

Morphometric characterization of the Jaboatão river basin, in Pernambuco, using Digital Elevation Models from a LiDAR sensor

Amaury G. Pessoa Neto^{*}, Anna E. P. Soares^{**}, Simone R. da Silva^{***}, Suzana M. G. L. Montenegro^{****}

^{*}Mestrando em Engenharia Civil; Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco – Poli/UPE, Rua Benfica, 455, Madalena, Recife – PE - Brasil. Email: agpn@poli.br (Corresponding author)

^{**}Doutoranda em Engenharia Civil; Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Email: anna.elis@ufpe.br

^{***}Dra.; Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco - Poli/UPE. Email: simonerosa@poli.br

^{****}Ph.D.; Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Email: suzanam.ufpe@gmail.br

Received 10 October 2021; accepted 18 November 2021

Abstract

The morphometric characterization of a hydrographic basin is a useful knowledge for the planning and management of water resources, since there is a close relationship between the physical characteristics of a basin and its hydrological regime. Obtaining these characteristics can be performed effectively using Digital Elevation Models (DEM's) in a Geographic Information System (GIS) environment. Thus, this study sought to analyze, using geoprocessing technology, the morphometric characteristics of the Jaboatão river basin, in Pernambuco. For this, DEM's from a LiDAR sensor were used, which were manipulated in UTM coordinates (zone 25 S) in the Geocentric Reference System for the Americas (SIRGAS 2000) through the free software QGIS (version 3.10.9), where they were submitted to techniques of pre-processing, such as, reprojection and elimination of negative and spurious pixels, so that it was possible to carry out the delimitation of the basin and the extraction of the hydrographic network. From these techniques, it was possible to obtain the geometric, hydrographic and relief characteristics of the studied region, which allowed us to verify that the Jaboatão river basin has a low propensity to floods, in medium precipitation conditions, elongated shape, comprising a regular drainage system, its main river is very winding and has low altitudes, ranging from 0.00 to 438.00 m, characterized as an area consisting of plains and hills. Through the results obtained, the use of GIS stands out as a viable and agile alternative to assist in the management of the basin and promote adequate environmental planning.

Keywords: geometric, hydrographic and physical characteristics, planning and management of water resources, Geographic Information System.

Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, em Pernambuco, utilizando Modelos Digitais de Elevação provenientes de sensor LiDAR

Resumo

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica consiste numa ferramenta útil ao planejamento e gestão dos recursos hídricos, uma vez que há uma estreita relação entre as características físicas de uma bacia e seu regime hidrológico. A obtenção dessas características pode ser realizada de maneira eficaz utilizando Modelos Digitais de Elevação (MDE's) em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG). Assim, este estudo buscou analisar, a partir da tecnologia do geoprocessamento, as características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, em Pernambuco. Para isso, foram utilizados MDE's provenientes de sensor LiDAR que foram manipulados em coordenadas UTM (zona 25 S) no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000) através do software livre QGIS (versão 3.10.9), onde foram submetidos à técnicas de pré-processamento, tais como, reprojeção e eliminação de pixels negativos e espúrios, para que fosse possível realizar a delimitação da bacia e a extração da rede hidrográfica. A partir dessas técnicas, foi possível obter as características geométricas, hidrográficas e de relevo da região estudada, o que permitiu verificar que a bacia do rio Jaboatão possui baixa propensão a enchentes, em condições médias de precipitação, formato alongado, compreende um sistema de drenagem regular, seu rio principal é bastante sinuoso e apresenta baixas altitudes, variando de 0,00 m a 438,00 m, se caracterizando como uma área constituída por planícies e colinas. Por meio dos resultados obtidos, destaca-se a utilização do SIG como uma alternativa viável e ágil para auxiliar na gestão da bacia e promover um planejamento ambiental adequado.

Palavras-Chave: características geométricas, hidrográficas e de relevo, planejamento e gestão dos recursos hídricos, Sistema de Informações Geográficas.

1. Introdução

A bacia hidrográfica pode ser definida como uma região de drenagem de um rio e seus afluentes, onde as águas precipitadas escoam convergindo para um único ponto de saída, o exutório, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático (Mendes, 2018; Alves et al., 2019; Duarte et al., 2019; Dias et al., 2020; Lima et al., 2020; Souza et al., 2021). A delimitação de uma bacia hidrográfica é determinada por um divisor topográfico, que consiste em uma linha imaginária que passa pelos pontos de maiores altitudes da região, ao redor da rede de drenagem, interceptando-a apenas no exutório (Mendes, 2018; Silva et al., 2020).

No Brasil, a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRS), definindo as bacias hidrográficas como unidades territoriais de planejamento político, hídrico e social (Brasil, 1997). Para Soares e Galvêncio (2020), a gestão de bacias hidrográficas abrange uma série de tomada de decisões, como as formas de uso e estoque de água, de modo que o acesso a esse bem seja garantido na atualidade e no porvir. Por ser uma unidade de planejamento tão complexa e que compreende diversos elementos naturais e antrópicos que interagem constantemente, torna-se bastante relevante o conhecimento de todas as características de uma bacia hidrográfica (Parente et al., 2020).

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica estabelece um conjunto de procedimentos que efetuam a análise quali-quantitativa de seus aspectos geométricos e hipsométricos, determinando condicionantes de grande importância para avaliação de seu comportamento hidrológico (Guerra et al., 2015; Alves et al., 2020; Parente et al., 2020; Soares e Galvêncio, 2020). Desta forma, de acordo com Parente (2020) o conhecimento das características morfométricas possibilitam que intervenções sejam realizadas na bacia com maior eficiência, favorecendo o seu planejamento, de modo a prevenir impactos ambientais e desastres de origem natural.

Nesse contexto, dentre as técnicas para realização da delimitação e caracterização morfométrica de bacias hidrográficas, se destaca a utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG). Para Crispim et al. (2021), as ferramentas SIG são amplamente utilizadas como subsídio para obtenção dessas características, sendo preferidas devido a agilidade no processamento e a confiabilidade dos resultados, somando-se à grande capacidade de manipulação e armazenamento de informações com alta resolução espacial.

Dentre as diversas aplicações do SIG, o processamento de modelos digitais de elevação (MDE's), oriundos de dados *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) ou de sensor LiDAR, possibilita a realização da representação do caminho preferencial de escoamento da água superficial numa bacia hidrográfica, bem como a extração de características e índices físicos como a forma, as dimensões, o sistema de drenagem e o relevo, que quando relacionados através dos modelos matemáticos propostos por Horton (1932, 1945), Kirpich (1940), Müller (1953), Schumm (1956, 1963), Melton (1957), Strahler (1957), Christofolletti (1969), Villela e Mattos (1975) é possível realizar a sua caracterização morfométrica (Furlam et al., 2018; Lopes et al., 2018; Alves et al., 2020; Silva et al., 2020; Soares e Galvêncio, 2020; Souza et al., 2021).

