

ANÁLISE GEOMORFOMÉTRICA DA ALTA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO SANTA MARTA, POSSÍVEL FONTE DE ABASTECIMENTO HÍDRICO DA CIDADE DE IPORÁ (GO)

GEOMORPHOMETRIC ANALYSIS OF THE HIGH WATERSHED OF RIBEIRÃO SANTA MARTA, A POSSIBLE SOURCE OF WATER SUPPLY FOR THE CITY OF IPORÁ (GO)

ANÁLISIS GEOMORFOMETRICO DE LA CUENCA HIDROGRAFICA ALTA DEL RIBEIRÃO SANTA MARTA, POSIBLE FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA LA CIUDAD DE IPORÁ (GO)

Derick Martins Borges de Moura

Doutor em Geografia, Universidade Estadual de Goiás, derick@ueg.br

RESUMO: Esse artigo faz uma análise geomorfométrica da alta Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Marta (BHRSM), com objetivo de avaliar o comportamento hídrico dessa unidade hidrográfica, que é cotada como futura fonte de abastecimento hídrico da cidade de Iporá (GO). O estudo foi realizado com uso de modelagem matemática, produtos de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento. Os dados empregados no estudo foram obtidos a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA). Dentre os diversos índices geomorfométricos descritos na literatura, foram selecionados os que melhor retratam a infiltração e o escoamento superficial da água das chuvas. A organização dos dados, as técnicas de geoprocessamento e a elaboração dos produtos cartográficos da bacia hidrográfica foram feitas por meio do Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS. Os resultados dos índices, analisados conjuntamente, indicaram que a BHRSM é mais favorável ao escoamento superficial. Isso evidencia que a bacia possui um comportamento hidrológico mais ativo, ou seja, a água escoar com maior facilidade, sendo desfavorável para a recarga e armazenamento hídrico. Dessa forma, os dados indicam que a BHRSM pode ter a uma vazão de permanência comprometida para futuramente atender o abastecimento público de Iporá (GO).

Palavras-chave: Análise geomorfométrica; Geotecnologias; Recursos Hídricos.

ABSTRACT: This paper makes a geomorphometric analysis of the high watershed of Ribeirão Santa Marta (BHRSM), with the objective of evaluating the water behavior of this hydrographic unit, which is quoted as a future source of water supply for the city of Iporá (GO). The study was carried out using mathematical modeling, remote sensing products and geoprocessing techniques. The data used in the study were obtained from the Digital Elevation Model (DEM) of the Brazilian Geomorphometric Database (TOPODATA). Among the various geomorphometric indices described in the literature, those that best portray the infiltration and surface runoff of rainwater were selected. The organization of the data, the geoprocessing techniques and the elaboration of the cartographic products of the hydrographic basin were carried out using the Geographic Information System (GIS) QGIS. The results of the indices, analyzed together, indicated that the BHRSM is more favorable to surface runoff. This shows that the basin has a more active hydrological behavior, that is, the water flows more easily, being unfavorable for recharge and water storage. Thus, the data indicate that the BHRSM may have a compromised permanence flow to meet the public supply of Iporá (GO) in the future.

Keywords: Geomorphometric analysis; Geotechnologies; Water Resources.

RESUMEN: Este trabajo hace un análisis geomorfométrico de la cuenca alta del Ribeirão Santa Marta (BHRSM), con el objetivo de evaluar el comportamiento hídrico de esta unidad hidrográfica, que se cita como futura fuente de abastecimiento de agua para la ciudad de Iporá (GO). El estudio se llevó a cabo utilizando modelos matemáticos, productos de teledetección y técnicas de geoprocésamiento. Los datos utilizados en el estudio fueron obtenidos del Modelo Digital de Elevación (DEM) de la Base de Datos Geomorfométrica Brasileña (TOPODATA). Entre los diversos índices geomorfométricos descritos en la literatura, se seleccionaron aquellos que mejor retratan la infiltración y el escurrimiento superficial del agua de lluvia. La organización de los datos, las técnicas de geoprocésamiento y la elaboración de los productos cartográficos de la cuenca hidrográfica se realizaron utilizando el Sistema de Información Geográfica (SIG) QGIS. Los resultados de los índices, analizados en conjunto, indicaron que el BHRSM es más favorable a la escorrentía superficial. Esto demuestra que la cuenca tiene un comportamiento hidrológico más activo, es decir, el agua fluye con mayor facilidad, siendo desfavorable para la recarga y almacenamiento de agua. Así, los datos indican que la BHRSM puede tener un flujo de permanencia comprometido para atender el abastecimiento público de Iporá (GO) en el futuro.

Palabras clave: Análisis geomorfométrico; Geotecnologías; Recursos hídricos.

1. INTRODUÇÃO

A análise geomorfométrica refere-se à avaliação quantitativa das características da superfície da Terra e de qualquer unidade de relevo (VALERIANO e ROSSETTI, 2017) se baseando na análise das formas métricas do terreno, fornecendo suporte para compreensão da dinâmica hidrológica das bacias hidrográficas (SOFIA, 2020). A análise de parâmetros geomorfométricos tem grande importância nos estudos de bacias hidrográficas, por retratar o comportamento hidrológico, ao indicar a capacidade de infiltração da água no solo ou de escoamento superficial (MOURA et al., 2018; ALVES, 2019).

De acordo com Christofolletti (1980), os cursos hídricos constituem um processo morfogenético muito ativo na esculturação da paisagem terrestre. Para o autor, a análise da rede hidrográfica pode levar a compreensão e elucidação de diversas questões geomorfológicas, principalmente no que tange ao comportamento hidrológico e sua relação com o relevo.

A quantidade de água que atinge o ponto exutório de uma bacia depende do tamanho da área da bacia, das chuvas que caem nessa área e das perdas de água representadas pela evapotranspiração e infiltração profunda (CHRISTOFOLETTI, 1980). A velocidade que a água atravessa a bacia hidrográfica também é influenciada pela geomorfometria da bacia.

Assim, a análise geomorfométrica auxilia no fornecimento de informações importantes sobre o comportamento das águas no contexto da bacia, provendo a avaliação da capacidade de infiltração ou escoamento superficial (NUNES, RIBEIRO e FIORI, 2006).

Christofolletti (1980) afirma que o estudo hidrológico e das características físicas de uma bacia hidrográfica tem aplicação em diversas áreas, mas principalmente na geomorfologia, onde busca compreender as formas do relevo e sua relação com o comportamento hidrológico.

A utilização de ferramentas geotecnológicas contribui para a análise geomorfométrica de bacias hidrográficas, pois proporciona maior praticidade na obtenção dos dados dos parâmetros geomorfométricos, que podem ser extraídos de forma semi-automática a partir de derivações do Modelo Digital de Elevação (MDE), (MOURA et al., 2018).

O uso das imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) tem se tornado cada vez mais frequente em estudos geológicos, hidrológicos, geomorfológicos, dentre outros, em

particular, para análises quantitativas do relevo e de seus agentes modificadores (CARVALHO e LATRUBESSE, 2004).

Apoiado por geotecnologias e modelos matemáticos propostos por Horton (1945), Strahler (1952), Müller (1953), Schumm (1956), Melton (1957), Schumm (1963) e Villela e Mattos (1975), é possível realizar a análise geomorfológica de bacias hidrográficas com rapidez e representatividade (ALVES, 2019; BAHRAMI, CAPOLONGO e MOFRAD, 2020).

Para auxiliar no planejamento, na gestão e na exploração (sustentável) dos recursos hídricos, especialmente para o abastecimento público, pode-se utilizar a análise geomorfológica das bacias hidrográficas. Moura et al. (2018) apontam que esse tipo de análise é um importante insumo para um maior entendimento da dinâmica dos recursos hídricos e melhor avaliação da disponibilidade hídrica, sobretudo, sob o aporte das geotecnologias.

Nesse contexto, chamamos a atenção para a cidade de Iporá, situada no oeste do estado de Goiás, cujo problema de escassez dos recursos hídricos para abastecimento da cidade vem se manifestando com frequência, devido ao aumento da demanda hídrica, e a redução da oferta, principalmente causado pelas degradações ambientais na bacia hidrográfica do Ribeirão Santo Antônio que é a única fonte fornecedora de água para o abastecimento público de Iporá (MOURA, 2017). Em setembro de 2017, por exemplo, não havia vazão remanescente no ribeirão Santo Antônio, prejudicando o abastecimento público do município (MOURA, NASCIMENTO e OLIVEIRA, 2023).

Moura (2017) avaliou a disponibilidade e demanda hídrica do Ribeirão Santo Antônio, apontando a necessidade de complementação da captação de água com o uso de outro manancial, com vistas a assegurar a disponibilidade hídrica para a população iporaense. Os indicadores do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2019) demonstram que o consumo médio per capita de água em Iporá aumentou 44,3 litros/habitante/dia em dez anos (2009-2018), ou seja, de 115,9 litros/habitante/dia em 2009 para 160,2 litros/habitante/dia em 2018.

Em estudos complementares, Moura et al. (2018) realizaram análises comparativas da vazão do Ribeirão Santo Antônio (1.754 litros por segundo) e do Ribeirão Santa Marta (2.977 litros por segundo), sugerindo este último como possível fonte complementar de captação. Por tal motivo, a alta Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Marta (BHRSM) tem sido avaliada como uma futura fonte fornecedora de água para complementar o abastecimento da cidade de Iporá.

Assim, o objetivo central deste estudo é o de realizar uma análise geomorfológica na BHRSM, no intuito de avaliar o comportamento hídrico dessa unidade. Dessa forma, a justificativa principal deste estudo é a de fornecer subsídios aos gestores públicos para que assegurem o abastecimento hídrico da cidade de Iporá em cenários futuros.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A BHRSM está localizada na Região de Planejamento do Oeste Goiano, no Estado de Goiás - Brasil, compreendendo uma pequena porção do município de Iporá (GO) e praticamente metade do município de Amorinópolis (GO). A bacia possui uma área de 274,32 km², sendo que o Ribeirão Santa Marta (RSM) (canal principal da bacia), possui um comprimento total de 53,8 km, desaguando no Rio Claro, que por sua vez deságua e integra a bacia hidrográfica do Araguaia/Tocantins (Figura 1).

O município de Iporá possui área territorial de 1.026,3km². A cidade se encontra a uma distância de 216 km de Goiânia, capital do Estado de Goiás, tendo como vias de acesso as rodovias GO-060, GO-174 e GO-221. De acordo com a prévia da população calculada com base

nos resultados do censo demográfico de 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), a população do município corresponde a 35.284 habitantes.

Segundo a classificação de Köppen-Geiger (1961), a posição do município de Iporá enquadra-se na tipologia climática Aw, que se caracteriza por clima tropical com chuva de verão, com duas estações distintas: outono e inverno seco (entre maio e setembro) e primavera/verão chuvosos (entre outubro e abril), e o mês mais frio possui temperatura média superior a 18 °C. A precipitação anual média da série histórica (1974 a 2021) é de 1.585 mm, segundo dados do posto pluviométrico 1651001 da ANA, instalado em Iporá. A variabilidade dos acumulados anuais de precipitação entre 1974 e 2021 é representada pelo gráfico da Figura 2.

