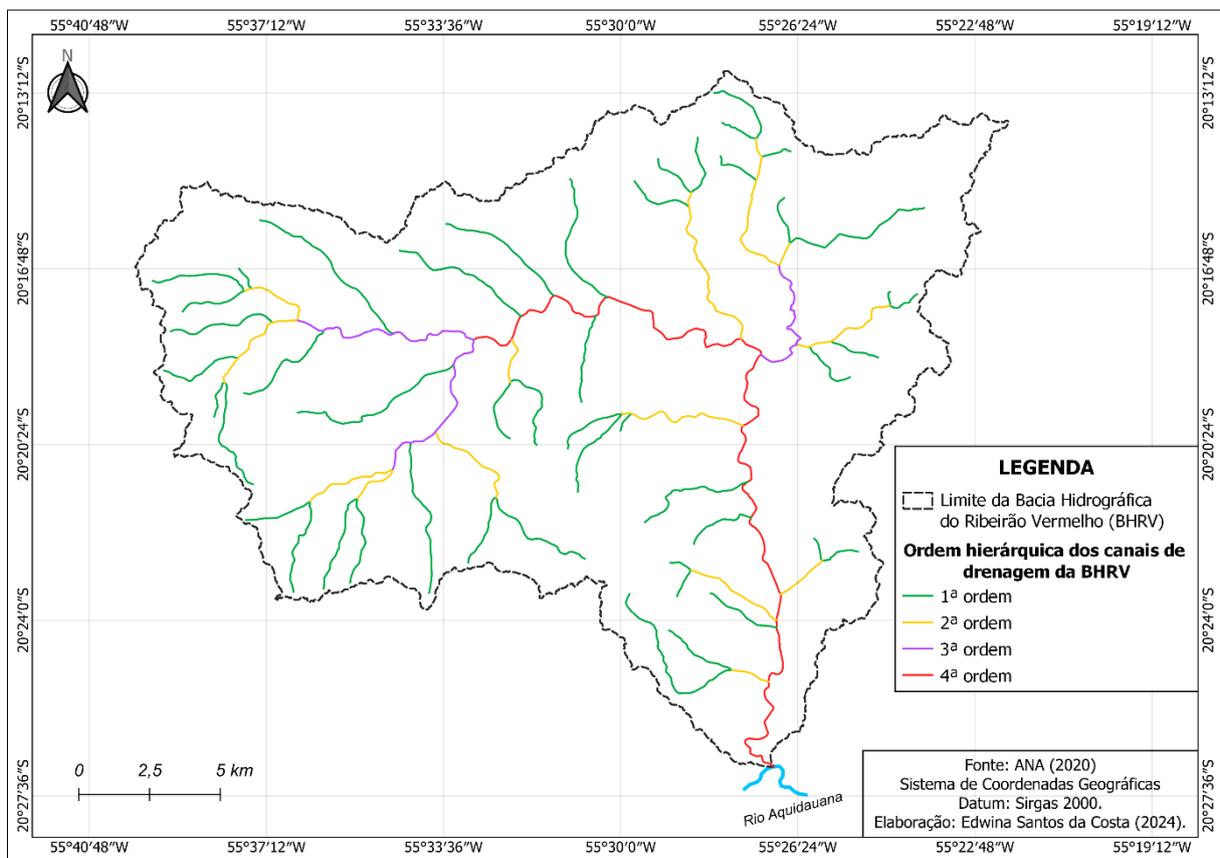
Fonte: CHRISTOFOLETI (1969); BACK (2014). Organização dos autores (2023).

Cabe destacar que embora alguns índices apresentem aspectos semelhantes, eles também apresentam uma finalidade e podem ser comparados entre si para obter resultados mais fiéis à realidade além de fornecerem informações importantes para a compreensão das redes de drenagem (Christofoleti, 1969).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme ressaltado por Back (2014), a ordem dos rios surge como um fator significativo na compreensão da complexidade da bacia, refletindo o grau de ramificação ou bifurcação entre os canais na respectiva bacia hidrográfica. Essa hierarquia, aliada à determinação da ordem dos rios, não apenas indica os graus de ramificação, mas também constitui um elemento essencial que contribui para a análise morfológica abrangente da bacia hidrográfica. A partir do método de ordenamento de canais proposto por Strahler (1952) verificou-se que a BHRV é de 4ª ordem e é composto por 66 canais ao todo (Figura 3). Informação importante para análises subsequentes, como estudos de erosão, transporte de sedimentos e dinâmica fluvial.