Dentro desse contexto, Lira et al. (2020) analisaram as características morfométricas, hidrológicas e pluviométricas da bacia hidrográfica do rio Piriá, situada no estado do Pará, com o objetivo de verificar a susceptibilidade dessa bacia a enchentes, além contribuir no auxílio à gestão e planejamento dos recursos hídricos da região.

Silva et al. (2020) realizaram a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do igarapé Capitão Poço, no Pará, comparando os resultados gerados por Modelos Digitais de Elevação com diferentes resoluções (SRTM 92,57 m, SRTM 30 m e ALOS-PALSAR 12,5 m). Nesse estudo, os autores observaram inconsistência altimétrica dos dados ALOS-PALSAR, com relação aos demais modelos, mas o mesmo se mostrou eficiente quanto à sua resolução e detalhamento para análise de declividades.

O trabalho de Santos e Mariano (2017) teve por objetivo analisar, com auxílio do SIG, a delimitação automática das informações fisiográficas da bacia hidrográfica do rio Tatuoca, localizada no município de Ipojuca-PE, utilizando dados SRTM. Os resultados desse estudo confirmam valores de área compatíveis aos obtidos com base em cartas topográficas.

Soares e Galvêncio (2020) apresentaram as características fisiográficas da bacia hidrográfica do rio Beberibe, em Pernambuco, e a influência que as mesmas exercem sobre seus padrões hídricos. Para isso, foram utilizados dados de alta resolução espacial provenientes do programa Pernambuco 3D, obtidos por meio de sensor LiDAR.

Na perspectiva da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, em Pernambuco, onde há grande presença de planícies flúvio-marinhas e de terraços fluviais que apresentam cotas altimétricas muito baixas (Badarau e Listo, 2020), além de abranger zonas urbanas

densamente povoadas, ter o conhecimento de suas características morfométricas é indispensável à gestão adequada dos recursos hídricos, prevenção de impactos ambientais e melhoria de resposta a eventos extremos, proporcionando um ambiente em que as pessoas consigam conviver de forma harmoniosa com a água.

Devido às características físico-naturais e alterações decorrentes de intervenções antrópicas, o presente estudo tem como objetivo analisar as características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, utilizando MDE's provenientes de sensor LiDAR, a fim de contribuir na gestão e planejamento dos recursos hídricos dessa região.

2. Material e métodos

Localização e Caracterização da Região do estudo

A bacia hidrográfica do rio Jaboatão está localizada na região litorânea do estado de Pernambuco, entre as coordenadas geográficas 08° 03' 0" e 08° 14' 0" de latitude sul e 34° 59' 0" e 35° 15' 30" de longitude oeste (Silva e Girão, 2020). De acordo com a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), a bacia do rio

Jaboatão, juntamente com a bacia do rio Pirapama, compõem o denominado Grupo 2 das bacias de pequenos rios litorâneos do estado de Pernambuco (GL-2) e compreende os seguintes municípios: Vitória de Santo Antão, Moreno, Jaboatão dos Guararapes, São Lourenço da Mata, Cabo de Santo Agostinho e Recife (APAC, 2021) (Figura 1). Dentre os municípios que integram a bacia do rio Jaboatão, cinco estão situados na Região Metropolitana do Recife (RMR) e apenas um, na Zona da Mata Sul do estado, ou seja, o município de Vitória de Santo Antão, onde está localizada a nascente do rio Jaboatão.

Acerca da geomorfologia, a bacia do rio Jaboatão apresenta como unidades morfoestruturais: o Piemonte Cristalino da Borborema, que abrange 78% da área territorial e está situado entre a cabeceira e o trecho do médio curso da bacia; o Planalto sedimentar litorâneo, correspondente a 2% da área total da bacia e localizado em sua porção nordeste; e a Planície flúvio-marinha, que representa 19% da bacia e compreende a parte sudeste, onde está concentrada maior parte da população da região (Silva, 2018).

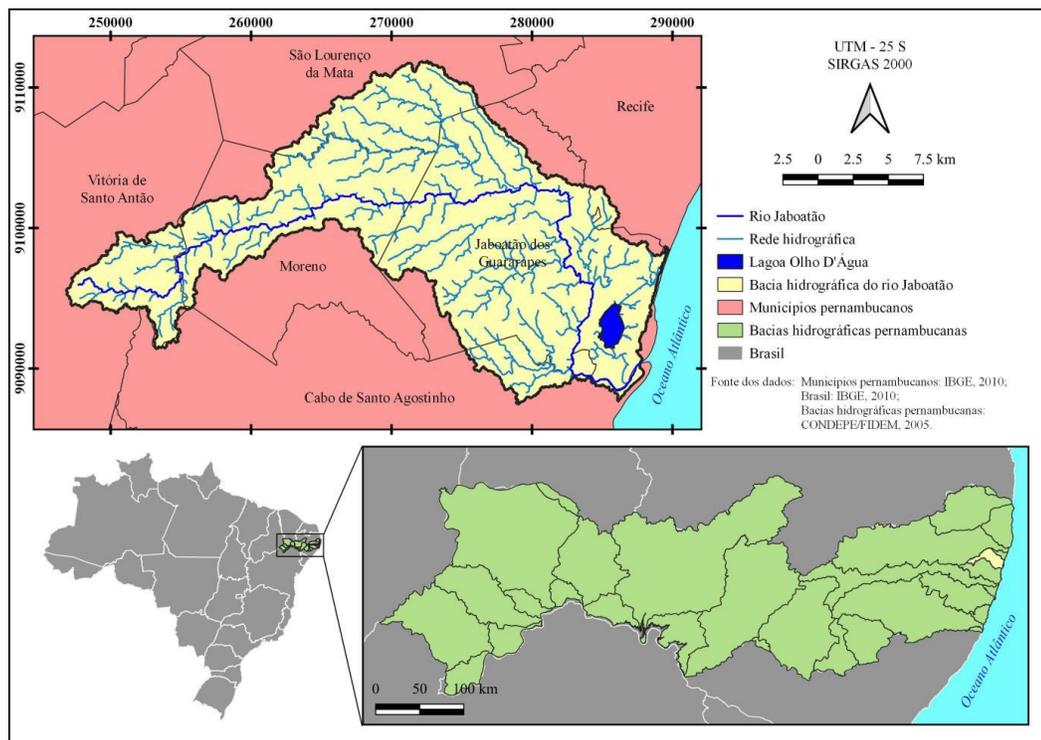


Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Jaboatão.