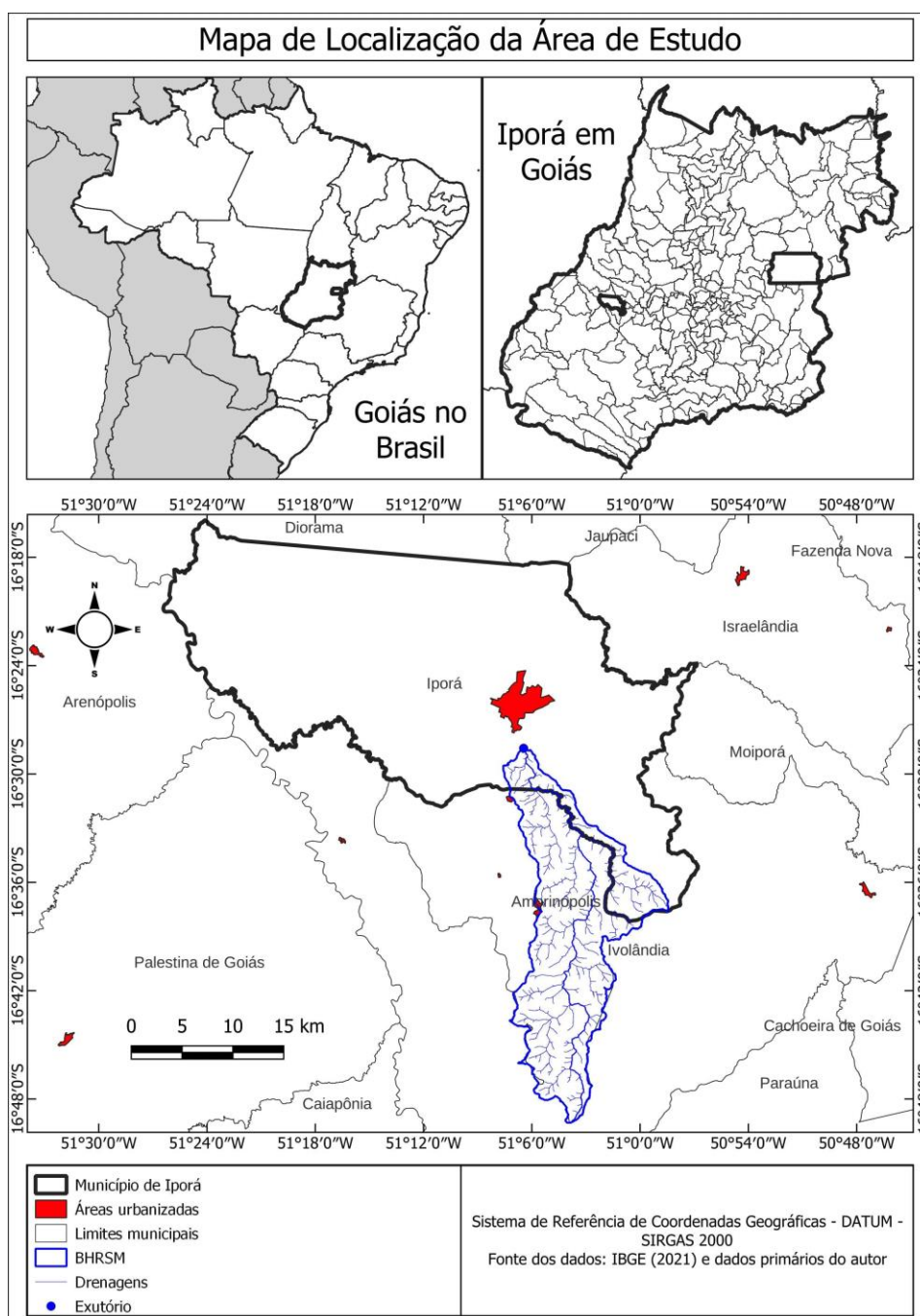


Figura 1 - Localização da BHRSM. Fonte: organizado pelo autor.

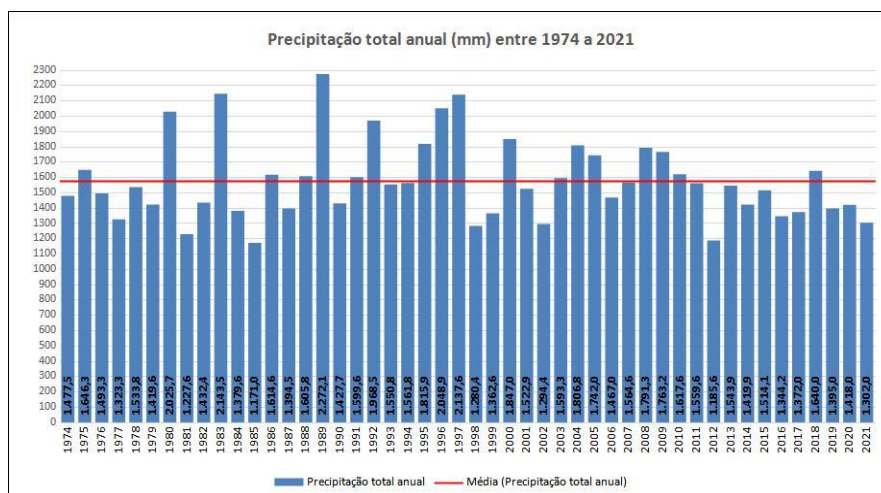


Figura 2 - A precipitação total e média anual. **Fonte:** Organizado pelo autor conforme dados do posto pluviométrico 1651001 da Agência Nacional de Águas (ANA).

O período chuvoso (outubro a abril) concentra 94% da média de chuva anual, ou seja, um volume de 1.500 mm. Por sua vez, o período seco (maio a setembro), perfaz apenas 85mm, cerca de 6% das chuvas anuais. A Figura 4 representa as médias mensais de precipitação (mm) de Iporá (1974/2021). (Figura 3).

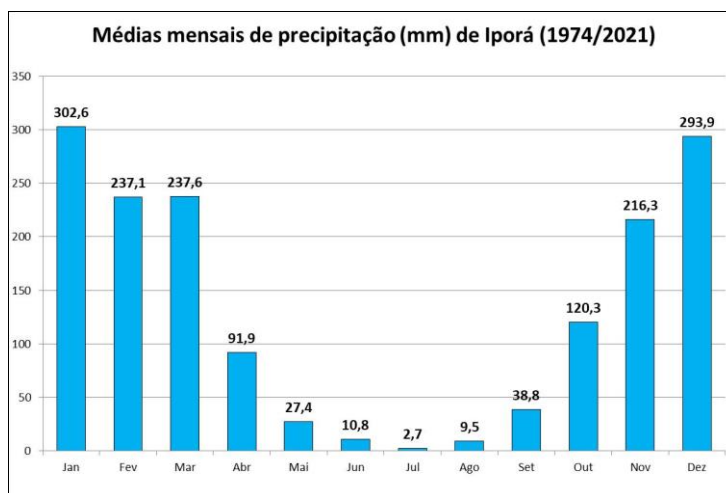


Figura 3 - Precipitação média mensal. **Fonte:** Organizado pelo autor conforme dados do posto pluviométrico 1651001 da Agência Nacional de Águas (ANA).

No contexto geológico, a BHRSM está inserida predominantemente na Bacia Sedimentar do Paraná, no contato com o Arco Magmático de Goiás e com a sequência metavulcanossedimentar (PIMENTEL e FUCK, 1992; MOREIRA et al., 2008), contendo rochas sedimentares, coberturas detrito lateríticas cenozóicas e também granitóides, metavulcanossedimentares e rochas intrusivas máfica-ultramáficas. As litologias das bacias abrangem os grupos de rochas com idades que datam do Período Criogeniano ao Quaternário (LACERDA FILHO et al., 2018) (Figura 4).

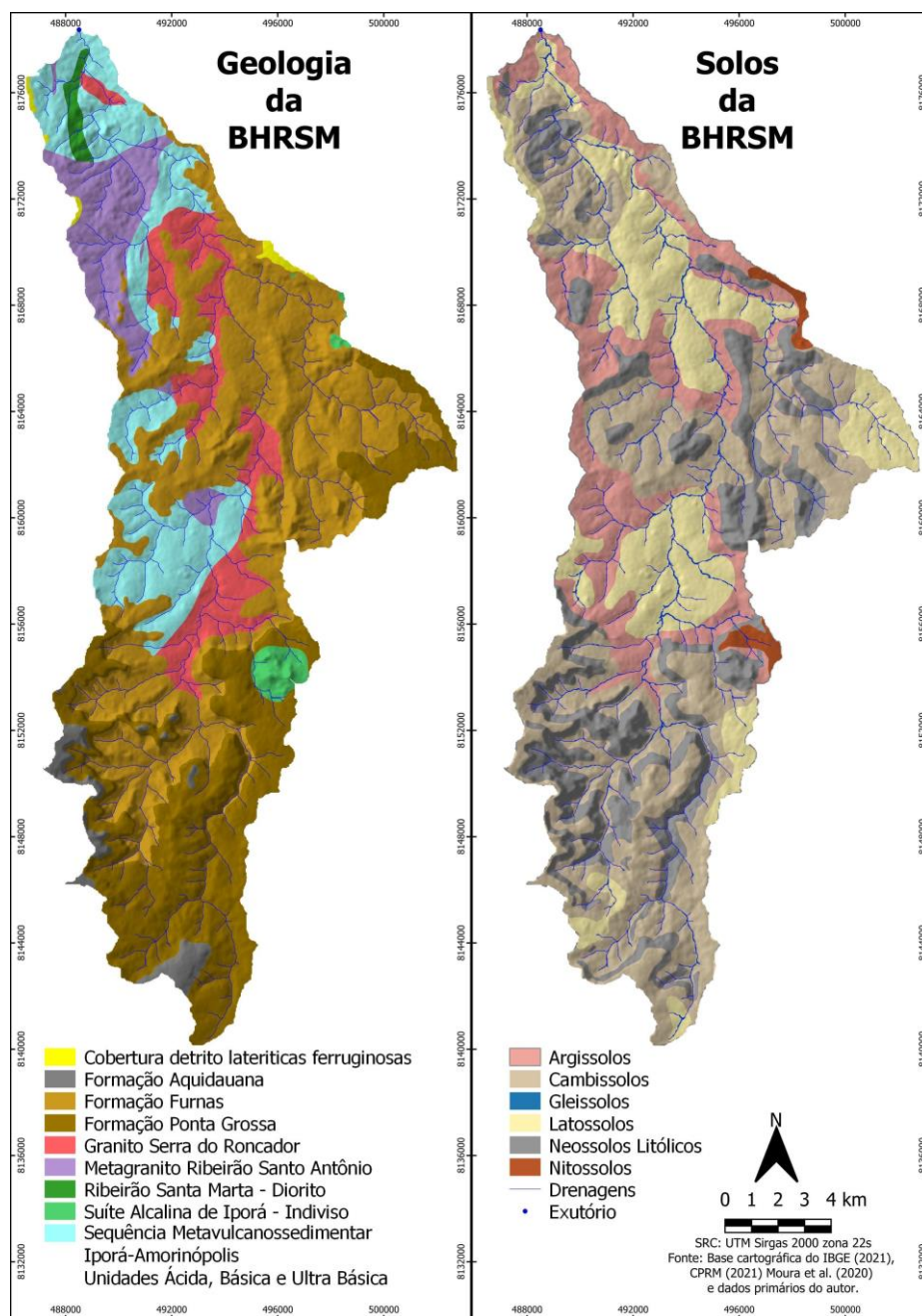


Figura 4 - Geologia e Solos da BHRSM. Fonte: Organizado pelo autor.

As rochas sedimentares perfazem 65,5% da área da bacia. O restante (34,6%) é associado ao compartimento geotectônico do Arco Magmático de Goiás, composto por rochas ígneas e metamórficas. Os solos que ocorrem na bacia são os Cambissolos, que predominam (26%), seguidos pelos Argissolos (23,2%), Neossolos Litólicos (22,2%) e, então, Latossolos (22%), Gleissolos, (5,3%) e os Nitossolos (1,3%).

No que se refere à Geomorfologia, a bacia está inserida na borda setentrional dos planaltos e chapadas da bacia sedimentar do Paraná, como considera Mamede et al. (1983). De acordo com a classificação de Latrubesse e Carvalho (2006), a área faz parte de uma superfície regional de aplainamento definida por como SRAIII.