Figura 3 – Ordenamento de canais da BHRV.



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

A drenagem BHRV tem a ordenação de canais (Tabela 1) constituído por 48 canais de 1ª ordem, 14 canais de 2ª ordem, 3 canais de 3ª ordem e 1 canal de 4ª ordem. As ramificações indicam que a área concentra o maior número de canais de 1ª ordem a oeste e sudoeste da referida bacia, demonstrando que nessa área há maior densidade de drenagem e conseqüentemente maior atividade erosiva.

Tabela 1 - Ordem hierárquica dos canais de drenagem da BHRV.

Ordens	Número de canais	Comprimento dos canais (km)
1ª ordem	48	146,75
2ª ordem	14	46,70
3ª ordem	3	19,57
4ª ordem	1	33,76
Total	66	246,78

Fonte: Elaboração dos autores (2023).

A BHRV é composta por: A - Área da bacia de 451,83 km²; P - Perímetro de 142,79 km; Lx - Comprimento axial (comprimento do rio principal sem considerar a sinuosidade) de 38,90 km; Lt - Comprimento total dos rios de 246,78 km; L - Comprimento do rio principal de 49,94 km; e Ev - Distância nascente-foz de 26,22 km. A partir dessas informações foram obtidos os índices apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Resultados morfométricos.

Índices	Resultados
Kc - Coeficiente de compacidade ou índice de Gravelius	1,894
Kf - Coeficiente de forma	0,299
Ic - Índice de circularidade	0,278
Rea - Razão de alongação	0,617
Dd- Densidade de drenagem (km/km ²)	0,546 km/km ²
Ems- Extensão média do escoamento superficial (km)	0,458 km
Eps - Extensão do percurso superficial (km)	0,915km
Cm - Coeficiente de manutenção (m ² /m)	1830,828 m ² /m
Dr - Densidade de rios (Nr/km ²)	0,146 Nr/km ²
Ct - Coeficiente de torrencidade	0,080
Sin - Sinuosidade	1,905
Is - Índice de sinuosidade (%)	47,497%
Textura da topografia (Tt)	0,845

Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Para o Coeficiente de compacidade ou índice de Gravelius (Kc) o valor obtido para a BHRV foi de 1,894. Relacionado a interpretação das classes (Quadro 3) constatou-se que o valor encontrado indica uma tendência de menor propensão a grandes eventos de enchentes.

Quadro 3 – Interpretação do Coeficiente de compacidade ou índice de Gravelius (Kc).

Valor de Kc	Interpretação
1,00 a 1,25	Bacia com alta propensão a grandes enchentes
1,25 a 1,50	Bacia com tendência mediana a grandes enchentes
>1,50	Bacia não sujeita a grandes enchentes

Fonte: Oliveira *et al.*, (2012); BACK (2014).

O coeficiente de forma (Kf) que representa a relação entre a área e o comprimento axial da bacia, pode chegar ao valor máximo de 1. Para a BHRV o valor encontrado foi de 0,299, que corresponde a uma bacia não sujeita a enchentes (Quadro 4).

Quadro 4 – Classes para interpretação do índice de forma (Kf).

Valor de Kf	Interpretação
1,00 a 0,75	Bacia sujeita a enchente
0,75 a 0,50	Bacia com tendência mediana a enchentes
< 0,50	Bacia não sujeita a enchentes

Fonte: BACK (2014).

Na região da bacia hidrográfica do Córrego Ceroula, localizada no estado do Mato Grosso do Sul, os pesquisadores Pirajá e Rezende Filho (2019) realizaram um estudo utilizando os mesmos parâmetros para analisar o coeficiente de forma (Kf) da bacia. Os resultados obtidos revelaram um valor de 0,67 para o coeficiente de forma, indicando que a bacia possui uma tendência mediana a enchentes. Este resultado destaca a importância da compreensão dos fatores hidrológicos específicos dessa região, contribuindo para uma abordagem mais abrangente e eficaz na gestão dos recursos hídricos locais.

