

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO AÇUDE DE PAU DOS FERROS/RN

Manoel Mariano Neto ¹
Yáscara Maia Araújo de Brito ²
Higor Costa de Brito ³

RESUMO

A caracterização das bacias hidrográficas é de grande relevância para a adequada gestão dos recursos hídricos, bem como para o planejamento, tomadas de decisões e elaboração de projetos de engenharia. Assim, este trabalho teve por objetivo caracterizar morfometricamente a microbacia hidrográfica de Pau dos Ferros. Para tanto, foi realizada a delimitação da microbacia, a extração dos cursos hídricos, o cálculo da declividade e da altitude, a partir da plataforma Qgis versão 3.10.13 e de um modelo digital de elevação derivado sensor PALSAR a bordo do Satélite ALOS. Constatou-se que a microbacia possui uma área correspondente a 2.045,69 km² e um perímetro de 411,44 km. Apresenta escoamento fluvial do tipo endorréico e padrão de drenagem dentríco. Quanto ao relevo, é majoritariamente plano e suavemente ondulado, e a altitude varia entre 190 metros e 844 metros. A rede de drenagem é composta por 5.918 km de canais e o canal principal possui 61 km de extensão. O índice de sinuosidade é de 1,64, permitindo caracterizar o rio principal como sinuoso. O coeficiente de compacidade corresponde a 2,55, indicando que esta bacia apresenta baixa susceptibilidade a inundações, sobretudo, devido à forma alongada que aumenta o tempo de escoamento da água ao longo dos canais.

Palavras-chave: Hidrografia, Bacia hidrográfica, Geomorfologia.

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica pode ser entendida como a área de captação de fluxos naturais de água, formados a partir da precipitação, que fazem os pontos de escoamento convergirem para um único ponto de saída, denominado exutório. Sendo assim, trata-se de um sistema físico sujeito às entradas e saídas de água, isto é, precipitação, evaporação, transpiração e outros fenômenos meteorológicos. E, dentre os principais elementos que a caracterizam, cita-se os divisores de água, determinados a partir do relevo, e o rio principal (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

¹ Doutorando em Engenharia Civil e Ambiental, pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, marianop.paiva2@gmail.com;

² Doutora em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, yascaramaiaa@gmail.com;

³ Doutorando em Engenharia Civil e Ambiental, pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, h_igor@hotmail.com.

Pela perspectiva da gestão dos recursos naturais, a Lei nº 9.433/1997 define a bacia hidrográfica como a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). Neste contexto, diversos estudiosos defendem que esta seja a unidade territorial mais adequada para a gestão dos elementos naturais e sociais, sobretudo, devido aos impactos das ações antrópicas sobre o uso e ocupação do solo (BERNARDI *et al.*, 2012; GRANGEIRO; RIBEIRO; MIRANDA, 2019).

Diante destes aspectos, é pertinente enfatizar que as características geomorfológicas, como a forma, o relevo, a área, a disposição da rede de drenagem, e as condições de cobertura do solo, influenciam no comportamento da bacia hidrográfica. Esses fatores, por sua vez, permitem uma melhor compreensão acerca da dinâmica ambiental e possuem grande utilidade para a elaboração de obras e projetos de engenharia, bem como para a realização de planejamentos e tomadas de decisões (SANTOS *et al.*, 2018).

Ainda em consonância com Santos *et al.* (2018), a caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica considera os parâmetros fisiográficos, resultando em uma rápida avaliação que permite determinar o potencial de degradação, a ocorrência de enchentes, processos erosivos e outros fenômenos adversos. Logo, a ausência de informações acerca desta unidade de planejamento pode comprometer a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos.

Assim, este trabalho teve por objetivo caracterizar morfometricamente a microbacia hidrográfica de Pau dos Ferros, situada no estado do Rio Grande do Norte, considerando parâmetros geométricos, o relevo e a drenagem, a partir de modelos digitais de elevação e softwares livres.