2.2. Procedimentos metodológicos

Os dados empregados no estudo foram obtidos a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA <https://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>) (VALERIANO, ROSSETTI e ALBUQUERQUE 2009), derivado do processamento de imagens do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) e refinamento da sua resolução original de 90m para 30m.

A organização dos dados e a elaboração dos produtos cartográficos da bacia hidrográfica foram feitas por meio do *software* QGIS (v. 3.4.5). Foi utilizado para os mapas a rede de coordenadas planas, baseada no sistema de referência geodésico SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), e projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), Zona 22S.

A partir do MDE, inicialmente foi realizada a delimitação automática das bacias hidrográficas e a extração e classificação das drenagens, por meio da extensão *Terrain Analysis Using Digital Elevation Models* (TauDEM), complemento do QGIS, que representa um conjunto de ferramentas que, com base no MDE, permite a delimitação de bacias hidrográficas e uma série de análises hidrológicas de maneira automática, rápida e objetiva.

Todo o processo de delimitação da bacia, extração e classificação das drenagens foi de forma semiautomática, ficando a cargo do operador apenas a escolha do ponto definido como exutório da bacia, que corresponde ao ponto de maior acúmulo de fluxo de água na bacia. Para o posicionamento do exutório de forma mais precisa, a locação foi feita inicialmente levando-se em conta a observação de imagens de alta resolução, disponíveis no programa *Google Earth Pro*, com posterior validação em campo com a coleta das coordenadas planas com uso de aparelho receptor GNSS, modelo Monterra, da Garmin.

Dentre os diversos índices geomorfométricos presentes na literatura, foram selecionados (Quadro 1) os que melhor retratam a infiltração e o escoamento superficial da água das chuvas, a serem abordados no presente trabalho, haja vista a intenção de analisar uma bacia que poderá ser fonte complementar para abastecimento público. Os índices foram obtidos por meio do processamento digital das variáveis secundárias, contidas na caixa de ferramentas de processamento vetorial e raster do QGIS, que são aplicadas em fórmulas matemáticas específicas.

A etapa seguinte consistiu no levantamento de variáveis secundárias do MDE, representados pelos índices areais, lineares e de relevo da bacia. Os índices ilustrados em figuras e mapas foram: Atimetria, Declividade, Índice de Dissecção do Relevo; HAND (*Height Above the Nearest Drainage*), Perfil longitudinal do canal principal, Curva hipsométrica e Ordem hierárquica dos canais.

Quadro 1: Índices selecionados

Índices	Símbolo	Unidade
Área	A	km ²
Perímetro	P	km
Comprimento axial da bacia	La	km
Distância vetorial do canal principal	Dv	km
Coefficiente de compacidade	Kc	ad
Fator de forma	Kf	ad
Índice de circularidade	Ic	ad
Densidade hidrográfica	Dh	canais/km ²
Ponto mais alto da bacia	PI	m
Ponto mais baixo da bacia	PII	m
Altitude média	Am	m
Amplitude altimétrica máxima	Hm	m
Índice de rugosidade	Ir	ad
Altitude máxima do canal principal	PIcp	m
Altitude mínima do canal principal	PIIcp	m
Amplitude Altimétrica do canal principal	Hmcp	m
Declividade média do canal principal	Dcp	%
Índice de sinuosidade do canal principal	Is	Km/km
Razão de relevo	Rr	m/km
Declividade mínima da bacia	Dmin	%
Declividade máxima da bacia	Dmax	%
Declividade média da bacia	Dmed	%
Número de canais	Nc	ad
Ordem do curso hídrico principal	Ocp	ordinal
Comprimento do canal principal	Ccp	km
Gradiente do canal principal	Gcp	m/km
Comprimento total dos canais	Ctc	km
Densidade de drenagem	Dd	km/km ²
Extensão do percurso superficial	Eps	m
Coefficiente de manutenção	Cm	m ² /m
Número de canais de 1ª ordem	Nc1	ad
Número de canais de 2ª ordem	Nc2	ad
Número de canais de 3ª ordem	Nc3	ad
Número de canais de 4ª ordem	Nc4	ad
Número de canais de 5ª ordem	Nc5	ad
Frequência de canais de 1ª ordem	Fc1	%
Frequência de canais de 2ª ordem	Fc2	%
Frequência de canais de 3ª ordem	Fc3	%
Frequência de canais de 4ª ordem	Fc4	%
Frequência de canais de 5ª ordem	Fc5	%
Razão de bifurcação de canais de 2ª ordem	Rb2	ad
Razão de bifurcação de canais de 3ª ordem	Rb3	ad
Razão de bifurcação de canais de 4ª ordem	Rb4	ad
Razão de bifurcação de canais de 5ª ordem	Rb5	ad
Razão de bifurcação média	Rb	ad

Legenda: ad: adimensional. **Fonte:** Elaborada pelo autor

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise areal da bacia

Segundo Strahler (1952), a área da bacia é a superfície projetada sobre um plano horizontal, que representa a capacidade de captação e armazenamento de água disponível e, portanto, quanto maior a área, maior poderá ser o volume de precipitação entrando no sistema da bacia hidrográfica. Schumm (1956) afirma que a área da bacia cresce exponencialmente com a ordem dos canais. Além disso, quanto maior a área da bacia, maior o número de canais de 1ª ordem, e maior o perímetro da bacia. O perímetro da bacia é a projeção horizontal da linha que contorna o divisor de águas (SOUZA, 2005).

Conforme indicado pela Tabela 1, a área e o perímetro da BHRSM correspondem a 274,32 km² e 140,08 km, respectivamente. A área disponível para captação da água da chuva corresponde a área da bacia, sendo que esse parâmetro repercute um possível maior volume de água no sistema da bacia. Contudo, não significa que esse volume de água permanecerá por maior período de tempo na bacia, ou seja, o tempo de concentração da água na bacia será determinado pelos aspectos geomorfométricos e outros aspectos físicos e antrópicos.

Tabela 1 - Caracterização areal da bacia

Índice	Resultado
Área	274,32 km ²
Perímetro	140,08 km
Comprimento axial da bacia	38,5 km
Distância vetorial do canal principal	38,3 km
Coefficiente de compacidade	2,36
Fator de forma	0,18
Índice de circularidade	0,17
Densidade hidrográfica	1,56 canais/km ²

Fonte: Elaborada pelo autor.

Segundo Horton (1945), a distância vetorial do canal principal (Dv) é a distância, em linha reta, entre a nascente e a foz (ou exutório) do canal principal. Tem relação diretamente proporcional com a área e o perímetro da bacia. O Dv da BHRSM é de 38,3km. É uma variável que influencia no cálculo do índice de sinuosidade do canal principal, demonstrando as formas do canal, tempo de concentração da água e velocidade do escoamento, pois quanto mais retilíneo for um canal, mais rapidamente a água poderá escoar por ele. O índice de sinuosidade do canal principal é analisado adiante.

O comprimento axial da bacia (La) é utilizado no cálculo do fator de forma (Kf), pois quanto maior for o La, menor poderá ser o Kf e mais alongada é a bacia. O La da BHRSM é 38,5km, indicando uma bacia com formato mais alongado.

Conforme Vilela e Mattos (1975), o coeficiente de compacidade (Kc) pode ser interpretado como a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de área igual à bacia. Quanto mais alongada for à bacia, maior será o Kc, o que representará maior tendência de uma bacia hidrográfica ao escoamento superficial.

De acordo com Spanghero, Meliani e Mendes (2015), caso a bacia hidrográfica tenha a forma de um círculo perfeito, o Kc será 1, que é o valor mínimo. Ou seja, quanto mais próximo de 1 mais circular é a bacia hidrográfica, e ao contrário, quanto maior o Kc, mais próximo da forma alongada. Na BHRSM o Kc é de 2,36, indicando que a bacia possui formato alongado e maior facilidade de escoamento superficial das águas.

Spanghero, Meliani e Mendes (2015) destacam que uma bacia hidrográfica alongada apresenta baixa probabilidade de ter toda sua área atingida por chuvas intensas ao mesmo tempo.

Menezes et al. (2014) também afirmam que em uma bacia hidrográfica estreita e longa, com Kf baixo, há menor possibilidade de ser atingida por chuvas intensas cobrindo, simultaneamente, toda sua extensão. Soares et al. (2016) destacam que quanto mais próximo de 1 for o valor obtido para o Kf no estudo de bacia hidrográfica, maior probabilidade de ocorrência de enchente, e quanto menor o valor de Kf maior facilidade de escoamento superficial. O valor de Kf da BHRSM (0,18), demonstra ser menos propensa a enchentes e mais sujeita ao escoamento superficial.

De acordo com Christofolletti (1974), o índice de circularidade (Ic) foi proposto com o objetivo de eliminar a subjetividade na caracterização da forma da bacia. Para o cálculo do Ic é necessário obter o valor da área do círculo de perímetro igual ao da bacia em questão. O Ic apresenta valores entre 0 e 1, sendo que quanto mais próximo de 1, mais próxima da forma circular será a bacia, sendo também mais propensa ao desenvolvimento de cheias.

Schumm (1956) afirma que valores baixos de Ic, sugerem que a bacia tende a ser mais alongada, favorecendo o processo de escoamento, e valores próximos a 1, indicam que tende a ser mais circular, favorecendo os processos de inundação. A BHRSM apresenta Ic (0,17) que demonstra ser uma bacia mais alongada, menos propensa a ocorrência de enchentes e mais favorável ao escoamento superficial.

Soares et al., (2016) ressaltam que é importante que as variáveis Kc, Kf e Ic sejam analisadas em conjunto para a indicação da capacidade do escoamento superficial em bacias hidrográficas. A análise desses índices evidencia grande capacidade de escoamento superficial.

Segundo Horton (1945), a densidade hidrográfica (Dh) constitui a relação existente entre o número de canais e a área da bacia hidrográfica. Destina-se a comparação da frequência de cursos de água existentes em uma área. O autor classifica as bacias com baixa densidade hidrográfica como sendo as que possuem valores abaixo de 0,5 canais/km², mediana com valores de 0,5 a 1,5 canais/km², boa com valores entre 1,5 e 2,5 canais/km², muito boa entre 2,5 e 3,5 canais/km² e excepcionais maiores que 3,5 canais/km².

A Dh é de 1,56 canais/km², ou seja, para cada km² na bacia hidrográfica existem 1,56 canais, o que caracteriza a BHRSM com boa Dh, facilitando a água precipitada na superfície do solo a encontrar rapidamente um canal para escoar, dificultando a infiltração. Isso reforça que a BHRSM possui grande capacidade de escoamento superficial.

3.2. Elementos do relevo

O alto valor da amplitude altimétrica (494m) encontrado na BHRSM revela grande diferencial de altitude entre partes altas da bacia e o exutório, aumentando a velocidade média do escoamento na calha do rio, que associada à baixa sinuosidade do mesmo, influencia em menor tempo de concentração (MENEZES et al., 2014).

O índice de rugosidade relaciona a disponibilidade do escoamento hídrico superficial com o potencial erosivo, expresso pela declividade média. Quanto maior for esse índice, maior será o risco de degradação da bacia quando as vertentes são íngremes e longas. Trata-se de um índice adimensional que corresponde à diferença altimétrica entre a foz e a maior altitude situada num determinado ponto da área da bacia, o que indica o desnível médio da bacia hidrográfica (MELTON, 1957; MOURA et al., 2018; ALVES, 2019). Os resultados dos elementos do relevo são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Elementos do relevo da bacia

Índice	Resultado
Ponto mais alto da bacia	960 m
Ponto mais baixo da bacia	466 m
Altitude média	640,3 m
Amplitude altimétrica máxima	494 m
Índice de rugosidade	637,26 ad.
Altitude máxima do canal principal	850 m
Altitude mínima do canal principal	466 m
Amplitude Altimétrica do canal principal	384 m
Declividade média do canal principal	0,71 %
Índice de sinuosidade do canal principal	1,40 Km/km
Razão de relevo	12,89 m/km
Declividade mínima da bacia	0,02 %
Declividade máxima da bacia	63 %
Declividade média da bacia	9,81 %

Fonte: Elaborada pelo autor. **Legenda:** ad: adimensional.