O índice de circularidade (I_c) identificado para a BHRV foi de 0,278, o que corresponde a uma bacia não circular. Esse índice representa a relação existente entre a área da bacia e a área de um círculo de mesmo perímetro calculado, também apresentando resultado de valor máximo 1,0 para bacias circulares (Christofolletti, 1969). A constatação de um I_c de 0,278 sugere uma conformação mais alongada ou irregular em comparação com a idealização de um círculo. Esta informação é de grande relevância para a compreensão da morfologia da bacia, tendo implicações na dinâmica do escoamento e na distribuição de recursos hídricos.

A Razão de Elongação (Rea), assemelhando-se ao índice de circularidade, distingue-se apenas pelo método de cálculo. Segundo Christofolletti (1969, p.39), "o resultado obtido também atinge um valor máximo de 1,0, proporcionando uma abordagem alternativa para analisar a forma da bacia, comparando-a a um círculo com a mesma área". Para a BHRV, foi identificado o valor de 0,617 para a Razão de Elongação. Esse resultado sugere que a bacia possui uma forma menos circular e mais alongada em comparação com um círculo de mesma área. Essa característica pode ter implicações hidrológicas significativas, como influenciar o escoamento da água, a distribuição de precipitação e até mesmo a vulnerabilidade a determinados eventos climáticos, como enchentes.

Os índices Coeficiente de compacidade (K_c), Coeficiente de forma (K_f), Índice de circularidade (I_c) e Razão de alongação (Rea) são parâmetros que correspondem ao formato da bacia, indicando maior ou menor circularidade. Deste modo, os valores encontrados para esses quatro índices foram semelhantes em suas respostas e, portanto, correspondem a uma bacia não circular, sendo assim não sujeita a grandes enchentes de acordo com essas variáveis.

A densidade de drenagem (Dd) é destacado por Christofolletti (1969, p.41) como sendo “importante na análise de bacias hidrográficas porque apresenta relação inversa com o comprimento dos rios”. Back (2014) salienta que essa variável indica o grau de desenvolvimento dos canais de drenagem, podendo apontar bacias altamente dissecadas ou pobremente drenadas.

Na BHRV o valor para a densidade de drenagem foi de 0,546 km/km², que conforme a classificação (Quadro 5) de Beltrame (1994), corresponde a uma densidade de drenagem mediana, ou seja, com escoamento superficial regular na área da bacia.

Quadro 5 – Classes para densidade de drenagem (Dd)

Densidade de drenagem (km/km ²)	Classes
Menor que 0,5	Baixa
De 0,5 a 2,0	Mediana
De 2,01 a 3,5	Alta
Maior que 3,5	Muito alta

Fonte: Beltrame (1994).

No estudo realizado por Pereira *et al.* (2019) na bacia hidrográfica do Rio dos Patos (GO), foi identificado um valor de 0,78 km/km² para a densidade de drenagem, indicando uma densidade mediana na bacia. Os autores sugerem que essa característica está associada às particularidades do relevo da região. Em uma abordagem semelhante, Pirajá e Rezende Filho (2019), ao investigarem a bacia do Córrego Ceroula (MS), encontraram uma densidade de drenagem (Dd) de 0,83 km/km². Esse valor aponta para uma composição regular na bacia, também se enquadrando na classe mediana. Esses resultados ressaltam a importância de considerar a densidade de drenagem como um indicador relevante na análise hidrológica, fornecendo conhecimentos valiosos sobre o comportamento do escoamento de água e a influência do relevo na região.

Na BHRV, para a Extensão média do escoamento superficial (km) obteve-se o valor de 0,458 km, que corresponde a uma estimativa ao desenvolvimento médio do escoamento da água sobre a superfície. Para a Extensão do percurso superficial (km) obteve-se o valor de 0,915km, que representa a estimativa para a extensão percorrida pelo escoamento superficial. Esses índices são importantes na compreensão do comportamento hidrológico, mas cabe destacar que os valores obtidos para a Extensão média do escoamento superficial e a Extensão do percurso superficial, conforme apontado por Back (2014), devem ser considerados como pressupostos, pois a superfície é dinâmica e pode apresentar valores reais diferentes dos encontrados.