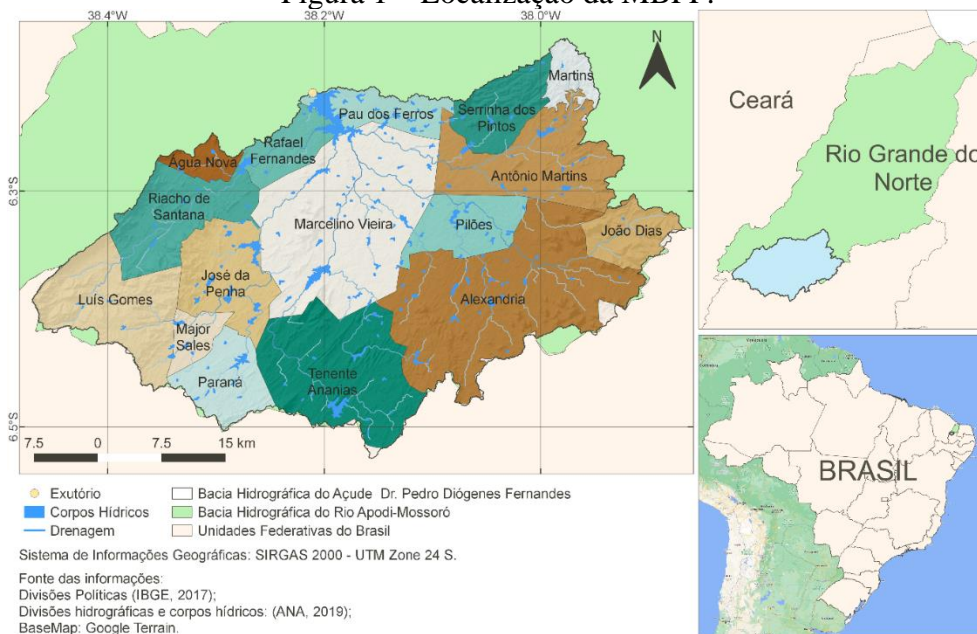
METODOLOGIA

Área de estudo

A microbacia hidrográfica do açude de Pau dos Ferros (MBPF) está situada na mesorregião Oeste, especificamente na porção que compreende o Alto Oeste Potiguar, entre as coordenadas 6°5'17" e 6°32'46" de latitudes sul e 37°47'10" e 38°29'2" de longitudes oeste. Esta integra o alto curso da bacia hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró e abrange 15 municípios do Rio Grande do Norte: Luís Gomes, Major Sales, Paraná,

Riacho de Santana, Água Nova, Rafael Fernandes, Marcelino Vieira, Tenente Ananias, Pau dos Ferros, Pilões, Alexandria, João Dias, Antônio Martins, Serrinha dos Pintos e Martins (Figura 1).

Figura 1 – Localização da MBPF.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Conforme o IBGE (2021), os municípios que integram a MBPF somam uma população estimada em, aproximadamente, 122 mil habitantes. As principais atividades econômicas desenvolvidas são a agricultura familiar, destinada à produção de feijão e milho; a pecuária, representada pelos rebanhos de bovinos, suínos, caprinos e ovinos; o comércio; e a prestação de serviços, vinculada ao setor público.

A MBPF possui uma área territorial de aproximadamente 2.045,69 km², o curso de drenagem principal é o rio Apodi-Mossoró, com extensão de 61 km da voz, no município de Luís Gomes, até o exutório, situado no vertedouro do Açude Dr. Pedro Diógenes Fernandes, no município de Pau dos Ferros.

Esta porção territorial sofre influência da Massa Equatorial Atlântica (mEa) que se caracteriza como uma massa de ar quente e úmida, originária no Oceano Atlântico Norte que, à medida que adentra no continente, perde a umidade (DINIZ; PEREIRA, 2015). Com isso, apresenta clima semiárido quente (BSh), considerando a classificação de Köppen e Geiger (1928), com 7 a 8 meses secos durante o ano.

A precipitação média anual é de 887,48 mm (EMPARN, 2021), já a temperatura, varia entre 21°C e 36°C, com média anual correspondente a 28,1°C (CPRM, 2014). Ainda em consonância com a CPRM (2014), a vegetação predominante é a Caatinga híperxerofítica, caracterizada pela presença de cactáceas e espécies arbustivas, distribuídas de maneira esparsada, com trechos de florestas caducifólias.