De acordo com Sousa e Rodrigues (2012), bacias hidrográficas com $I_r > 950$ são classificadas como de rugosidade Muito forte, de 551 a 950 forte, entre 151 e 550 média e de 0 a 150 fraca. Estes autores destacam, ainda, que elevados valores de rugosidade indicam acentuado escoamento superficial e também ocorrências erosivas. O valor do I_r (637,26) encontrado na BHRSM classifica a rugosidade como forte, ou seja, com forte ocorrência de escoamento superficial e processos erosivos. O valor alto do I_r , demonstra um relevo acidentado e bem dissecado, mais propenso ao escoamento superficial.

Hack (1965 apud CASSETI, 2005) verificou que a declividade dos canais fluviais diminui com o comprimento do rio e varia em função do material que está sendo escavado. A declividade média do canal principal (S1) é de 0,71%.

O índice de sinuosidade do canal principal foi apresentado inicialmente por Horton (1945) e descrito por Alves e Castro (2003) como sendo uma das formas de representar a influência da carga sedimentar e a compartimentação litológica e estrutural. Valores próximos a 1 indicam elevado controle estrutural ou alta energia e valores acima de 2 indicam baixa energia, sendo os valores intermediários relativos a formas transicionais entre canais retilíneos e meandrantos.

Lana, Alves e Castro (2001) destacam que I_s próximo a 1 indica que o canal tende a ser retilíneo; valores superiores a 2 sugerem canais tortuosos; valores intermediários indicam formas transicionais, regulares e irregulares; e a sinuosidade dos canais é influenciada pela carga de sedimentos, pela compartimentação litológica, estruturação geológica e pela declividade dos canais.

Conforme Spanghero, Meliani e Mendes (2015), a sinuosidade de um canal fluvial é um dos fatores controladores da velocidade do escoamento, pois quanto mais retilíneo for um canal, mais rapidamente a água poderá escoar por ele. O índice de sinuosidade do canal principal da BHRSM é de 1,40 indicando elevado poder de escoamento superficial das águas e carreamento de sedimentos.

Conforme destaca Schumm (1956), quanto maior o valor de razão de relevo (R_r), maior será o desnível entre a cabeceira e o exutório, como consequência, maior será a declividade média da bacia hidrográfica. Além disso, Menezes et al. (2014) afirmam que a R_r determina a maior ou menor velocidade de água a escoar na bacia hidrográfica, sendo que a menor velocidade de escoamento superficial possibilita maior infiltração de água no solo. O valor da R_r obtido para a BHRSM foi de 12,8m/km, que é considerado um valor alto, visto que a cada quilômetro linear do terreno no sentido da cabeceira a foz, há um desnível médio de 12,8 metros, significando maior influência no escoamento superficial da água.

Os valores de Hm, Ir, Hmcp, PIIcp, Dmin, Dmáx e Dmed da BHRSM são elevados, o que indica uma bacia mais favorável ao escoamento superficial. O mapa hipsométrico (Figura 5) e a Tabela 3 ilustram as classes altimétricas da bacia.

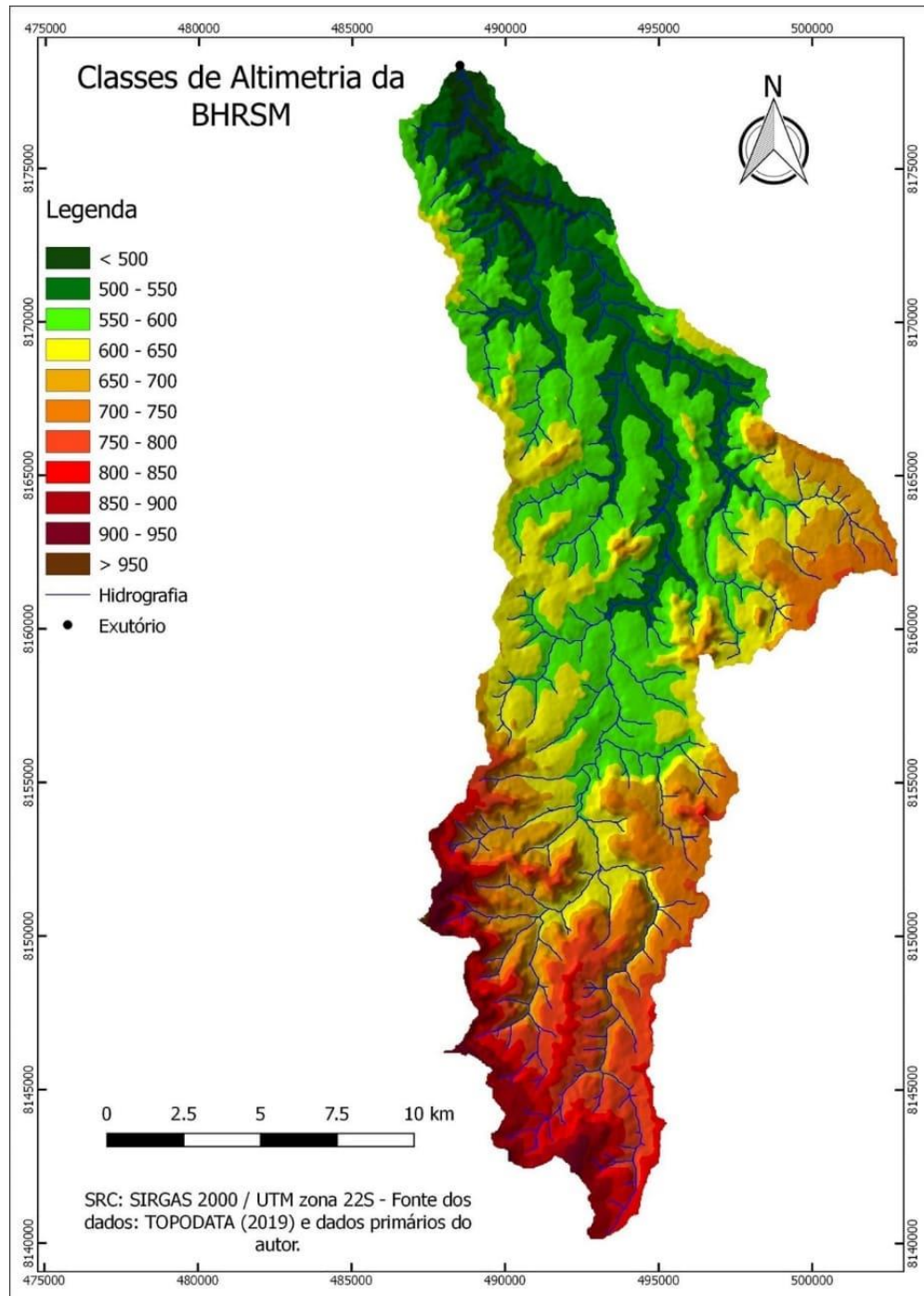


Figura 5 - Classes de altimetria da BHRSM. **Fonte:** Mapa elaborado pelo autor.

Tabela 3 - Classes de altimetria da bacia

Classes (m)	Área	
	Km ²	%
900 - 960	2,38	0,9
850 - 900	8,74	3,1
800 - 850	14,56	5,2
750 - 800	21,98	7,9
700 - 750	26,36	9,5
650 - 700	28,72	10,3
600 - 650	49,6	17,9
550 - 600	75,08	27,0
500 - 550	43,4	15,6
466 - 500	6,79	2,4
Total	274,32	100

Fonte: Elaborada pelo autor.

A BHRSM possui classes de altitudes quantitativamente distribuídas, assinalando uma bacia mais jovem. Bacias muito evoluídas, ou seja, muito denudadas, possuem maior parte da sua área em cotas altimétricas baixas. Bacias com cotas altimétricas bem distribuídas e com boa parte em cotas elevadas são mais jovens, pouco denudadas, com processos erosivos muito ativos (STRAHLER, 1952; SCHUMM, 1956; CHENG et al., 2018).

De acordo com Strahler (1952), a curva hipsométrica é uma forma simplificada de representar o ciclo geomorfológico Davisiano, caracterizando o relevo numa fase jovem, quando há maiores elevações, até uma fase madura, quando o relevo possui baixas elevações, ou seja, em estado de equilíbrio. A curva hipsométrica das bacias é ilustrada na Figura 6, a seguir.

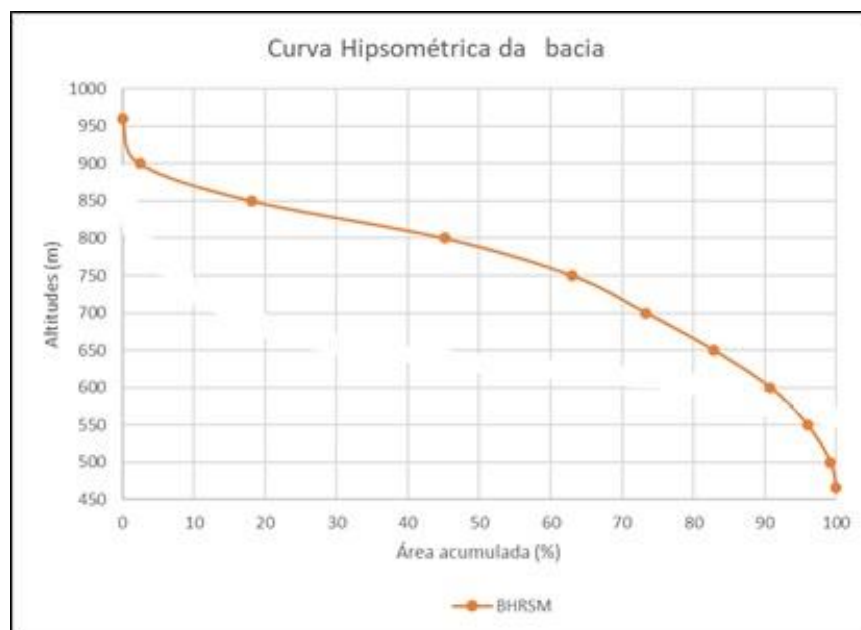


Figura 6 – Curva hipsométrica da bacia. Fonte: Elaborada pelo autor.

A curva hipsométrica mostra-se como um importante indicador para análise de tipo de processo de denudação dominante na bacia. Conforme Christofletti (1980), a curva hipsométrica tem a finalidade de exprimir a maneira pela qual o volume rochoso situado abaixo da superfície topográfica está distribuído desde a base até o topo. Quando a curva tiver tendência convexa no canto superior direito, representa ambientes mais jovens. Curvas que tendem a côncava e se concentram na parte inferior esquerda caracterizam ambientes mais maduros, com geologia específica, onde relevos residuais formam transições abruptas de altitude.

Segundo Grohmann e Ricomini (2012), as curvas com concavidade para cima representam paisagens antigas e dissecadas, já as curvas com concavidade para baixo são típicas de paisagens jovens. Curvas convexas revelam estágio de desequilíbrio jovem, ao passo que curvas com início sigmoide e côncavas indicam bacias mais maduras, em maior equilíbrio (SCHUMM, 1956).

A BHRSM possui curva hipsométrica mais convexa, indicando uma bacia com características de relevo mais jovem, que sofre acentuadamente as ações dos processos erosivos.