Para o C_m - Coeficiente de manutenção (m^2/m), na BHRV obteve-se o valor de 1830,828 m^2/m , que representa a área mínima necessária para o desenvolvimento de um canal de drenagem na bacia. Já para a D_r - Densidade de rios (Nr/km^2), o valor obtido foi de 0,146 Nr/km^2 que corresponde a relação entre o número de rios e a área de drenagem, o que representa a capacidade de gerar novos cursos d'água (Christofolletti, 1980; Back, 2014).

Costa, Galvanin e Neves (2020) em estudo a Bacia Hidrográfica do Paraguai/Jauquara (MT), encontraram um coeficiente de manutenção considerado alto no valor de 1,11 km/km^2 , contrapondo os resultados de extensão superficial que foi de 0,55km, relatando que essa ocorrência advém da forma de análise. O coeficiente de manutenção apresenta valores mínimos para manter cada 1 metro de escoamento superficial, já a extensão superficial relaciona-se à distância média de escoamento.

A sinuosidade relaciona-se a velocidade do fluxo de água de uma bacia, considerando que quanto mais sinuoso, mais obstáculos e mais tempo levará o escoamento terá que percorrer até alcançar o seu deságue (Back, 2014). Para a BHRV obteve-se o valor de 1,905 que relacionada ao I_s - Índice de sinuosidade (%) de 47,497% corresponde a classe sinuosa.

Em pesquisa desenvolvida por Rizzo *et al.*, (2022) na Bacia Hidrográfica do Córrego Pequiá (MA), verificando a sinuosidade em 5 sub-bacias que a compõem, encontrou-se valores para o índice de sinuosidade entre 1,30 a 1,56, indicando que valores mais próximos de 2,00 apresentam maior sinuosidade, enquanto os inferiores a 1,5 são mais retilíneos.

Para a textura topográfica (Tt) obteve-se o valor de 0,845 o que corresponde ao tipo grosseira (Quadro 6). Esse tipo de textura, de acordo com Back, Carlos e Pavei (2021) representa áreas com maior espaçamento entre os canais de drenagem, indicando dessa forma, o grau de dissecação, além de ser considerado um indicador do estágio erosivo.

Quadro 6 - Classes de textura topográfica.