Delimitação da microbacia

A delimitação da MBPF foi realizada de maneira automatizada, através do *software Quantum – GIS (QGIS) versão 3.10.13*. Inicialmente, empregou-se um Modelo Digital de Elevação (MDE), derivado de imagens produzidas pelo sensor PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) do Satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite-1*), referentes ao ano de 2011 e disponibilizadas pela plataforma *Alaska Satellite Facility*.

A partir do MDE, empregou-se o algoritmo “*r.whatershed*”, disponível na versão do QGIS com GRASS (*Geographic Resources Analysis Support System*), específico para a delimitação de bacias hidrográficas. Essa ferramenta permite identificar o acúmulo de fluxo, a direção de drenagem, a localização de riachos e bacias hidrográficas.

Posteriormente, foi utilizado o algoritmo “*r.water.outlet*”, que viabilizou a delimitação da microbacia, a partir da direção de drenagem, gerada anteriormente, e da coordenada do ponto de exutório, obtido previamente no *Google Earth Pro*.

Na sequência, foram gerados os canais de drenagem, mediante emprego do algoritmo “*channel network and drainage basins*”, do *software SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses)*, também vinculado ao QGIS. Esta ferramenta possibilitou a geração dos canais de drenagem e a categorização das respectivas ordens de drenagem.

Caracterização morfométrica

Para caracterização morfométrica, foram considerados três classes de atributos: características geométricas, características de relevo e as características da rede de drenagem. A fim de definir a configuração geométrica, foram elencados os seguintes

parâmetros: área, perímetro, padrão de drenagem e o coeficiente de compacidade, conforme recomenda Silva e Girão (2020).

A área da bacia corresponde à sua área de drenagem, que, por sua vez, faz referência à área plana entre os divisores topográficos, projetados verticalmente (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013). O perímetro corresponde ao comprimento da linha imaginária que determina os divisores de água da bacia hidrográfica (CHRISTOFOLETTI, 2017). O padrão de drenagem, em concordância com Summerfield (2014), diz respeito à organização espacial dos cursos de drenagem, sendo determinado a partir de critérios geométricos.

Também foram calculados o coeficiente de compacidade (K_c), sendo este definido pela relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo com uma área equivalente (Equação 01).

$$k_c = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (01)$$

Onde, “A” corresponde à área da microbacia hidrográfica e “P” ao perímetro. Por definição, quando $K_c = 1$, entende-se que a bacia assume a forma de um círculo perfeito. Todavia, tende a apresentar formas mais irregulares, de maneira que, quanto maior o valor do coeficiente, menor a tendência à ocorrência de cheias (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

As características de relevo são a hipsometria e a declividade da microbacia, ambos obtidos mediante emprego do MDE anteriormente descrito. A hipsometria representa altitudes de uma determinada área em relação ao nível do mar, onde considera-se correspondente a zero. Já a declividade, é mensurada a partir da diferença altura entre dois pontos e a distância entre eles. No caso da declividade, foi obtida a partir do MDE da MBPF, que permitiu gerar um novo *raster*. Este, por sua vez, foi reclassificado através do algoritmo “*r.reclass*”, de acordo com as classes, estabelecidas pela EMBRAPA (2018).

Para caracterização da rede de drenagem foram considerados a hierarquia fluvial, a densidade de drenagem e o índice de sinuosidade do canal principal. No que cerne à hierarquia dos canais que drenam a bacia hidrográfica, foi obtida pela ferramenta “*channel network and drainage basins*” que adota os critérios de ordenamento de Strahler. De acordo com tais critérios, um curso d’água a partir da nascente é de ordem 1, quando dois cursos de ordem 1 se encontram formam um novo curso de ordem 2 e

assim por diante. Contudo, um curso de ordem superior não é altera a ordem ao encontrar um curso de ordem inferior (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

Já a densidade de drenagem (Dd), é calculada a partir da soma do comprimento de todos os canais da bacia (L), dividida pela área (A) da bacia (Equação 02). De acordo com Silva e Girão (2020) esse parâmetro analisa o quanto a drenagem é eficiente em relação à capacidade de escoamento.