O percurso que o canal principal descreve ao longo de sua extensão, quando traçado seu perfil (perfil longitudinal), possibilita obter informações de seu gradiente da nascente ao exutório (CARVALHO e LATRUBESSE, 2004). O perfil longitudinal de um canal representa um elemento muito importante para o estudo da geomorfologia. Larue (2008) afirma que ele auxilia no entendimento da configuração do sistema fluvial, pois resultam da interação entre a incisão fluvial, a litologia e as trocas no nível de base. O perfil longitudinal reflete as influências geológicas, tectônicas e de mudanças de nível de base, além de influenciar nos processos fluviais de erosão e deposição (RICHARDS, 1982; FUJITA et al., 2011).

O perfil longitudinal de um rio mostra a sua declividade, ou gradiente, sendo a representação visual da relação entre a altimetria e o comprimento de determinado curso de água, para as diversas localidades situadas entre a nascente e a foz. Para muitos rios, a curva representativa dessa relação tem perfil côncavo para o céu, com declividades maiores em direção da nascente e com valores cada vez mais suaves em direção de jusante (CHRISTOFOLETTI, 1981). Cursos d'água que apresentam tal morfologia são considerados em equilíbrio, quando há relação de igualdade entre a atuação da erosão, do transporte e da deposição (CUNHA, 2007). O perfil longitudinal do Ribeirão Santa Marta (RSM) é ilustrado na Figura 7.

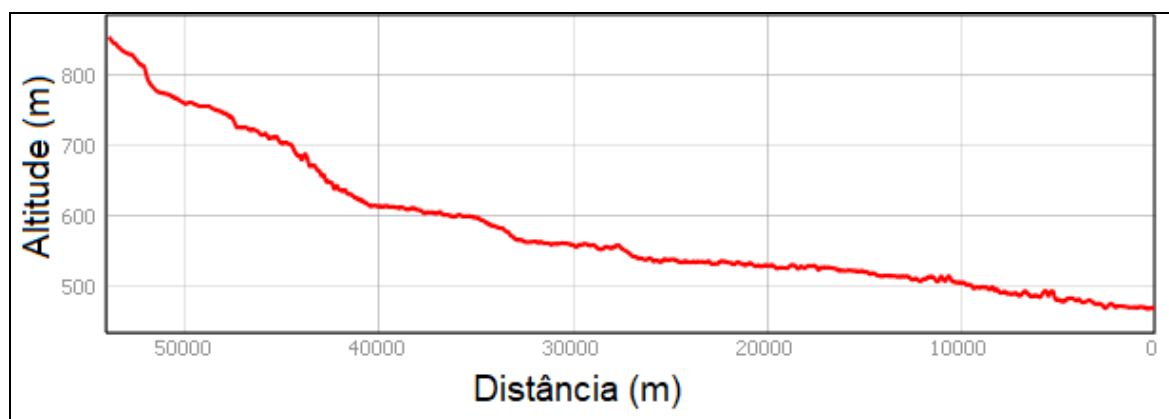


Figura 7 - Perfil longitudinal do RSM. **Fonte:** Elaboração do autor.

O perfil longitudinal do RSM tem concavidade para o céu mediana, e declividades maiores no seu alto e médio curso, com valores cada vez mais suaves em direção de jusante, tendo grande poder de escoamento no alto e médio curso e maior estágio de equilíbrio no baixo curso. O que significa maior ação dos processos erosivos nas cabeceiras e maior deposição de sedimentos no exutório.

Na classificação clinográfica implementada seguindo a proposta da Embrapa (2013), foram obtidas cinco classes de declividades, desde plano até montanhoso, com declividade máxima de 63% e média de 9,81% (Tabela 4 e Figura 8).

Tabela 4 - Classes de declividade da bacia

Classes (%)	Relevo	Área	
		Km ²	%
0 – 3	Plano	15,55	5,66
3 – 8	Suave-ondulado	113,78	41,48
8 – 20	Ondulado	121,29	44,22
20 – 45	Forte-ondulado	22,38	8,15
45 – 75	Montanhoso	1,32	0,48
Total	-	274,32	100

Fonte: Elaborada pelo autor conforme a classificação da Embrapa (2013).

A declividade varia de 0,02 a 63% e apresenta: 44,22% com declividade entre 8 a 20% (ondulado) seguida de 41,48% da área total com declividade entre 3 a 8% (suave-ondulado); 8,15% com declividade entre 20 a 45% (forte-ondulado); 5,66% com declividade entre 0 a 3% (plano); 0,48% com declividade entre 45 a 63% (montanhoso) e não apresenta áreas com a classe de relevo forte-montanhoso. Quando somado as áreas das classes de relevo ondulado, forte-ondulado e montanhoso, representam mais da metade da área da bacia (52,85%), caracterizando com relevo predominantemente movimentado, sendo mais desfavorável a infiltração da água, e, conseguinte, mais favorável ao escoamento superficial.

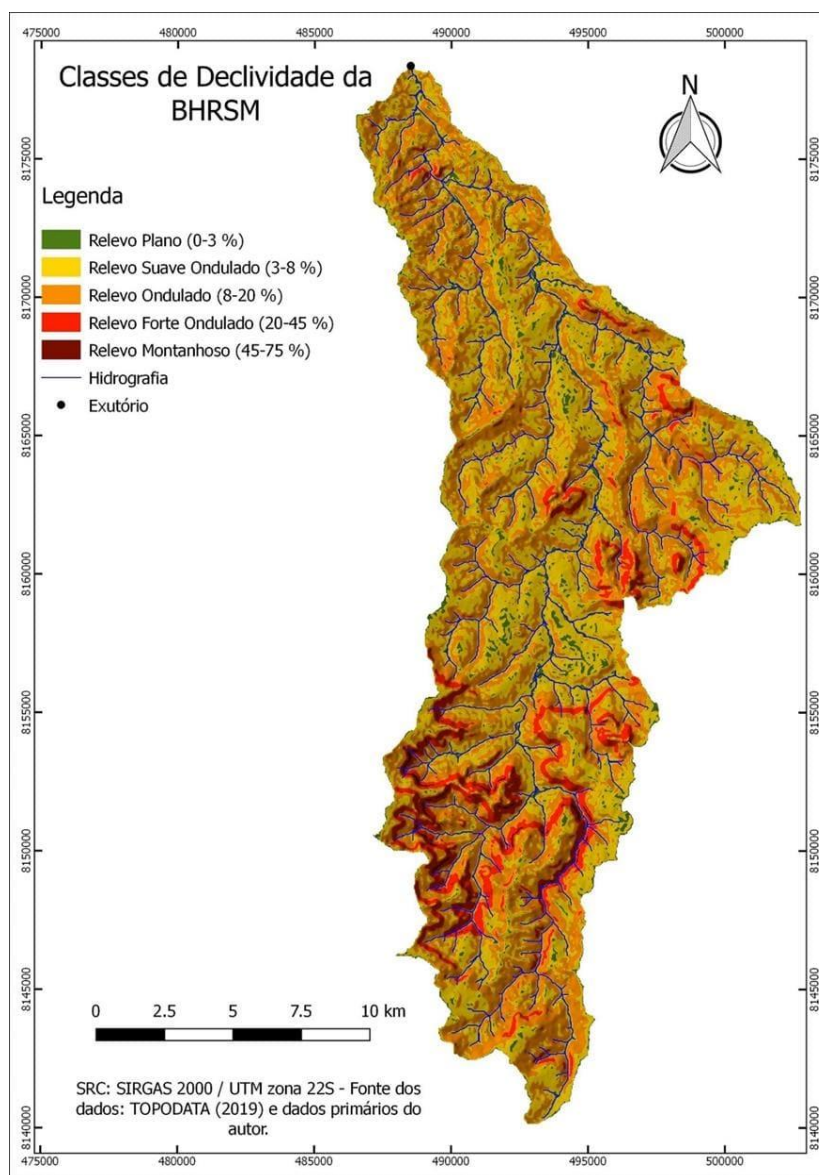


Figura 8 - Declividade da bacia. **Fonte:** Mapa elaborado pelo autor.

A declividade da bacia e do curso d'água principal são características que afetam diretamente o tempo de escoamento da água ao longo do sistema (CHRISTOFOLETTI, 1981). O tempo de concentração da água na bacia diminui com o aumento da declividade (TUCCI, 1998). De acordo com Caseti (1991), quanto maior a declividade, mais o componente paralelo (escoamento superficial) se intensifica, o que corresponde ao enfraquecimento do componente perpendicular (infiltração). O mapeamento da declividade das bacias contribui para o entendimento da dinâmica hidrológica, uma vez que esse processo é influenciado pela lei da gravidade.

Guerra (1993) define relevo dissecado como a parte da crosta terrestre sulcada com grande vigor pela rede hidrográfica ou paisagens trabalhadas pelos agentes erosivos. A dissecção do relevo se apresenta de forma heterogênea ao longo de toda a superfície terrestre, pois, os agentes erosivos se distribuem irregular no tempo e no espaço colaborando na formação de diversos tipos de paisagens (LIMA, 2018). A classificação do IDR fornece informações sobre áreas com maior ou menor energia potencial (potencial erosivo).

As classes do IDR conforme matriz apresentada por Ross (1994) e proposta alternativa 3 descrita em Guimarães et al. (2017) encontradas para a bacia foram: fraca (2), moderada (3), forte (4) e muito forte (5), e não obteve a classe muito fraca (1) (Figura 9 e Tabela 5).

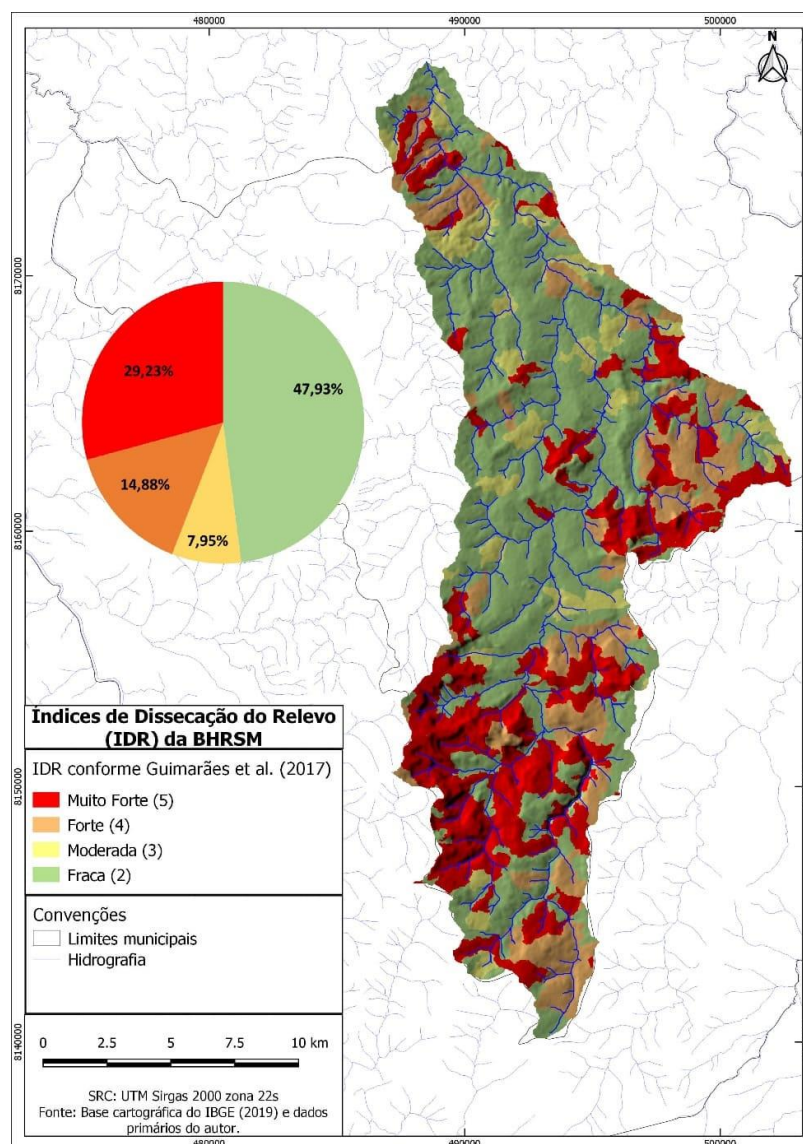


Figura 9 - IDR das bacias. **Fonte:** Mapa elaborado pelo autor.