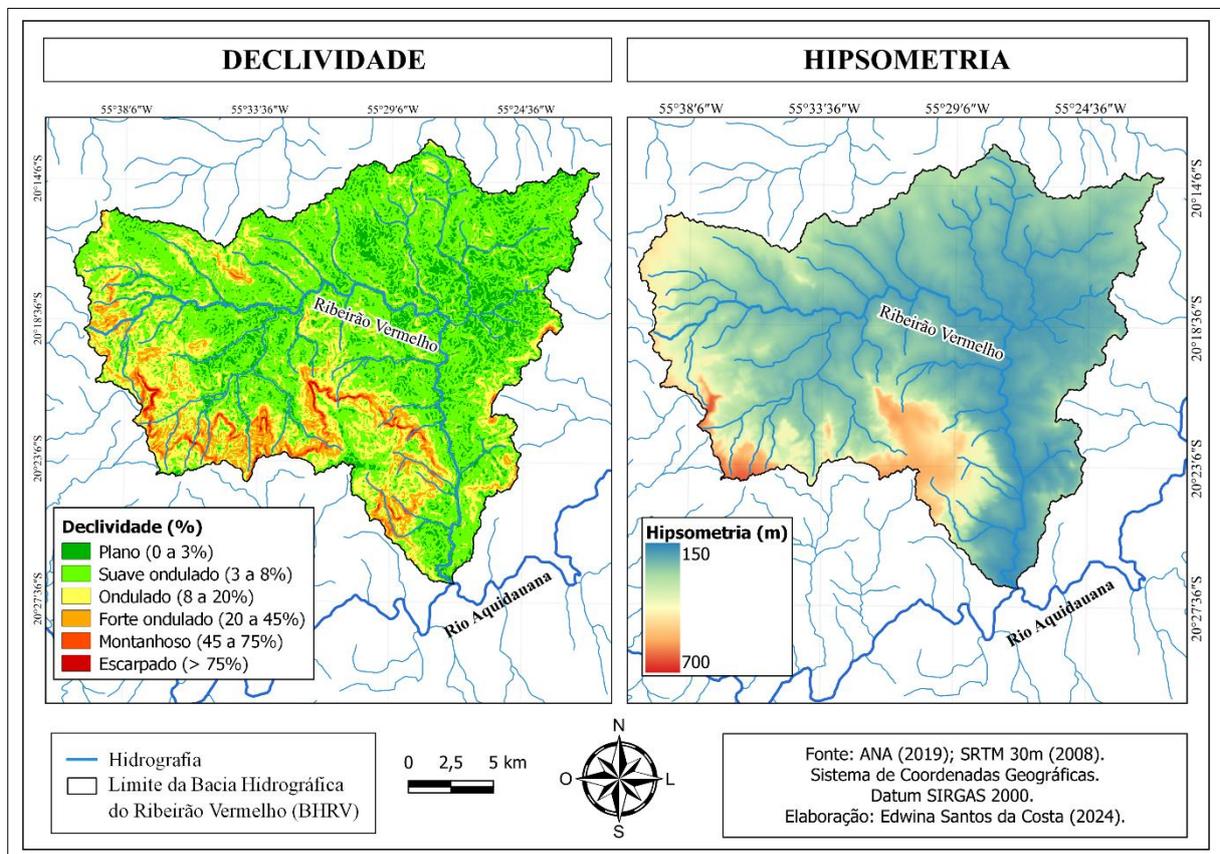
Classes de textura topográfica	Razão de textura média	
	Perímetro expresso em milhas	Perímetro expresso em quilômetros
Grosseira	Abaixo de 2,5	Abaixo de 4,0
Média	Entre 2,5 e 6,2	Entre 4,0 e 10,0
Fina	Acima de 6,2	Acima de 10,0

Fonte: Christofolletti (1969, p. 42).

A textura topográfica está diretamente relacionada a sinuosidade dos canais de drenagem, pois quanto mais sinuoso o canal, maior será a razão de textura (Back, 2014). Conforme destacado por Back (2014, p.97) “o relevo de uma bacia está diretamente relacionado aos fatores agrometeorológicos e hidrológicos, nos quais a velocidade de escoamento superficial depende da declividade do terreno, e os fatores climáticos, como temperatura e precipitação, são funções da altitude da bacia”.

A análise dos mapas (Figura 4) de declividade e hipsometria proporciona uma compreensão mais aprofundada das características do relevo na região da BHRV. Notadamente, observamos que as elevações mais significativas se estendem predominantemente de sul a oeste na área estudada. Essa configuração do relevo tem implicações diretas nos padrões hidrográficos e processos erosivos, influenciando, assim, a dinâmica hídrica e morfológica da BHRV. Tais observações contribuem para uma compreensão mais abrangente do ambiente geográfico, sendo cruciais para o planejamento e gestão sustentável dos recursos hídricos na região em questão.

Figura 4 – Ordenamento de canais da BHRV.



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

As áreas caracterizadas pelos maiores valores de altitude e declividade estão situadas na região onde se encontra a Serra de Santa Bárbara, cujo relevo é marcado por escarpas e serras. Observa-se que para as classes de declividade Escarpado (> 75%), Montanhoso (45 a 75%), e Forte Ondulado (20 a 45%), as respectivas proporções de área são de aproximadamente 0,31%, 1,47%, e 6,90% (Tabela 3). Essas características destoam significativamente do restante do relevo na área estudada, o qual é predominantemente plano e suavemente ondulado. Tal contraste realça a singularidade da Serra de Santa Bárbara, conferindo uma dinâmica distinta ao contexto topográfico da região.

Tabela 3 – Declividade da bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho.