Segundo Silva e Girão (2020), a cobertura do solo da bacia do rio Jaboatão é representada, principalmente, pela agropecuária, se destacando o cultivo da cana-de-açúcar e pastagem. Ainda de acordo com os autores, o uso predominante das áreas do baixo

curso é o urbano, abrangendo centros comerciais, industriais e residenciais.

A escolha da bacia hidrográfica do rio Jaboatão como região de estudo se deu por apresentar distintas características físico-naturais e formas de uso, tornando

o conhecimento das suas características físicas de grande importância para avaliação de seu comportamento hidrológico.

Obtenção e tratamento do MDE

Para a delimitação e obtenção das características morfométricas da bacia do rio Jaboatão foi utilizado um MDE, em formato *raster*, oriundo do Programa PE3D com resolução espacial de 30 m, que foi cedido pela APAC. Nesse programa foi realizado um mapeamento, pela Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos (SRHE) do estado de Pernambuco, por meio de uma varredura a laser do terreno (LiDAR) que permitiu obter com rapidez e qualidade as informações altimétricas de todo estado pernambucano em resoluções espaciais de 1 m e 0,5 m nas escalas 1:5000 e 1:1000, respectivamente (Cirilo et al. 2014).

Após a aquisição do MDE, o mesmo foi processado no *software* livre QGIS (versão 3.10.9), onde, inicialmente, seu sistema de coordenadas foi modificado para UTM e seu sistema geodésico para SIRGAS 2000, fuso 25S. Em seguida, foram eliminados os *pixels* sem valores de elevação (espúrios), por meio da função *r.fill.dir*. Essa operação torna-se necessária, pois os

pixels espúrios são considerados empecilhos ao escoamento durante a aplicação de modelos hidrológicos, sedimentológicos e de poluentes de origem difusa (Alves Sobrinho et al., 2010).

Delimitação automática da bacia

A partir do tratamento do MDE foi possível gerar arquivos com as informações de direções de fluxo e de declividade, através da função *r.watershed*. A partir dessas informações e utilizando a função *r.water.outlet*, foi possível realizar a delimitação da bacia, determinando o ponto de exutório. Como a bacia foi gerada em um arquivo *raster*, foi necessário a sua conversão para um arquivo no formato vetorial do tipo polígono, para que fosse possível a extração dos valores geométricos, como área e perímetro.

Caracterização morfométrica

Após obtenção, no SIG, das camadas relativas à área de drenagem e rede hidrográfica, a caracterização morfométrica da bacia do rio Jaboatão foi realizada por meio de modelos matemáticos que relacionam as suas características geométricas, a rede de drenagem e o relevo. Esses modelos estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros e modelos matemáticos utilizados para determinação da caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Jaboatão.

(continua)

Parâmetro Morfométrico	Modelo Matemático	Descrição	Unidade	Fonte
Características Geométricas				
Área da bacia (A)	Determinado pelo SIG	Superfície total da bacia.	km ²	Schumm (1956)
Perímetro da bacia (P)	Determinado pelo SIG	Comprimento do divisor topográfico.	km	Schumm (1956)
Comprimento axial da bacia (L _a)	Determinado pelo SIG	Comprimento entre o exutório e o ponto mais longínquo da bacia.	km	Schumm (1956)
Largura média da bacia (L _m)	$L_m = \frac{A}{L_a}$	Razão entre a área e o comprimento axial da bacia.	km	Horton (1945)
Coefficiente de compacidade (K _c)	$K_c = 0,28 \times \frac{p}{\sqrt{A}}$	Relaciona a forma da bacia com um círculo. Constitui a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual ao da bacia.	Adimensional	Horton (1945)
Fator de forma (K _f)	$K_f = \frac{A}{(L_a)^2}$	Razão entre a área e o quadrado do comprimento axial da bacia.	Adimensional	Horton (1945)
Índice de circularidade (I _c)	$K_c = 12,57 \times \frac{A}{P^2}$	Relação entre a área e o perímetro da bacia. Tende a um, à medida que se aproxima da forma circular.	Adimensional	Müller (1953)
Razão de alongação (Re)	$Re = 1,128 \times \frac{\sqrt{A}}{L_a}$	Relação entre índices pré determinados, a área e o comprimento axial da bacia.	Adimensional	Schumm (1956)

Tabela 1 - Parâmetros e modelos matemáticos utilizados para determinação da caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Jaboaão.

(conclusão)

Parâmetro Morfométrico	Modelo Matemático	Descrição	Unidade	Fonte
Características Hidrográficas				
Comprimento do rio principal (L)	Determinado pelo SIG	Comprimento entre a nascente e o exutório do rio principal.	km	Horton (1932)
Comprimento do talvegue do rio principal (Ltal)	Determinado pelo SIG	Distância, em linha reta, entre a nascente e o exutório do rio principal.	km	Horton (1932)
Comprimento total da rede hidrográfica (Lt)	Determinado pelo SIG	Somatório de todos os cursos d'água da bacia.	km	Horton (1932)
Densidade de drenagem (Dd)	$Dd = \frac{L_t}{A}$	Correlaciona o comprimento total dos canais ou rios com a área da bacia hidrográfica. Para calcular o comprimento devem ser medidos tanto os rios perenes como os temporários.	km/km ²	Horton (1932)
Sinuosidade (S)	$Dd = \frac{L}{L_{tal}}$	A sinuosidade de um curso d'água é um fator controlador da velocidade do escoamento e é definida pela relação entre o comprimento do rio principal e o comprimento do talvegue.	Adimensional	Schumm (1963)
Índice de sinuosidade (Is)	$Is = 100 \times \frac{(L - L_{tal})}{L}$	Relação entre o comprimento rio principal e o comprimento do talvegue do rio principal.	%	Schumm (1963)
Tempo de concentração (Tc)	$Tc = 85,2 \times \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385}$	Tempo que a água leva do ponto mais distante até o exutório da bacia.	min.	Kirpich Modificada (1940)
Ordem da bacia	Determinado pelo SIG	Classificação hierárquica da bacia.	Adimensional	Strahler (1957)
Características do Relevo				
Altitude máxima (Hmax)	Determinado pelo SIG	Cota altimétrica de maior valor de elevação.	m	-
Altitude mínima (Hmin)	Determinado pelo SIG	Cota altimétrica de menor valor de elevação.	m	-
Amplitude altimétrica (ΔH)	$\Delta H = H_{m\acute{a}x} - H_{m\acute{i}n}$	Diferença entre as altitudes máxima e mínima da bacia.	m	Strahler (1957)
Declividade do rio principal	$S_1 = \frac{\Delta H}{L}$ $S_{10-85} = \frac{H_{85\%} - H_{10\%}}{0,75 \times L}$	Relação da amplitude altimétrica e do comprimento do rio principal.	m/km	Villela e Matos (1975)
Índice de rugosidade (Ir)	$Ir = \Delta H \times Dd$	Relação entre a amplitude altimétrica e a densidade de drenagem.	Adimensional	Melton (1957)
Relação de relevo (Rr)	$Rr = \frac{\Delta H}{L}$	Relação entre a amplitude altimétrica e o comprimento do rio principal.	m/km	Christofolletti (1969)

Fonte: Elaborada pelos autores, a partir de revisão de literatura.