$$Dd = \frac{\sum L}{A} \quad (02)$$

Para determinar o índice de sinuosidade (S) são considerados o comprimento do canal principal (L_c) e a distância (D_c) entre a nascente e o exutório (Equação 03). Christofolletti (2017) afirma que se trata de um elemento que possibilita mensurar a curvatura do rio principal de modo que valores acima de 1,5 são considerados sinuosos e abaixo dessa referência, caracterizam-se como rios mais retilíneos.

$$S = \frac{L_c}{D_c} \quad (03)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A MBPF possui uma área de aproximadamente 2.045,69 km² e um perímetro correspondente a 411,44 km. Esta, corresponde à parte do sistema fluvial do rio Apodi-Mossoró, especificamente à fração que compreende a origem, na nascente, no município de Luís Gomes, até o vertedouro do Açude Dr. Pedro Diógenes, no município de Pau dos Ferros, onde foi definido o ponto exutório. Todavia, considerando a escala estudada, os parâmetros expostos são de grande valia para o compreender o coeficiente de compacidade e a densidade de drenagem (Tabela 1).

Quanto ao escoamento fluvial, a MBPF é do tipo endorréica (CHRISTOFOLETTI, 2017). Por se tratar de uma microbacia inserida em uma bacia hidrográfica (BH) maior, o escoamento, para este caso, é adensado em um reservatório superficial, a partir do qual segue o curso no canal principal, até a foz do rio Apodi-Mossoró, entre os municípios de Grossos e Areia Branca, ao encontro com o Oceano Atlântico.

Apresenta padrão de drenagem dentríco, assemelhando-se com a estrutura de uma “árvore”. Summerfield (2014) afirma que se trata de um padrão característico de áreas onde o controle estrutural ocorre por rochas cristalinas de resistência uniforme. Já o

coeficiente de compacidade corresponde a 2,55, valor substancialmente superior a 1. De acordo com Collischonn e Dornelles (2013), indica que esta bacia apresenta baixa susceptibilidade a inundações, sobretudo, devido à forma alongada, que aumenta o tempo de escoamento da água ao longo dos canais.

Tabela 1 – Morfometria da MBPF.

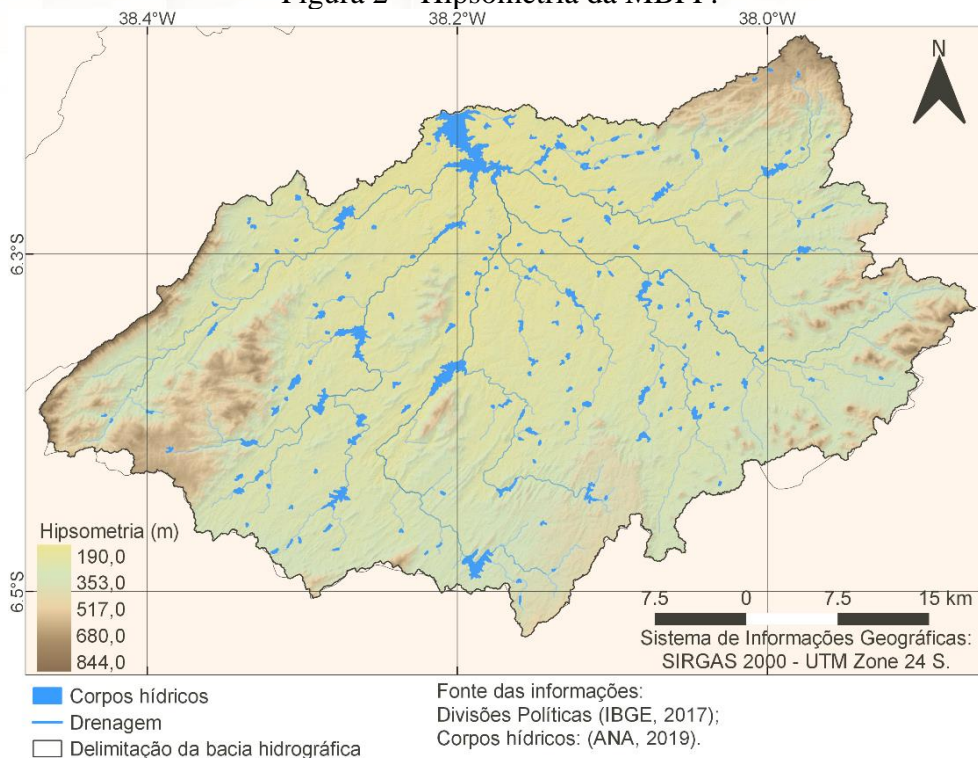
Características	Índices morfométricos	Resultados
Geométricas	Área da bacia	2045,69 km ²
	Perímetro da bacia	411,44 km
	Escoamento fluvial	Endorréico
	Padrão de drenagem	Dentríco
	Coeficiente de compacidade	2,55
Relevo	Declividade mínima	0,00%
	Declividade máxima	311,85%
	Altitude mínima	190 m
	Altitude máxima	844 m
Rede de drenagem	Ordem dos canais	8ª Ordem
	Densidade de drenagem	2,89 km/km ²
	Índice de sinuosidade do canal principal	1,64
	Comprimento do canal principal	61 km
	Comprimento de todos os canais	5918,29 km