Tabela 5 - Classes de IDR da bacia

IDR	Área	
	Km ²	%
Muito Fraco	-	-
Fraco	131,48	47,93
Moderada	21,82	7,95
Forte	40,83	14,88
Muito Forte	80,19	29,23
Total	274,32	100

Fonte: Elaborada pelo autor conforme a matriz de Ross (1994) e proposta alternativa 3 de Guimarães et al. (2017).

A dissecação do relevo é maior em áreas onde predominam vales encaixados e profundos, em forma de V com dimensão interfluvial pequena, caracterizados por apresentarem altas declividades e menor em áreas planas normalmente com baixa densidade de drenagem (GUIMARÃES et al., 2017). A classe fraca (47,93%) e moderada (7,95%), concentram nas partes centro-norte-oeste, nas proximidades do nível de base local, onde possuem vales mais abertos e relevo mais plano. As classes de dissecação forte (34,88%) e muito forte (29,23%), concentram-se na porção sul-sudoeste-leste, nas bordas cuestasiformes e de morros, com maior densidade de drenagem e vales encaixados.

As classes de dissecação forte e muito forte representam áreas com maiores declividades, alto grau de entalhamento e pequenas dimensões interfluviais. Essas áreas são mais favoráveis ao escoamento superficial, sendo prejudicial para a infiltração e recarga dos aquíferos. As classes com dissecação moderada e baixa, representam áreas com menores declividades, menores graus de entalhamento dos vales e maiores dimensões de interflúvios. Essas áreas são mais favoráveis a infiltração da água, contribuindo melhor para a recarga subterrânea da bacia. Verificou a inexistência da classe de dissecação muito fraco, que corresponde pela maior influência na recarga hídrica. Aproximadamente metade da área da bacia contém dissecação fraca, que é mais favorável a infiltração e a outra metade é mais favorável ao escoamento superficial.

A distância vertical de cada ponto em relação à drenagem mais próxima (HAND) reflete o desnível altimétrico determinado a partir do caminho preferencial da água no terreno até a drenagem mais próxima (RENNÓ et al., 2008).

No mapa HAND de quatro classes das bacias (Figura 10), a primeira classe (azul) representa ambientes onde o lençol freático está mais próximo à superfície do solo, onde geralmente situam as zonas exutórias (nascentes), sendo denominados baixios. Essa classe favorece muito pouco a recarga hídrica subterrânea, devido o solo permanecer predominante saturado com água advinda das partes mais elevadas, ou seja, são consideradas áreas de descarga hídrica. A segunda classe (verde) representa ambientes de transição, com lençol freático raso, e zona vadosa pouco espessa, denominada ecótono. Essa classe pouco favorece a recarga hídrica dos aquíferos. A terceira classe representa aqueles ambientes cujo lençol freático é suficientemente profundo, porém mais declivoso, denominado encosta (amarelo). Devido as declividades superiores a 8% essa classe também é pouco favorável para a recarga hídrica. E a quarta classe, denominada platô (vermelho), possui HAND maior que 15m e declividade de 0 a 8%. O lençol freático é bastante profundo e a zona vadosa muito espessa. Essa classe favorece muito para a recarga hídrica dos aquíferos. Na Tabela 6 é ilustrado a distribuição das classes em área (% e km²).

Os dados obtidos pelo HAND estão relacionados indiretamente com a profundidade do lençol freático, que por sua vez, indica a disponibilidade da água do solo. Valores pequenos de distância vertical (próximos a zero) indicam regiões cujo lençol está próximo a superfície e, portanto, o solo se encontra em condições próximas à saturação (zonas exutórias ou nascentes). Valores altos de distância vertical e com baixas declividades identificam regiões com lençol

freático profundo, ou seja, áreas bem drenadas, que favorece muito para a recarga de água subterrânea (RENNÓ et al. 2008; PIRES e BORMA, 2013).

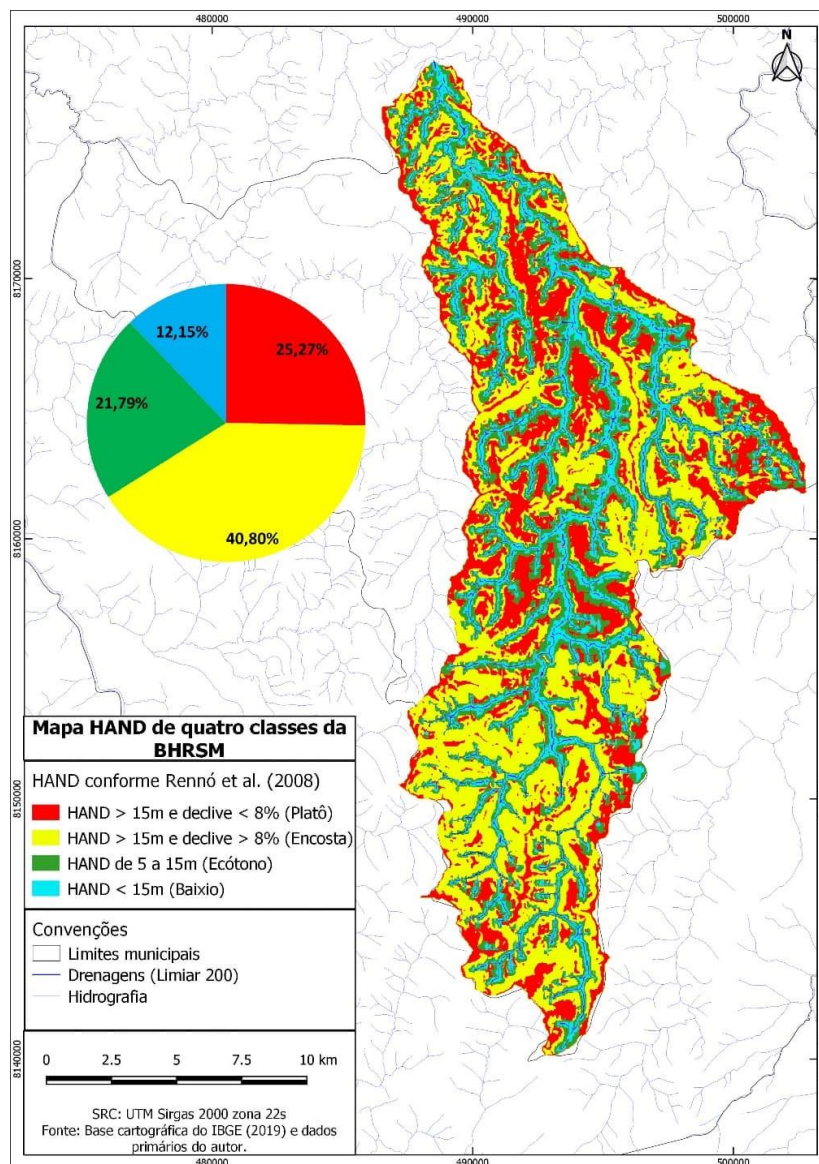


Figura 10 - Mapa HAND de quatro classes das bacias. Fonte: Mapa elaborado pelo autor.

Tabela 1 - Classes HAND da bacia

HAND	Declividade	Relevo	Área	
			Km ²	%
>15m	<8%	Platô	69,31	25,27
>15m	>8%	Encosta	111,91	40,80
5 a 15m	-	Ecótono	59,77	21,79
< 5m	-	Baixio	33,33	12,15
Total	-	-	274,32	100

Fonte: Adaptado pelo autor conforme Rennó (2008).

A BHRSM possui percentual de áreas de platô (25,27%), o que indica ser pouco favorável a recarga hídrica dos aquíferos. As áreas de platô se concentram nas partes centro-norte-oeste, onde possuem interflúvios com menor dissecação e relevo mais plano.

Os resultados dos elementos do relevo corroboram para um entendimento que a BHRSM possui grande facilidade ao escoamento superficial das águas.

3.3. Análise linear da rede hidrográfica

A rede de drenagens da bacia é classificada como dendrítica ou arborescente, devido seu desenvolvimento se assemelhar com a configuração de uma árvore (CHRISTOFOLETTI, 1980). Considerando a linha geral do escoamento dos cursos hídricos em relação a inclinação das camadas geológicas das bacias hidrográficas, conforme proposto por Davis apud Christofolletti (1980), as drenagens da BHRSM há predominância de serem classificadas como obsequentes, pois ocorrem em sentido inverso a inclinação das camadas, descendo escarpas.

Os resultados sobre a rede de drenagem são apresentados na Tabela 7, e a ordem dos canais, na Figura 11.

Tabela 7 - Caracterização da rede de drenagem da bacia

Índices	Resultado	Unidade
Número de canais	430	ad
Ordem do curso hídrico principal	5	ordinal
Comprimento do canal principal	53,8	km
Gradiente do canal principal	7,13	m/km
Comprimento total dos canais	354,27	km
Densidade de drenagem	1,29	km/km ²
Extensão do percurso superficial	387	m
Coefficiente de manutenção	775	m ² /m
Número de canais de 1 ^a ordem	343	ad
Número de canais de 2 ^a ordem	65	ad
Número de canais de 3 ^a ordem	16	ad
Número de canais de 4 ^a ordem	5	ad
Número de canais de 5 ^a ordem	1	ad
Frequência de canais de 1 ^a ordem	79,76	%
Frequência de canais de 2 ^a ordem	15,11	%
Frequência de canais de 3 ^a ordem	3,72	%
Frequência de canais de 4 ^a ordem	1,16	%
Frequência de canais de 5 ^a ordem	0,23	%
Razão de bifurcação de canais de 2 ^a ordem	5,27	ad
Razão de bifurcação de canais de 3 ^a ordem	4,06	ad
Razão de bifurcação de canais de 4 ^a ordem	3,2	ad
Razão de bifurcação de canais de 5 ^a ordem	5	ad
Razão de bifurcação média	4,38	ad

Fonte: Elaborada pelo autor. **Legenda:** ad: adimensional.