Declividade (%)	Km²	% ocupação da área
Plano (0 a 3%)	70,11	15,52
Suave ondulado (3 a 8%)	247,27	54,73
Ondulado (8 a 20%)	95,27	21,09
Forte ondulado (20 a 45%)	31,17	6,90
Montanhoso (45 a 75%)	6,63	1,47
Escarpado (> 75%)	1,38	0,31
Total	451,83	100

Fonte: Embrapa (1979). Organização dos autores (2023).

Pela declividade e hipsometria da área pode-se constatar que o fluxo de escoamento ocorre com maior velocidade de Sul a Oeste da bacia, pois a maior declividade e altitude permite um escoamento superficial mais acelerado e, portanto, conduz a processos erosivos mais intensos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise morfométrica fornece dados importantes e considerados imprescindíveis para o entendimento de uma rede de drenagem. O estudo a partir de uma bacia hidrográfica demonstra as características da área e apresenta que, embora seja delimitada para estudo existe uma relação sistêmica entre as bacias e os elementos que as compõem.

O sistema de drenagem da BHRV é constituído por 66 canais ao todo, sendo 72,72% de 1ª ordem, apresentando concentração dessa classe na região oeste e sudoeste. O que pode ser associado a declividade e a hipsometria que apontam um escoamento superficial com maior velocidade na mesma região devido a sua variação topográfica mais acentuada, o que favorece o escoamento superficial intenso e consequentemente beneficia a formação de canais pela atividade erosiva exercida pelo fluxo da água e perfil do terreno.

Os índices relacionados a forma, Coeficiente de compacidade (Kc), Coeficiente de forma (Kf), Índice de Circularidade (Ic) e Razão de alongação (Rea) apontaram resultados que indicam uma bacia não circular, portanto, não sujeita a grandes enchentes sem considerar outros elementos que podem favorecer esse evento.

A BHRV apresenta uma densidade de drenagem mediana com um coeficiente de manutenção de 1830,828 m²/m, sendo a área mínima para o desenvolvimento de canais de drenagem. A sinuosidade dos canais corresponde a 47,497%, indicando conter canais sinuosos e com uma textura topográfica grosseira, o que sugere que a área é formada por rochas resistentes, com maior espaçamento entre os canais de drenagem.

As análises realizadas no programa HidroBacia 2.0 mostraram-se eficientes, uma vez que os cálculos obtidos a partir desse *software* correspondem às características apontadas neste trabalho. No entanto, ressalta-se a importância da aplicação do campo juntamente com os trabalhos de gabinete, visto que a

superfície de uma bacia hidrográfica é formada por elementos dinâmicos que constantemente são transformados por ações naturais e antrópicas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio recebido durante a realização deste trabalho. Agradecem à Fundação de Apoio para o Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (Fundect), Governo do Estado de Mato Grosso do Sul, à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), sob o Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACK, Álvaro José. **Bacias Hidrográficas: classificação e caracterização física**. Florianópolis: Epagri, 2014.

BACK, Álvaro José.; CARLOS, Franciéle Schwanck.; PAVEI, Sarah Brulinger. Análise Morfométrica da Bacia do Rio Timbé, localizada na região do município de Timbé do Sul/SC. **Anais do 6º Simpósio sobre sistemas sustentáveis**. Volume 5. Artigos completos (Bacias Hidrográficas). Toledo – PR, 2021.

BELTRAME, Angela da Veiga. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas – modelo e aplicação**. Florianópolis: Ed. UFSC, 1994.

BRASIL. **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. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF 09/01/1997, P. 470. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em: 20/02/2023.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Análise morfométrica das bacias hidrográficas**. Not. Geomorfológica, Campinas, 9 (18): pag. 35-64, dez. 1969.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Blucher, 1999.

COSTA, Angélica Aparecida Dourado da.; GALVANIN, Edinéia Aparecida dos Santos.; NEVES, Sandra Mara Alves da Silva. Análise morfométrica da bacia hidrográfica Paraguai/Jauquara, Mato Grosso – BRASIL. **Revista Geosul**, Florianópolis, v. 35, n. 74, p. 483-500, jan./abr. 2020.