Por fim, após a determinação dos valores referentes aos parâmetros morfométricos, foi realizada uma classificação dos mesmos, conforme relação descrita na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de referência para classificação dos parâmetros morfométricos.

Parâmetro Morfométrico	Intervalo	Unidade	Descrição	Fonte
Características Geométricas				
Coeficiente de compacidade (Kc)	1,00 - 1,25	Adimensional	Bacia com alta propensão a enchentes	Horton (1945)
	1,26 - 1,50		Bacia com tendência mediana a enchentes	
	> 1,50		Bacia não sujeita a enchentes	
Fator de forma (Kf)	< 0,50	Adimensional	Bacia não sujeita a enchentes	Horton (1945)
	0,50 - 0,75		Bacia com tendência mediana a enchentes	
	0,76 - 1,00		Bacia sujeita a enchentes	
Índice de circularidade (Ic)	0,36 - 0,50	Adimensional	A bacia possui forma alongada	Müller (1953)
	0,51 - 0,75		A bacia possui forma intermediária	
	0,76 - 1,00		A bacia possui forma circular	
Razão de alongação (Re)	< 0,50	Adimensional	A bacia possui forma muito alongada	Schumm (1956)
	0,51 - 0,70		A bacia possui forma alongada	
	0,70 - 0,80		A bacia possui forma pouco alongada	
	0,81 - 0,90		A bacia possui forma ovalada	
	> 0,90		A bacia possui forma circular	
Características Hidrográficas				
Densidade de drenagem (Dd)	< 0,50	km/km ²	Bacia com drenagem pobre	Horton (1932)
	0,50 - 1,50		Bacia com drenagem regular	
	1,51 - 2,50		Bacia com drenagem boa	
	2,51 - 3,50		Bacia com drenagem muito boa	
Sinuosidade (S)	> 3,50	Adimensional	Bacia excepcionalmente bem drenada	Schumm (1963)
	≅ 1,00		O rio principal tende a ser retilíneo	
	> 2,00		O rio principal tende a ser tortuoso	
Índice de sinuosidade (Is)	< 20,00	%	O rio principal tende a ser muito retilíneo	Schumm (1963)
	20,00 - 30,00		O rio principal tende a ser retilíneo	
	30,01 - 40,00		O rio principal tende a ser divagante	
	40,01 - 50,00		O rio principal tende a ser sinuoso	
Ordem da bacia	> 50,00	Adimensional	O rio principal tende a ser muito sinuoso	Strahler (1957)
	1		Improvável habitat de peixes	
	2		Baixas condições para habitação	
	3		Moderadas condições para habitação	
	≥ 4		Elevadas condições para habitação	
Características do Relevo				
Índice de rugosidade (Ir)	< 150,00	Adimensional	Fraca	Melton (1957)
	150,00 - 550,00		Média	
	551,00 - 950,00		Forte	
	> 950,00		Muito forte	
Relação de relevo (Rr)	< 10,00	m/km	Razão de relevo baixa	Christofoletti (1969)
	11,00 - 30,00		Razão de relevo média	
	31,00 - 60,00		Razão de relevo alta	

Fonte: Elaborada pelos autores, a partir de revisão de literatura.

3. Resultados e discussão

Características geométricas

Os valores dos parâmetros oriundos da caracterização geométrica da bacia hidrográfica do rio Jaboatão estão apresentados na Tabela 3. A partir da delimitação da bacia, foram obtidos os valores de área, perímetro e comprimento axial de 429,84 km², 209,56 km e 41,40km, respectivamente. Esses valores, ao serem relacionados, permitem o conhecimento da forma da bacia, ou seja, se esta é mais alongada ou circular.

Tabela 3 - Características geométricas da bacia hidrográfica do rio Jaboatão.

Característica geométrica	Valor
Área da bacia (A)	429,84 km ²
Perímetro da bacia (P)	209,56 km
Comprimento axial da bacia (La)	41,40 km
Largura média da bacia (Lm)	10,38 km
Coefficiente de compacidade (Kc)	2,83
Fator de forma (Kf)	0,25
Índice de circularidade (Ic)	0,12
Razão de alongação (Re)	0,39

Fonte: Elaborada pelos autores.

A partir da definição do coeficiente de compacidade (Kc), pode-se afirmar que a bacia hidrográfica do rio Jaboatão possui baixa propensão a enchentes em condições médias de precipitação. Conforme Lopes et al. (2018), essa caracterização se justifica devido ao Kc apresentar o valor afastado do unitário.

Acerca do fator de forma (Kf), o valor de 0,25 representa que a referida bacia tem formato alongado e pouca suscetibilidade de gerar enchentes. De acordo com Lira et al. (2020), valores de Kf próximo de 0, como o valor encontrado para a bacia do rio Jaboatão, indicam que a bacia tem pequeno risco de inundações e cheias instantâneas, ao passo que para valores de Kf mais próximo de 1, mais circular é a bacia e maior é a sua tendência a gerar enchentes rápidas e acentuadas.

A caracterização do Kf da bacia do rio Jaboatão pode ser complementada com o índice de circularidade (Ic) e a razão de alongação (Re), sendo de 0,12 e 0,39, respectivamente. Esses resultados demonstram que a bacia possui formato bastante alongado, corroborando com o valor do Kf.

No trabalho realizado por Silva e Girão (2020) foram encontrados resultados semelhantes ao do presente estudo. Os referidos autores encontraram, para a bacia do rio Jaboatão, os valores de área, perímetro e Kc de 420,00 km², 190,34 km e 2,60, respectivamente,

expressando que a bacia não está sujeita a amplas inundações. Para obtenção desses resultados foram utilizados dados de elevação oriundos da missão SRTM que foram processados no *software* ArcGIS.

Resultados similares foram encontrados no estudo de Farias et al. (2017) para a bacia hidrográfica do rio Goiana, também em Pernambuco, em que foi verificado que essa bacia possui formato alongado e nela há menos chances de ocorrência de enchentes em situações normais de precipitação, visto que seu Kc corresponde a 2,37 e seu Ic, 0,17.