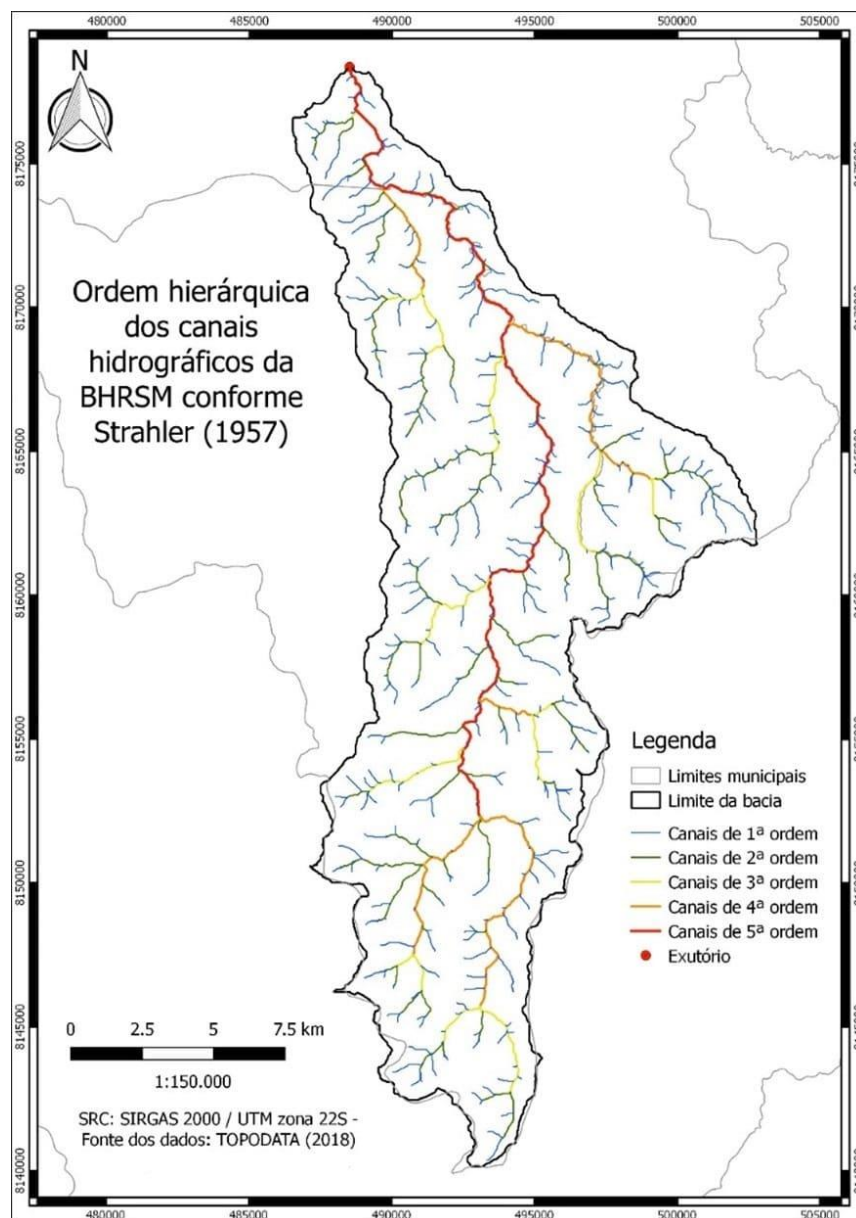


Figura 11: Ordem dos canais das bacias. **Fonte:** Mapa elaborado pelo autor.

Segundo Strahler (1957), a rede hidrográfica se divide em segmentos individuais de rio, estando cada segmento situado entre duas confluências. O ordenamento dos rios é realizado a partir da atribuição da ordem 1 aos rios que não possuem tributários, ou seja, são nascentes; a ordem 2 é atribuída ao rio formado pelo encontro de dois rios de primeira ordem; este rio, por sua vez, só se torna de terceira ordem ao encontrar outro segmento de segunda ordem. A confluência de rios de ordens diferentes não altera o grau de ordenamento. A hierarquia fluvial indica o grau de ramificação da bacia, sendo importante na determinação da velocidade com que a água escoar até o exutório. Assim, a descarga aumenta em relação exponencial com o aumento da ordem hierárquica do canal (SOUZA, 2005).

Conforme Santiago et al. (2015), a ordem do rio principal mostra a extensão da ramificação da bacia hidrográfica. A BHRSM possui uma hierarquia fluvial de 5ª ordem, isso mostra que a bacia é bem ramificada e bem drenada, possuindo grande velocidade de escoamento da água até o exutório.

O número de canais de 1ª ordem representa a quantidade e delimitação das áreas de nascentes e estão associadas a áreas de maior elevação do relevo (MOURA et al., 2018). A frequência de canais de cada ordem refere-se à frequência relativa de canais de cada ordem pelo número de canais totais. Um número elevado de canais de 1ª ordem está relacionado com o tempo decorrido entre a precipitação máxima e a descarga máxima no canal principal (SOUZA, 2005; MOURA et al., 2018). Os dados evidenciam uma frequência de canais de 1ª ordem de 79,76%, em consequência um menor tempo entre a precipitação e a descarga no canal principal, demonstrando grande velocidade do fluxo de água.

O comprimento do canal principal (Ccp) está relacionado ao tempo de escoamento da água ao longo de toda a bacia. Por sua vez, o tempo de escoamento da gota de água da chuva que atinge a região mais remota da bacia até o momento em que atinge o exutório é chamado de tempo de concentração da bacia (TUCCI, 2002).

O Ccp da BHRSM é 53,8km, e o comprimento vetorial do RSM é 38,31km, possuindo uma diferença de 15,49km (40%) em relação ao Ccp. Isso indica que a BHRSM possui formato alongado, com um canal principal mais retilíneo, demonstrando grande entalhamento e dissecação no relevo, consecutivamente maior facilidade no escoamento superficial das águas.

O gradiente do canal principal (Gcp) é a relação entre sua amplitude altimétrica e o seu comprimento. Está relacionado com energia potencial do rio e, conseqüentemente, seu poder erosivo (SANTOS, 2006). É um bom indicador da capacidade de transporte de sedimentos de um rio. Quanto maior for o Gcp maior será a capacidade de transporte de um rio, pois maior é a sua declividade. Essa é uma média do desnível do canal principal desde sua nascente até o ponto exutório. O Gcp é de 7,13m/km, o que significa que a média de desnível no canal principal a cada quilômetro percorrido tem uma variação de 7,13m.

A densidade de drenagem (Dd) é reconhecida como uma das variáveis mais importantes para a análise geomorfométrica das bacias de drenagem, representando o grau de dissecação topográfica em paisagens elaboradas pela atuação fluvial, a quantidade de canais disponíveis para o escoamento e o controle exercido pelas estruturas geológicas. A Dd relaciona o comprimento total dos rios com a área da bacia hidrográfica e representa o grau de dissecação do relevo da bacia (HORTON, 1945; CHRISTOFOLETTI, 1979, 1980 e 1981; ROSS, 1990).

HORTON (1945) destacou dois importantes fatores que determinariam a Dd, além do regime de chuvas e do relevo, que seriam a capacidade de infiltração do solo e a resistência inicial do terreno à erosão (HIRUMA e PONÇANO, 1994). Este parâmetro expressa a quantidade de canais disponíveis para o transporte, de forma que quanto mais canais presentes na bacia, mais rápida a água precipitada atinge o exutório. Além disso, a Dd tem influência sobre o escoamento e o transporte de sedimentos dentro da bacia hidrográfica (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Beltrame (1994) considera a classificação da Dd de uma bacia hidrográfica como baixa para valores menores que 0,50km/km², mediana entre 0,50 e 2,00km/km², alta entre 2,01 e 3,50km/km² e muito alta para valores acima de 3,50km/km². A Dd da BHRSM é de 1,29km/km², representando uma densidade mediana.

Segundo Schumm (1956), o coeficiente de manutenção (Cm) representa a área mínima necessária para manutenção de um metro de escoamento. Esse parâmetro corresponde à área necessária para formação de um canal com fluxo perene (FONSECA e AUGUSTIN, 2014).

Machado et al. (2011) afirmam que o Cm evidencia áreas de recarga, podendo ser associado a impermeabilização do solo e do substrato rochoso, permitindo avaliar o potencial hidrológico das bacias hidrográficas. O Cm é 775,77m²/m, ou seja, são necessários 775m² para formar um metro de canal com fluxo perene. Esse parâmetro também indica grande dissecação do relevo e facilidade ao escoamento superficial na bacia.

Quando associados à declividade, o Cm e a Extensão do percurso superficial (Eps) definem o caminho da água no solo, tendo em vista que grandes extensões de áreas com pequenos ângulos de declividade favorecem a infiltração enquanto pequenas extensões de áreas

com ângulos de declividade acentuados proporcionam maior escoamento superficial (SAMPAIO, CORDEIRO e BASTOS, 2016).

A Eps representa o caminho percorrido pela enxurrada do interflúvio até o canal fluvial, sendo que o valor para essa variável pode refletir na maior ou menor infiltração da água no solo, uma vez que, quanto maior o percurso entre os canais de escoamento, maior o contato direto da água com o solo, dependendo da declividade, ficando sujeita a infiltração ou escoamento (SAMPAIO, CORDEIRO e BASTOS, 2016).

O valor de Eps obtido para a BHRSM é de 387m, o que indica uma distância pequena para o escoamento superficial, propiciando menor tempo de concentração da água, sendo mais favorável ao escoamento superficial.

Segundo Zancopé e Bayer (2012), bacias hidrográficas que apresentam valores elevados de Dh e Dd, e reduzidos de Eps tendem a ter elevado potencial de transferência de sedimentos. Ao serem analisados os valores de Dh, Dd e Eps para a bacia, demonstra grande potencial de transferência de sedimentos, reforçando o entendimento que essa bacia é mais favorável ao escoamento superficial.

Segundo Horton (1945), a razão de bifurcação (Rb) representa a relação entre o número total de segmentos de uma certa ordem e o número total de segmentos (canais, rios) de ordem imediatamente superior. A Rb varia entre 2 para bacias planas a suave onduladas, a 3 ou 4 para bacias montanhosas ou altamente dissecadas. A razão de bifurcação média encontrada (4,38) indica que a BHRSM possui dissecção que favorece o escoamento superficial das águas.

Moura et al. (2018b) mediu a vazão do RSM em três períodos distintos do ano e encontrou uma considerável variação da vazão, com valores partindo de 2.977 l/s no período chuvoso, alcançando reduções de vazão para 444 l/s em meados do período de estiagem e valores críticos de 100 l/s no auge do período seco. Percebe-se, pois, que a vazão reduz drasticamente no período de seca.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise areal da bacia apresentou valores de área 274,32 km², perímetro 140 km, comprimento axial 38,5km, distância vetorial do canal principal 38,3km, coeficiente de compacidade 2,36, fator de forma 0,18, índice de circularidade 0,17 e densidade hidrográfica 1,56, que analisados em conjunto apontaram como uma bacia mais propensa ao escoamento superficial, proporcionando vazões elevadas em períodos de chuva e reduzidas em períodos de estiagem.

Os elementos do relevo mostraram que os valores dos índices amplitude altimétrica máxima 494m, índice de rugosidade 637, amplitude altimétrica do canal principal 384m, índice de sinuosidade do canal principal 1,40km/km, declividade média da bacia 9,81%, declividade média do canal principal 0,71%, razão de relevo 12,89m/km, IDR e HAND, também indicam ser mais favorável ao escoamento superficial. A curva hipsométrica e o perfil longitudinal expressaram as características de relevo, demonstrando um estágio mais jovem na bacia, significando maior ação dos processos erosivos.

A análise linear da bacia obteve índices com valores nos números de canais 430, comprimento do canal principal 53,8km, gradiente do canal principal 7,13m/km, comprimento total dos canais 354km, hierarquia fluvial de 5ª ordem e grande frequência de canais de 1ª ordem 79%, significando maior velocidade do fluxo de água, e os valores dos índices densidade de drenagem 1,29km/km², extensão do percurso superficial 387m, coeficiente de manutenção 775m²/m, número de canais de 1ª ordem 343 e razão de bifurcação média 4,38, indicam como sendo uma bacia mais propensa ao escoamento superficial, proporcionando uma amplitude alta entre as vazões de cheia e seca, ou seja, com uma curva de permanência com tendência para vazões reduzidas.

Conforme os resultados dos índices geomorfométricos, que foram analisados em conjunto, percebe-se que a BHRSM possui características que indica ser mais favorável ao escoamento superficial, assinalando torrentes caudalosas em períodos de chuva e vazões reduzidas em períodos de estiagem, evidenciando que a bacia possui um comportamento hidrológico mais ativo, ou seja, a água se movimenta com maior velocidade percorrendo a bacia, sendo esvaziada mais rapidamente. Isso significa uma menor propensão a infiltração d'água, sendo desfavorável para a recarga hídrica, podendo ter a vazão comprometida para atender um futuro abastecimento público de Iporá.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. D.; RESENDE, L.; RODRIGUES, A. P.; CAMPOS, J. E. G. Hidrogeologia do estado de Goiás e Distrito Federal. Goiás, Secretaria de Indústria e Comércio, Superintendência de Geologia e Mineração. *Série Geologia e Mineração*, n. 1, p. 132, 2006.