COSTA, Edwina Santos da; LEITE, Emerson Figueiredo. Análise da morfometria areal da bacia hidrográfica do rio Nioaque- MS. **Revista Pantaneira**, V.18, Edição especial IV Workshop do PPGeo/CPAQ/UFMS e 3ª Mostra de pesquisa dos cursos de pós-graduação e graduação em geografia, "Olhares e lugares geográficos do ensino, saúde, ambiente e sociedade na pandemia", UFMS, Aquidauana-MS, novembro de 2020.

COSTA, Renata Cristina Araújo. **Indicadores Morfométricos: uma ferramenta no diagnóstico da vulnerabilidade ambiental**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **EMBRAPA CERRADO: O Cerrado**. 2012. Disponível em:<
<https://www.cpac.embrapa.br/unidade/ocerrado/>>. Acesso em: 15/03/2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos** (Rio de Janeiro, RJ). In: Súmula da X reunião técnica de levantamento de solos, Rio de Janeiro, 1979. 83 p. (EMBRAPA-SNLCS. Miscelânea, 1).

IVASKO JÚNIOR, Severo; MASTELLA, Alexandre Dal Forno; TRES, Andressa; TETTO, Alexandre França; WENDLING, Willian Thomaz. Classificação do estado de Mato Grosso do Sul segundo sistema de zonas de vida de Holdridge. **Revista Brasileira de Climatologia**, Ano 16 – Vol. 26 – 2020.

MIGUEL, Angélica Estigarribia São.; MEDEIROS, Rafael Brugnolli.; DECCO, Hermiliano Felipe.; OLIVEIRA, Wallace de. Análise morfométrica, geológica e hipsométrica da bacia hidrográfica do rio Taquaruçu/MS. **Revista Eletrônica Geoaraguaia**. Barra do Garças-MT. V 4, n.2, p 159 - 178. Julho/dezembro. 2014.

OLIVEIRA, Anna Haffmann.; SILVA, Mayesse Aparecida.; SILVA, Marx Leandro Neves.; AVANZI, Junior Cesar.; CURI, Nilton.; LIMA, Gabriela Camargos.; PEREIRA, Paulo Henrique. Caracterização ambiental e predição dos teores de matéria orgânica do solo na Sub-Bacia do Salto, Extrema, MG. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 143-154, 2012.

PEREIRA, Laiane Cristina Freitas.; BRITO, Gustavo Henrique Mendes.; VESPUCCI, Igor Leonardo.; ROCHA, José de Freitas. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio dos Patos, GO. **Revista Ipê Agronomic Journal** – V.3, n.1. 2019.

PIRAJÁ, Rennan Vilhena.; REZENDE FILHO, Ary Tavares. **Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Córrego Ceroula em Mato Grosso do Sul**. Revista Geofronter, Campo Grande, n. 5, v. 1, p. 35-58. 2019.

RIZZO, Felipe Alexandre.; ARANTES, Leticia Tondato.; SILVA, Darllan Collins da Cunha.; TONELLO, Paulo Sergio. Análise dos elementos morfométricos da Bacia Hidrográfica do Córrego do Pequiá como instrumento de suporte à sua gestão. **Revista Sítio Novo**, Instituto Federal do Tocantins. Palmas, v.6, nº3, 2022.

SANTOS, Rosely Ferreira dos. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SIRANGELO, Fabiana Rauber.; GUASSALLI, Laurindo Antonio.; OLIVEIRA, Guilherme de. Análise morfométrica das sub-bacias da bacia hidrográfica do Taquari-Antas/RS, Brasil. **Anais...** XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.

STRAHLER, Arthur N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, n. 11, p. 1117-1142, 1952.

TAVEIRA, Bruna Daniela de Araújo. **Hidrogeografia e gestão de bacias**. Curitiba: InterSaberess, 2018.

TEODORO, Valter Luiz Iost., TEIXEIRA, Denilson., COSTA, Daniel Jadyr Leite., FULLER, Beatriz Buda. O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local. **Revista Uniara**, n.20, 2007, 137-156. Disponível em: <
<https://doi.org/10.25061/2527-2675/ReBraM/2007.v11i1.236>>. Acesso em: 15/02/2023.

Submetido em: 30 de abril de 2023.

Aprovado em: 26 de dezembro de 2023.

Publicado em: 23 de janeiro de 2024.