Características hidrográficas

Os parâmetros morfométricos de caracterização hidrográfica estão expostos na Tabela 4. Os principais índices da drenagem da bacia hidrográfica do rio Jaboatão são os comprimentos do rio principal, do talvegue do rio principal e da rede hidrográfica, que resultaram, respectivamente, em 79,35 km, 40,42 km e 491,21 km. Esses valores influenciam diretamente nas características de densidade de drenagem da bacia e sinuosidade do rio principal.

Tabela 4 - Características hidrográficas da bacia hidrográfica do rio Jaboatão.

Característica hidrográfica	Valor
Comprimento do rio principal (L)	79,35 km
Comprimento do talvegue do rio principal (Ltal)	40,42 km
Comprimento total da rede hidrográfica (Lt)	491,21 km
Densidade de drenagem (Dd)	1,14 km/km ²
Sinuosidade (S)	1,96
Índice de sinuosidade (Is)	49,06 %
Tempo de concentração (Tc)	25,44 h
Ordem da bacia	5 ^a

Fonte: Elaborada pelos autores.

A densidade de drenagem (Dd) resultou em 1,14 km/km². Esse parâmetro, segundo Souza et al. (2021), permite classificar a bacia entre uma drenagem pobre ou excepcional. No caso da bacia do rio Jaboatão, o resultado encontrado demonstra que sua drenagem é regular. Ainda de acordo com os referidos autores, a densidade de drenagem reflete a propriedade de transmissibilidade do terreno e, conseqüentemente, a suscetibilidade à erosão.

Em relação a sinuosidade (S) do rio principal, o valor encontrado foi de 1,96, indicando que o canal tende a ser sinuoso ou tortuoso, uma vez que o resultado obtido está muito próximo de 2,00. Corroborando esse resultado, a taxa de 49,06% para o índice de sinuosidade (Is) indica

a drenagem do rio principal é praticamente sinuosa, visto que obteve um valor em torno de 50%.

De acordo com Silva e Girão (2020), a bacia do rio Jaboatão apresenta padrão de drenagem dendrítico, em que o rio principal representa o “tronco” e os seus afluentes os “ramos de uma árvore”. Para os autores, essa configuração se dá em virtude ao produto de um controle estrutural. A bacia é de quinta ordem, segundo a classificação de Strahler (1957), como pode ser observado na Figura 2. Para Vendrudcolo (2020), as cinco ordens da bacia denotam elevadas condições para habitação de peixes e, conseqüentemente, a complexidade do ecossistema aquático.

Outro parâmetro hidrográfico bastante importante é o tempo de concentração (T_c), que para a bacia do rio Jaboatão foi de 25,44 horas, ou seja, a bacia leva cerca de um dia, uma hora e 26 minutos para que toda água precipitada chegue ao exutório. De acordo com Lira et al. (2020), por meio do T_c é permitida a

compreensão do comportamento do escoamento superficial na bacia hidrográfica, o qual está associado a diversos fenômenos que podem acarretar em prejuízos socioeconômicos e ambientais no meio em que ocorrem.

Ratificando os resultados das características hidrográficas do rio Jaboatão, encontrados neste estudo, o trabalho de Silva e Girão (2020) apresentou para o valor do comprimento do rio principal 75 km e para a sinuosidade, 1,99, sendo caracterizado pelos autores como um rio sinuoso.

Na caracterização hidrográfica da bacia do rio Beberibe, situada na RMR, Soares e Galvêncio (2020) encontraram resultados que divergem dos alcançados neste estudo. Para a referida bacia, os autores obtiveram valores para a sinuosidade do rio principal e densidade de drenagem de, respectivamente, 0,89 e 5,36 km/km², indicando que o rio principal possui um perfil retilíneo, o que intensifica a velocidade do escoamento, e que a bacia pode ser considerada como bem drenada.

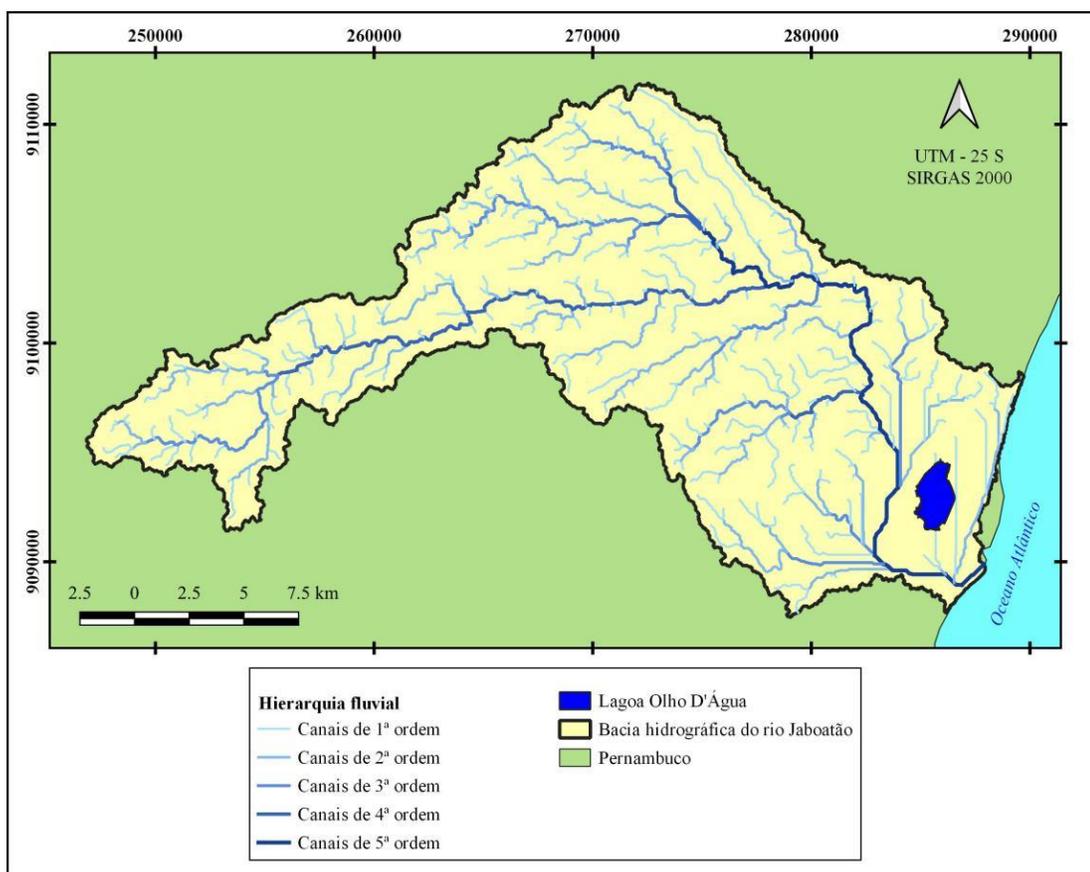


Figura 2 - Hierarquia fluvial da bacia hidrográfica do rio Jaboatão.