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Acerca da ocorrência de enchentes na bacia hidrográfica, Silva e Girão (2020) revelam que os parâmetros morfométricos, mesmo sendo de grande relevância para a construção de um entendimento acerca da susceptibilidade local, não são suficientes. Neste sentido, os autores recomendam a inserção de outros fatores na análise: as condições de uso e ocupação do solo, impermeabilização e a ocorrência de eventos de precipitação extrema.

Ao analisar as condições de relevo, verifica-se que MBPF apresenta altitudes que variam entre 190 m e 844 m (Figura 2). Entretanto, é notório que a maior fração da área possui baixas altitudes, próximas ao limite inferior, fato que indica a ocorrência predominante de planícies. Assim, as áreas onde são registradas as maiores altitudes, como é o caso dos municípios de Luís Gomes, Martins e Serrinha dos Pintos, derivam do Planalto da Borborema, marcado pela presença de terrenos rochosos (DINIZ *et al.*, 2017).

Figura 2 – Hipsometria da MBPF.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

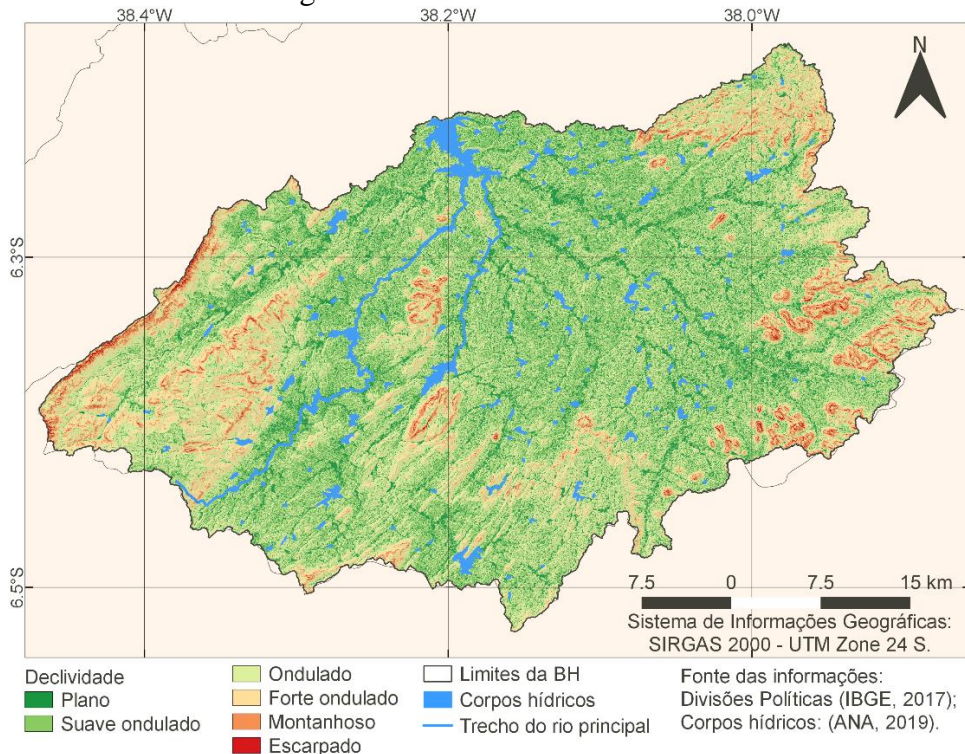
Em relação à declividade (Figura 3), os valores variaram entre 0% e 311%, apresentando-se como plana ou suavemente ondulada na maior porção da bacia, especialmente nas áreas situadas na região central, enquanto que as áreas com declividade mais acentuada coincidem com as maiores altitudes, localizadas nas faixas leste e oeste, próximas as bordas da MBPF.