ALMEIDA, R. F. B.; BAYER, M.; FERREIRA JÚNIOR, L. G. Compartimentação geomorfométrica da bacia do Rio Coco como subsídio a análise de fragilidade ambiental. *Mercator*, Fortaleza, v.15, n.4, p. 83-94, out./dez. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4215/rm2016.1504.0006>. Acesso em: 10 jun.2018.

ALVES, W. S. Geotecnologias aplicadas em estudos hidrogeográficos na bacia do Rio Verdinho, Sudoeste de Goiás, Brasil. 2019. 212p. **Tese** (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2019.

BAHRAMI, S.; CAPOLONGO, D.; MOFRAD, M. R. Morphometry of drainage basins and stream networks as an indicator of active fold growth (Gorm anticline, Fars Province, Iran), *Geomorphology*, Volume 355, 2020, 107086, ISSN 0169-555X, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107086>.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação**. Florianópolis: UFSC, 1994.

CARVALHO, T. M.; LATRUBESSE, E. M. Aplicação de modelos digitais do terreno (MDT) em análises macrogeomorfológicas: o caso da bacia hidrográfica do Araguaia. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 5, n. 1, 2004.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Contexto, 1991.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. Fundação de Apoio a Pesquisa–FUNAPE/UFG, 2005.

CHENG, Y.; HE, C.; RAO, G.; YAN, B.; LIN, A.; HU, J.; YU, Y.; YAO, Q. Geomorphological and structural characterization of the southern Weihe Graben, central China: Implications for fault segmentation. *Tectonophysics*, v. 722, p. 11-24, 2018.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1980.

CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. In: **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. (Org.), Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 472p, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa produção de informação, 2013.

FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. CPRM, 2008.

FUJITA, R. H., GON, P. P., STEVAUX, J. C., SANTOS, M. L. D., & ETCHEBEHERE, M. L. Perfil longitudinal e a aplicação do índice de gradiente (RDE) no rio dos Patos, bacia hidrográfica do rio Ivaí, PR. *Brazilian Journal of Geology*, v. 41, n. 4, p. 597-603, 2011.

GUIMARÃES, F. S., CORDEIRO, C. M., BUENO, G. T., CARVALHO, V. L. M., NERO, M. A. Uma proposta para automatização do índice de dissecação do relevo. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 18, n. 1, 2017.

GUADAGNIN, P. M. A.; TRENTIN, R.; ALVES, F. S. Relação entre as variáveis geogeomorfométricas e a vegetação florestal na bacia hidrográfica do Arroio Caverá- Oeste do RS. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, São Paulo, v. 29, p. 246-261, jun. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/rdg.v29i0.102131>. Acesso em: 10 de jun.2018.

HIRUMA, S. T.; PONÇANO, W. L. Densidade de drenagem e sua relação com fatores geomorfopedológicos na área do Alto Rio Pardo, SP e MG. **Revista do Instituto Geológico**, v. 15, n. 1-2, p. 49-57, 1994.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basin: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, Washington (Estados Unidos da América), v. 56, n. 3, p. 275, mar. 1945. Disponível em: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2). Acesso em: 19 jul. 2018.

KOPPEN W.; GEIGER, R. (eds). **Handbuck der Klimatologie**: Berlin, 1961.

LACERDA FILHO, J. V. D., SANTOS, D. R. V. D., MENEGHINI, P. F. V. B., MARTINS, F. R., SOUZA, J. O., CARNEIRO, J. D. S. M., GOLLMANN, K. **Projeto oeste de Goiás: mapa geológico-geofísico integrado**. 2018.

LANA, C. E.; ALVES, G. M. P. CASTRO, P. T. A. Análise geomorfométrica da bacia do Rio do Tanque (MG), Brasil. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 54, n. 2, p. p. 121-126, apr./jun. 2001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672001000200008>. Acesso em: 26. jun. 2018.

LARUE, J. P. Effects of tectonics and lithology on long profiles of 16 rivers of the southern Central Massif border between the Aude and the Orb (France). **Geomorphology**, v. 93, n. 3-4, p. 343-367, 2008.

LATRUBESE, E.M.; CARVALHO, T.M. **Geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito Federal**; Superintendência de Geologia e Mineração do Estado de Goiás: Goiânia, Brazil, 2006; 128p.

MACHADO, R. A. S. et al. Análise geomorfométrica de bacias hidrográficas como suporte à definição e elaboração de indicadores para a gestão ambiental a partir do uso de geotecnologias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011, p.1441-1448.

MAMEDE et al. Geomorfologia. In: **PROJETO RADAMBRASIL**. Folha SE.22 Goiânia. Rio de Janeiro: 1983. p. 349-411 (Levantamento de Recursos Naturais; 31).

MARTINI, L. C. P. Características geomorfométricas de microbacias hidrográficas rurais de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 13, n. 1, p. 65-72, jan./mar. 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v13i1.343>. Acesso em: 17 mar. 2018.

MELTON, M. A. **An analysis of the relations among elements of climate, surface properties, and geomorphology**. New York (Estados Unidos da América): Columbia University, 1957.

MENEZES, J. P. C et al. Geomorfometria e evolução do uso do solo e da vazão de máxima em uma microbacia urbana. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 15, n. 4, p. 659-672, out./dez. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v15i4.597>. Acesso em: 16 jun. 2018.

MOREIRA, M. L. O., MORETON, L. C., ARAÚJO, V. A. D., LACERDA FILHO, J. V. D., COSTA, H. F. D. **Geologia do estado de Goiás e Distrito Federal**. Escala 1:500.000. Goiânia: CPRM/SIC - FUNMINERAL, 2008.

MOURA, D. M. B. **Avaliação ambiental e fisiográfica da bacia hidrográfica do Ribeirão Santo Antônio, com vistas ao abastecimento hídrico da cidade de Iporá (GO)**. 2017. 107p. Dissertação. Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2017.

MOURA, D. M. B.; NASCIMENTO, D. T.; OLIVEIRA, I. J. Caracterização climática de Iporá, Goiás: insumos para a avaliação da disponibilidade hídrica para abastecimento público. **Élisée - Revista de Geografia da UEG**, v. 12, n. 01, p. e121236, 28 fev. 2023.

MOURA, D. M. B.; OLIVEIRA, R. M., OLIVEIRA, I. J., NASCIMENTO, D. T. F., ALVES, W. S. **O uso de geotecnologias na análise geomorfométrica da alta bacia hidrográfica do Ribeirão Santo Antônio, no município de Iporá-Goiás, Brasil**. *GeoFocus*. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica, n. 21, p. 19-37, 2018.

- MÜLLER, V. C. **A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain Area, Virginia and Tennessee**. New York (Estados Unidos da América): Columbia University; 1953.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 422p
- NUNES, F. G.; RIBEIRO, N. C.; FIORI, A. P. Propriedades geomorfométricas e aspectos físicos da bacia hidrográfica do Rio Atuba: Curitiba-Paraná. In: **Simpósio Nacional de Geomorfologia**, 6., 2006, Goiânia. Artigos... Goiânia: UFG, 2006.
- OLIVEIRA, E. D et al. Uso das terras e aspectos fisiográficos da bacia de drenagem do Arroio do Butka, Guarapuava (PR). **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 7, n. 1, p.215-236, abr. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5216/ag.v7i1.15779>. Acesso em: 25 jul. 2018.
- OLIVEIRA, L. F. C.; ANTONINI, J. C. A.; GRIEBELER, N. P. Estimativas de chuvas intensas para o estado de Goiás. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.22-33, jan./mar. 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162008000100003>. Acesso em: 06 mar. 2018.
- PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A. Características geoquímicas e isotópicas de unidades metavulcânicas e ortognássicas neoproterozóicas do oeste de Goiás. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**. – Núcleo Centro-Oeste, n.15, p.1-22, 1992.
- PIRES, E. G.; BORMA, L. S. Utilização do modelo HAND para o mapeamento de bacias hidrográficas em ambiente de Cerrado. **Anais do 16º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 5568-5575, 2013.
- RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L.A; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazônia. **Remote Sensing of Environment**, v.112, pp. 3469- 3481, 2008.
- RICHARDS K. S. **Rivers form and process in alluvial channels**. London, Taylor e Francis, 1982, 358 p.
- SAMPAIO, A. C. P.; CORDEIRO. A. M. N.; BASTOS, F. H. Susceptibilidade à erosão relacionada ao escoamento superficial na sub-bacia do Alto Mundaú, Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 9, n. 1, p. 125-143, 26 jan. 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233612>. Acesso em: 05 jul.2018.
- SANTIAGO, C. M. C et al. A. Arranjo espacial da bacia hidrográfica do Rio São Nicolau-Piauí a partir da análise geomorfométrica e dos aspectos ambientais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, n. 2, p. 402-421, 21 maio 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233250>. Acesso em: 20 mar.2018.
- SANTOS, A. M et al. Análise geomorfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 195-211, dez. 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.945>. Acesso em: 26 jun.2018.
- SANTOS, M.; LADEIRA, F. S. B.; BATEZELLI, A. Indicadore geomórficos aplicados a investigação de deformação tectônica: uma revisão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 2, 2019.
- SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society of America Bulletin**, Washington (Estados Unidos da América), v. 67, n. 5, p. 597- 646, may 1956. Disponível em: 10.1130/0016-7606(1956)67[597: EODSAS]2.0.CO;2. Acesso em: 18 jun.2018.
- SCHUMM, S. A. A tentative classification of alluvial river channels. **United States Geological Survey**, Washington (Estados Unidos da América), circular n. 477, 1963.
- SOARES, L. S et al. Análise geomorfométrica e priorização de bacias hidrográficas como instrumento de planejamento ambiental integrado. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 31, p. 82-100, 24 jun. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/rdg.v31i0.107715>. Acesso em: 17 mar.2018.
- SOFIA, Giulia. Combining geomorphometry, feature extraction techniques and Earth-surface processes research: The way forward. **Geomorphology**, p. 107055, 2020.

- SOUSA, F. A. Identificação das zonas de recarga e caracterização dos sistemas freáticos de Iporá-GO. **Geoambiente On-Line**, (33), 23. 2019. <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i33.52073>.
- SOUSA, F. A.; RODRIGUES, S. C. Aspectos geomorfométricos como subsídio ao estudo da condutividade hidráulica e suscetibilidade erosiva dos solos. **Mercator**, Fortaleza, v. 11, n. 25, p. 141-151, mai./ago. 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4215/rm.v11i25.699>. Acesso em: 15 mar.2018.
- SPANGHERO, P. E. S. F.; MELIANI, P. F.; MENDES, J. S. Mapeamento hidrográfico de detalhe e análise geomorfológica comparativa das bacias dos rios Tijuípe e Tijuipinho, Litoral Sul da Bahia. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 16, n. 53, p. 101-117, mar. 2015. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/27861>. Acesso em: 14 mar.2018.
- STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, Washington (Estados Unidos da América), v. 63, n. 11, p.1117-1142, nov. 1952. Disponível em: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2). Acesso em: 17 jun. 2018.
- VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F.; ALBUQUERQUE, P. C. G. Topodata: desenvolvimento da primeira versão do banco de dados geogeomorfométricos locais em cobertura nacional. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2009, Natal, RN. Anais..., São José dos Campos, SP: INPE, 2009. v. CD-ROM. p. 1-8.
- VALERIANO, M. M; ROSSETTI, D. F. Regionalization of local geomorphometric derivations for geological mapping in the sedimentary domain of central Amazônia. **Computers & Geosciences**, v. 100, p. 46-56, 2017.
- VILLELA, S. M; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.
- ZANCOPE, M. H. C.; BAYER, M. Proposta metodológica para avaliar o potencial de transferência de sedimentos de bacias hidrográficas a partir de índices geomorfométricos. In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA**, 9, Rio de Janeiro, 2012, Anais. Rio de Janeiro: UFRJ/UGB, 2012. p. 1-3.