Características do relevo

A caracterização do relevo da bacia do rio Jaboatão pode ser verificada na Tabela 5. As altitudes máxima e mínima da bacia foram de 438,00 m e 0,00 m, respectivamente, resultando numa amplitude altimétrica

de 438,00 m. O índice de rugosidade e a relação de relevo foram de 500,54 e 5,52 m/km, sugerindo médio a forte risco de degradação da bacia e baixa declividade geral da bacia, ou seja, a velocidade da água que escoar no sentido de seu maior comprimento também será baixa.

Tabela 5 - Características hidrográficas da bacia hidrográfica do rio Jaboatão.

Característica de relevo	Valor
Altitude máxima (Hmax)	438,00 m
Altitude mínima (Hmin)	0,00 m
Amplitude altimétrica (ΔH)	438,00 m
Declividade do rio principal (S1)	3,50 m/km
Declividade do rio principal (S10-85)	3,42 m/km
Índice de rugosidade (Ir)	500,54
Relação de relevo (Rr)	5,52 m/km ²

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Figura 3 apresenta a distribuição da hipsometria da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, obtida a partir do MDE. Para Silva e Girão (2020), os distintos valores de altimetria denotam as características geomorfológicas presentes no domínio fluvial e interfluvial. As cotas altimétricas verificadas na bacia do

rio Jaboatão demonstram que o relevo da região se apresenta por baixa altitude, se caracterizando como planícies e colinas.

Os valores obtidos para declividade do rio principal, cujo perfil longitudinal pode ser conferido na Figura 4, foram de 3,50 m/km (S1) e 3,42 m/km (S10-85), podendo ser considerada como baixa, o que é favorável à proteção da rede de drenagem. O parâmetro declividade, de acordo com Souza et al. (2021), interfere diretamente na velocidade do escoamento da água no rio principal.

Em estudo semelhante, Souza et al. (2021) encontraram para a bacia do riacho do Navio, localizada no sertão pernambucano, valores de altitude máxima e mínima da bacia de 1.075,00 m e 310 m, respectivamente. Para o índice de rugosidade, os autores determinaram o valor de 380,00, que representa um médio risco à degradação da bacia e baixa suscetibilidade à ocorrência de enchentes.

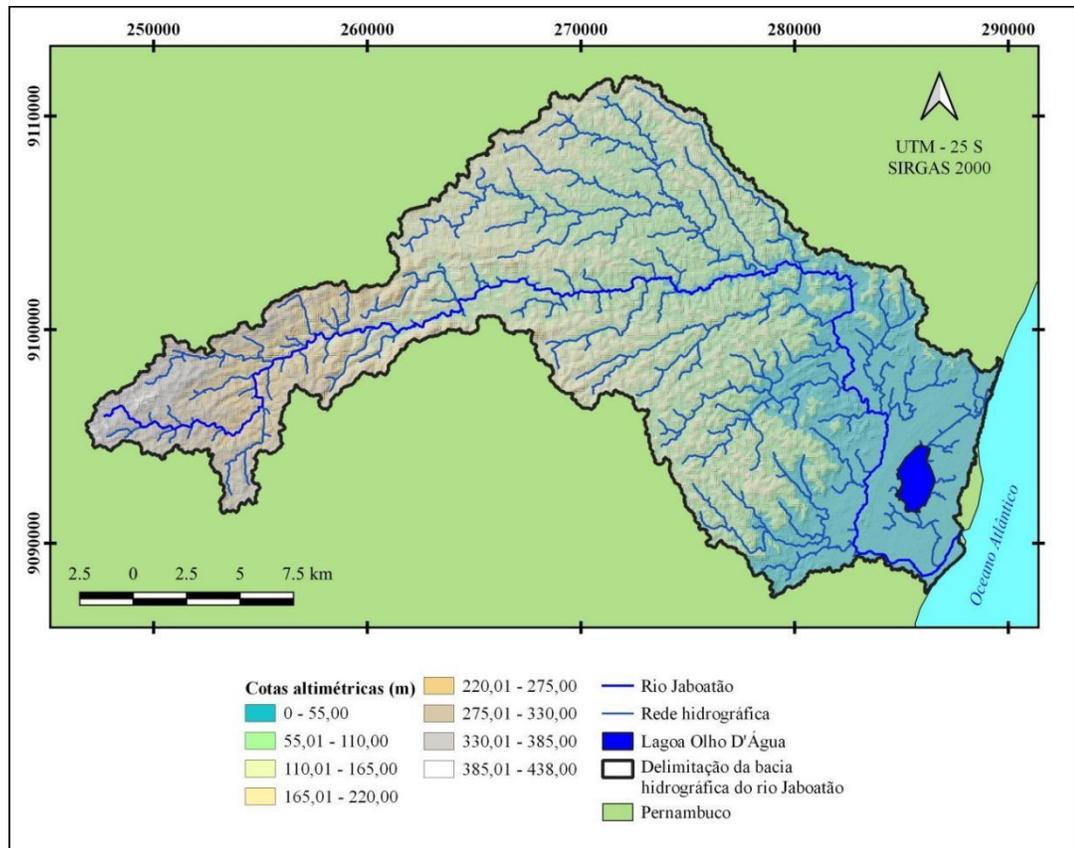


Figura 3 - Hipsometria da bacia hidrográfica do rio Jaboatão.