A declividade é uma característica que afeta diretamente a velocidade de escoamento da água e, por consequência, o tempo necessário para que escoe ao longo da bacia (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013). Observa-se também que percentuais elevados de declividade propiciam maiores incidências de processos erosivos e maior movimentação de sedimentos, quando em comparação com superfícies mais planas (SILVA; GIRÃO, 2020). Sendo assim, trata-se de um fator de grande importância, principalmente em porções habitadas da bacia, devido a dinâmica superficial das encostas.

A drenagem da MBPF (Figura 4) é constituída pelo trecho do rio Apodi-Mossoró, com 61 km de comprimento, e seus afluentes, que juntos totalizam 5918,29 km de extensão. Nota-se que está é uma área que sofreu intensa açudagem, sendo o principal reservatório o Açude Dr. Pedro Diógenes, com capacidade de armazenamento de 54,8

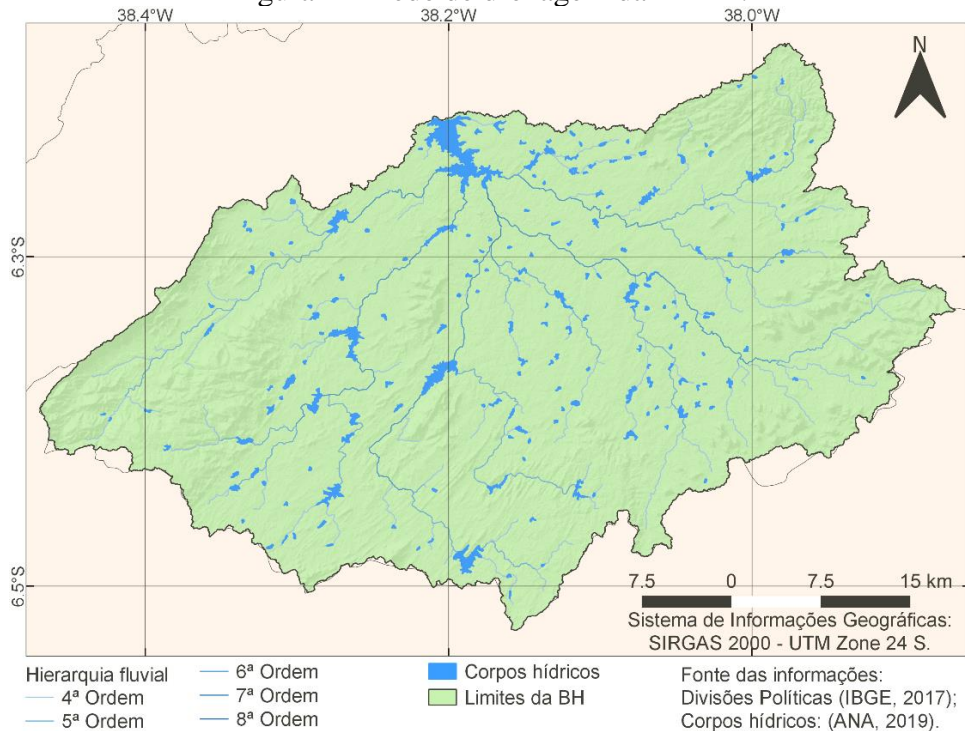
milhões de m³, seguido pelo Açude de Marcelino Vieira, com capacidade de 11,2 milhões de m³ (RIO GRANDE DO NORTE, 2021).

Figura 3 – Declividade da MBPF.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Figura 4 – Rede de drenagem da MBPF.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A bacia apresenta uma hierarquia fluvial de 8ª ordem, fato que pode estar relacionado com o grau de dissecação do relevo. Todavia, Collischonn e Dornelles (2013) afirmam que a hierarquização da BH é um parâmetro de caráter estritamente qualitativo, que varia em função da escala do mapa.

A densidade de drenagem, corresponde a 2,89 km/km². Silva e Girão (2020) revelam que esse parâmetro permite inferir o grau de desenvolvimento do sistema fluvial, a partir da relação entre a área de drenagem e o comprimento de todos os canais, de modo que os valores entre 0,5 km/km², caracterizam uma drenagem pobre, e 3,5 km/km², para áreas bem drenadas. Logo, a drenagem da MBPF é caracterizada como mediana. Já o índice de sinuosidade do canal principal corresponde a 1,64, fato que permite classificá-lo como um canal sinuoso.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho objetivou caracterizar morfometricamente a MBPF. Logo, fez uso do MDE gerado pelo sensor ALOS do satélite PALSAR e do QGis versão 3.10.13.

Ao analisar as características geométricas da microbacia, verificou-se que esta possui uma área correspondente a 2.045,69 km² e um perímetro de 411,44 km. Apresenta escoamento fluvial do tipo endorréico e padrão de drenagem dentríco. Quanto ao relevo, é majoritariamente plano e suavemente ondulado. A altitude varia entre 190 metros e 844 metros. Observou-se que os maiores valores de declividade e altitude coincidem.

No que concerne à rede drenagem, possui hierarquia fluvial de ordem 8 e uma densidade de 2,89 km/km². A extensão total dos canais é de 5.918 km e o canal principal possui 61 km de extensão. O índice de sinuosidade é de 1,64, permitindo caracterizar o rio principal como sinuoso. O coeficiente de compacidade corresponde a 2,55, indicando que esta bacia apresenta baixa susceptibilidade a inundações, sobretudo, devido à forma alongada que aumenta o tempo de escoamento da água ao longo dos canais.

REFERÊNCIAS

BERNARDI, E. C. S.; PANZIERA, A. G.; BURIOL, G. A.; SWAROWSKY, A. Bacia hidrográfica como unidade de gestão ambiental. **Disciplinarum Scientia | Naturais e Tecnológicas**, v. 13, n. 2, p. 159-168, 2012.

BRASIL. **Lei 9.433 de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/19433.htm. Acesso em: 07 de outubro de 2021.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blüncher, 2017.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia**: para engenharia e ciências ambientais. 2 Ed. Porto Alegre: ABRH, 2013.

DINIZ, M. T. M.; OLIVEIRA, G. P.; MAIA, R. P.; FERREIRA, B. Mapeamento geomorfológico do estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 4, 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Brasília/DF: 2018.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO RIO GRANDE DO NORTE (EMPARN). **Meteorologia**. 2021. Disponível em: <http://meteorologia.emparn.rn.gov.br:8181/>. Acesso em: 30 ago. 2021.

GRANGEIRO, E. L. A.; RIBEIRO, M. M. R.; MIRANDA, L. I. B. Integração de políticas públicas no Brasil: o caso dos setores de recursos hídricos, urbano e saneamento. **Cadernos MetrÓpole**, v. 22, n. 48, p. 417-434, maio 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **IBGE Cidades**. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 30 ago. 2021.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map.

RIO GRANDE DO NORTE. **Situação Volumétrica de Reservatórios do RN**. 2021. Disponível em: <http://sistemas.searh.rn.gov.br/MonitoramentoVolumetrico/>. Acesso em: 30 ago. 2021.

SANTOS, G. O.; SILVA, A. A.; BRAZ, A. R. C.; CARNEIRO, F. M. Caracterização morfométrica das bacias hidrográficas inseridas no município de Rio Verde, Goiás, como ferramenta ao planejamento urbano e agrícola. **Geografia Ensino & Pesquisa**, p. 17, 14 ago. 2018.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). **Geologia e recursos minerais da Folha Pau dos Ferros**. Recife, CPRM, 2014.

SILVA, C. S; GIRÃO, O. Análise morfométrica e caracterização geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Jaboatão (BHRJ) – Pernambuco. **Geosul**, v. 35, n. 75, p. 441-460, 2020.

SUMMERFIELD, M. A. **Global Geomorphology**: an introduction to the study of landforms. New York: Routledge, 2014.