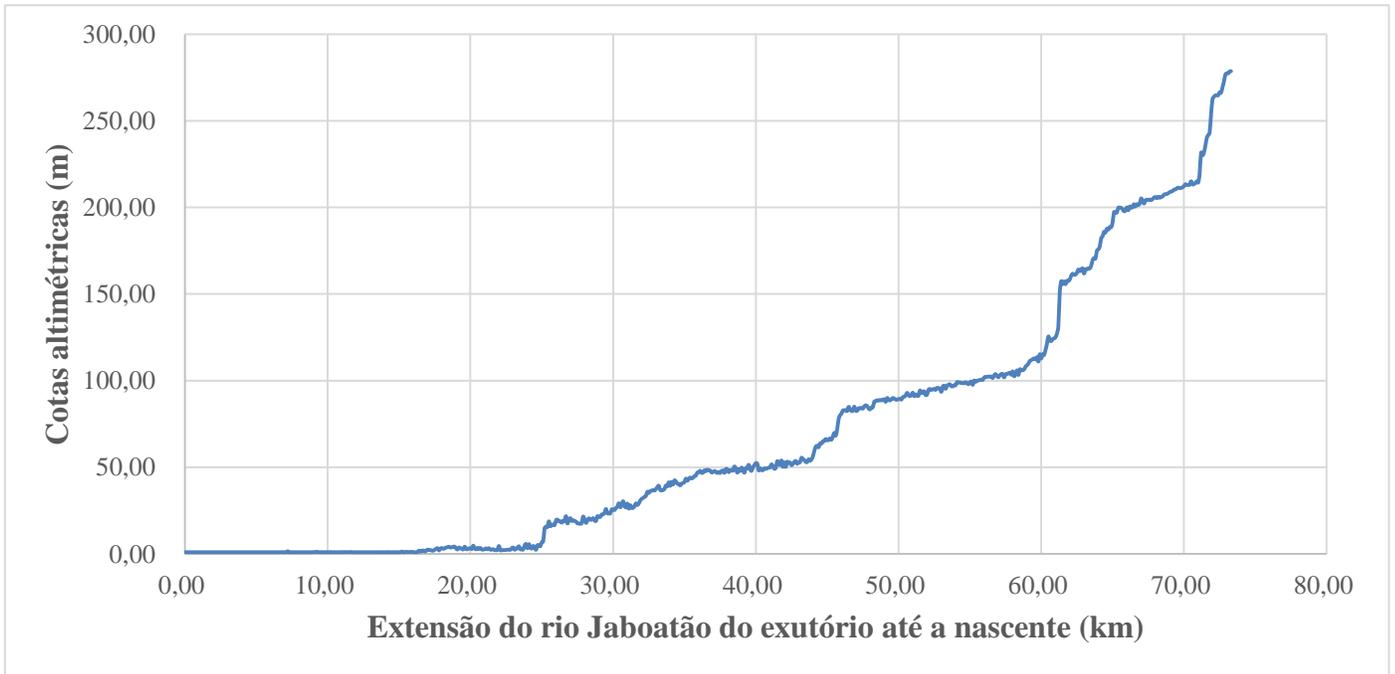


Figura 4 - Perfil longitudinal do rio Jaboatão.

A Figura 5 apresenta a curva hipsométrica da bacia hidrográfica do rio Jaboatão com suas respectivas cotas altimétricas e porcentagens em relação à área total da bacia. A maior ocorrência por classe de altitude

compreendeu o intervalo de 340 m a 350 m (8,12%), enquanto sua altitude média correspondeu a 88,11% da área da bacia e sua altitude mediana foi de 354,51 m.

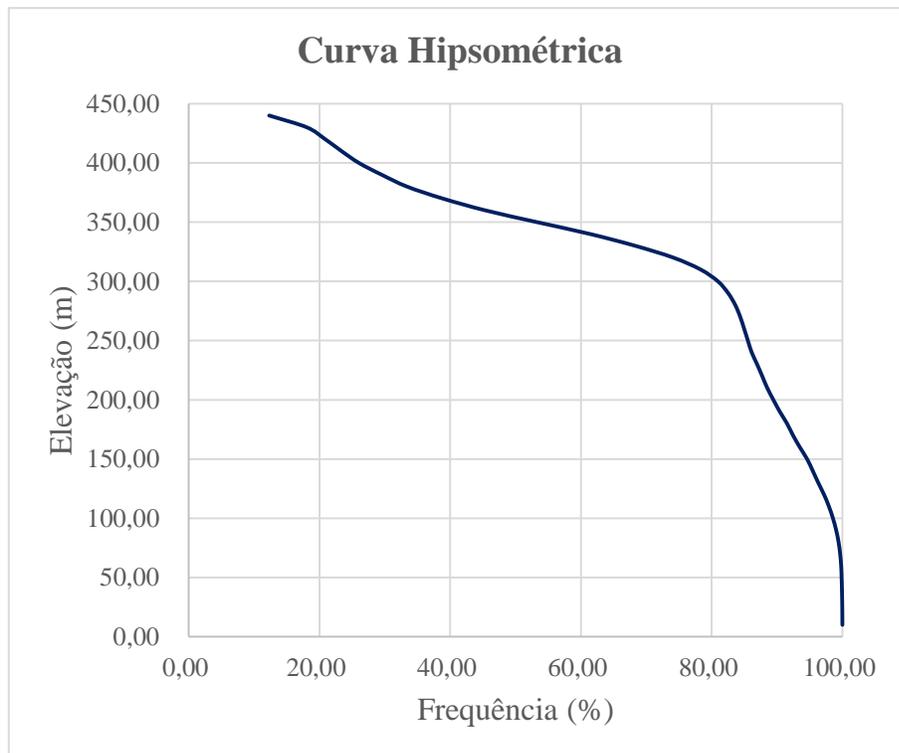


Figura 5 - Curva hipsométrica da bacia hidrográfica do rio Jaboatão.

4. Conclusões

Por meio da tecnologia do SIG e da utilização de modelos digitais de elevação de alta resolução espacial (sensor LiDAR) foi possível obter as características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Jaboaão de maneira satisfatória, mostrando-se uma ferramenta eficiente, tanto em termos de economia de tempo, quanto de recursos financeiros.

Através da obtenção dos parâmetros morfométricos relativos à caracterização geométrica foi possível constatar que a bacia do rio Jaboaão possui baixa propensão a enchentes, em condições médias de precipitação, e formato alongado. Acerca das características hidrográficas, pode-se observar que a referida bacia compreende um sistema de drenagem regular, seu rio principal é bastante sinuoso e que dura cerca de um dia, uma hora e 26 minutos para que toda água precipitada chegue ao seu exutório. Tratando-se do relevo, a região estudada apresenta baixas altitudes, variando de 0,00 m a 438,00 m, se caracterizando como área constituída por planícies e colinas. Seu rio principal apresenta uma declividade baixa, o que favorece a proteção da rede de drenagem da bacia.

Os resultados apresentados neste estudo são capazes de facilitar o entendimento da relação entre as propriedades físicas e dinâmicas da bacia, concedendo uma análise consistente para o monitoramento dos seus processos hidrológicos.

Referências

- Alves, W.S., Martins, A.P., Morais, W.A., Pôssa, E.M., Moura, D.M.B., Santos, L.N.S., Ferreira, R.S., Nunes, N.C., Pereira, M.A.B., Moreira, E.P., 2020. Morfometria da Bacia Hidrográfica do Rio Verdinho, Sudoeste de Goiás, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* 13, 3636-3658.
- Alves, W.S., Morais, W.A., Martins, A.P., Aquino, D.S., Pereira, M.A., Saleh, B.B., 2019. Análise do uso da terra, da cobertura vegetal e da morfometria da bacia do Ribeirão Douradinho, no sudoeste de Goiás, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* 12, 1093-1113.
- Alves Sobrinho, T., Oliveira, P.T.S., Rodrigues, D.B.B., Ayres, F.M., 2010. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. *Revista Engenharia Agrícola* 30, 46-57.
- APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima, 2021. Bacias Hidrográficas - GL-2. Disponível: <http://200.238.107.184/bacias-hidrograficas/40-bacias-hidrograficas/223-gl-2>. Acesso: 21 out. 2021.
- Badarau, M.S., Listo, F.L.R., 2020. Análise de riscos a inundação no bairro Maranguape I, Paulista - PE, in: Listo, F.L.R. (Org.), *Retratos da Geografia: olhares através das geotecnologias*. MapGeo, pp. 63-71. Brasil, 1997. Lei nº. 9.433, de 8 de janeiro.
- Christofolletti, A., 1969. Análise morfométrica das bacias hidrográficas. *Notícias Geomorfológicas* 18, 35-64.
- Cirilo, J.A., Alves, F.H.B., Silva, L.A.C., Campos, J.H.A.L., 2014. Suporte de Informações Georreferenciadas de Alta Resolução para Implantação de Infraestrutura e Planejamento Territorial. *Revista Brasileira de Geografia Física* 7, 755-763.
- Crispim, D.L., Bezerra, P.E.S., Lima, G.V.B.A., Fernandes, L.L., 2021. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Igarapé Quarenta Horas no município de Ananindeua, Pará. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 11, 1-10.
- Dias, D.S., Albuquerque, R.L.O., Rodrigues, R.S.S., 2020. Evolução temporal do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Parauapebas, Pará. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 10, 122-129.
- Duarte, M.L., Silva, D.M.P., Silva, T.A., Guimarães, L.R., 2019. Avaliação de Modelos Digitais de Elevação na delimitação de bacias hidrográficas na região Sul do Amazonas. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 9, 99-107.
- Farias, P.L.C., Xavier, J.P.S., Figueiredo, V.P., Silva, B.A.A., Araújo, M.S.B., 2017. Spatial analysis on the watershed of Goiana River – PE: comparison with the use of geoprocessing and ANA data. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 7, 111-124.
- Furlan, A.R., Dias, D.F., Trentin, R., Robaina, L.E.S., 2018. Atributos geomorfométricos e cobertura e uso da terra: análise na bacia hidrográfica do arroio Carijinho - Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Geografia Física* 11, 1112-1126.
- Guerra, S.M.S., Silva, A.M.R.B., Araújo, S.P., Corrêa, M.M., Silva, V.L., Santos, B.R.T., 2015. Caracterização morfométrica e avaliação da qualidade da água da bacia Hidrográfica de Bitá, Ipojuca - PE. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8, 759-775.
- Horton, R.E., 1932. Drainage basin characteristics. *Transactions American Geophysical Union* 13, 350-361.
- Horton, R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin* 56, 275-370.

- Kirpich, Z.P., 1940. Tempo de concentração em pequenas bacias hidrográficas agrícolas. Engenharia Civil 10, 362.
- Lima, L.R.F., Moraes, R.F., Rodrigues, R.S.S., 2020. Análise espacial de uma pequena bacia hidrográfica na Amazônia. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 10, 95-107.
- Lira, B.R.P., Andrade, A.A., Ferreira Filho, D.F., Pessoa, F.C.L., Fernandes, L.L., 2020. Análise morfométrica, hidrológica e pluviométrica da bacia do rio Piriá-PA. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 10, 45-54.
- Lopes, I., Leal, B.G., Ramos, C.M.C., 2018. Caracterização morfométrica de bacia hidrográfica no semiárido de Pernambuco através de dados SRTM em softwares livre. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 8, 31-40.
- Melton, M.A., 1957. An analysis of the relations among elements of climate, surface properties, and geomorphology. Columbia University, New York.
- Mendes, A.T., 2018. Delimitação da bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio pela ferramenta de delimitação automática TauDEM. *Revista Brasileira de Geografia Física* 11, 973-986.
- Müller, V.C., 1953. A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain Area. n. 3. Virginia and Tennessee/Dept. of Geology, New York.
- Parente, Y.Y., Mendes, A.C., Miranda, A.G.O., Dourado Júnior, O.C., 2020. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Curuçá (Pará) e demarcação de nascentes fluviais como subsídio à gestão. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 10, 138-152.
- Santos, I.O., Mariano, G., 2017. Sistema de informação geográfica e caracterização fisiográfica automática da bacia hidrográfica do rio Tatuoca. *Revista Brasileira de Geografia Física* 10, 866-879.
- Schumm, S.A., 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological Society of America Bulletin* 67, 597-646.
- Schumm, S.A., 1963. A tentative classification of alluvial river channels. United States Geological Survey, Washington. (Circular, 477).
- Silva, C.S., 2018. Avaliação das condições hidrogeomorfológicas da bacia hidrográfica do rio Jaboatão. Dissertação (Mestrado). Recife, UFPE.
- Silva, C.S., Girão, O., 2020. Análise morfométrica e caracterização geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Jaboatão (BHRJ) - Pernambuco. *Geosul* 35, 441-460.
- Silva, E.R.A.C., Santana, S.H.C., Melo, J.G.S., Mendes, S.M., Galvêncio, J.D., 2017. A transformação da natureza e as potencialidades do monitoramento ambiental na Lagoa Urbana Olho D'Água - PE: Os desafios da complexa relação entre desenvolvimento urbano e a conservação de ambientes naturais. *Guaju* 3, 32-64.
- Silva, J.S.A., Rodrigues, R.S.S., Bittencourt, G.M., 2020. Aplicação de diferentes MDE'S para extração de variáveis morfométricas de uma bacia hidrográfica. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 10, 10-19.
- Soares, G.A.S., Galvêncio, J.D., 2020. Uso do LiDAR para avaliar os padrões hídricos de bacias em áreas urbanas: Caracterização fisiográfica da bacia do Rio Beberibe-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física* 13, 3659-3674.
- Souza, E.G.F., Nascimento, A.H.C., Cruz, E.A., Pereira, D.F., Silva, R.S., Silva, T.P., Freire, W.A., 2021. Delimitação e caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho do Navio, Pernambuco, a partir de dados SRTM processados no QGIS. *Revista Brasileira de Geografia Física* 14, 1530-1540.
- Strahler, A.N., 1957. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *Transactions American Geophysical Union* 38, 913-920.
- Vendruscolo, J., Pacheco, F.M.P., Rodrigues, A.A.M., Ramos, H.F., Rosa, D.M., Cavalheiro, W.C.S., 2020. Características morfométricas da microbacia do Médio Rio Escondido, Amazônia Ocidental, Brasil. *Brazilian Journal of Development* 6, 565-585.
- Villela, S.M., Mattos, A., 1975. Hidrologia Aplicada. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo.