

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SIRINHAÉM, EM PERNAMBUCO, UTILIZANDO MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO PROVENIENTES DE SENSOR LIDAR

Amaury Gouveia Pessoa Neto¹

Bruno José Silva de Medeiros²

Euzonio Rizzi Neto³

Maria Carolina da Silva⁴

Marcus Metri Corrêa⁵

RESUMO

A caracterização morfométrica de bacias hidrográficas é essencial para a gestão eficaz dos recursos hídricos, uma vez que está estreitamente relacionada ao regime hidrológico da região. A compreensão dessas características é essencial para o planejamento e gestão dos recursos hídricos, fornecendo subsídios para a tomada de decisões por parte de gestores e profissionais da área, além de contribuir para a elaboração de políticas públicas que promovam um uso sustentável e equilibrado dos recursos hídricos. O objetivo deste estudo foi analisar as características morfométricas da bacia do rio Sirinhaém, no estado de Pernambuco, a partir de Modelos Digitais de Elevação (MDE) obtidos por perfilamento a laser aerotransportado (LiDAR). Foram realizadas a delimitação automática da bacia, a extração da rede hidrográfica e a obtenção de parâmetros morfométricos geométricos, hidrográficos e de relevo. Os resultados indicaram que a bacia do rio Sirinhaém apresenta um formato alongado e um sistema de drenagem classificado como regular. O canal principal apresenta tendência à sinuosidade e as altitudes variam entre 0,50 m e 712 m. A análise permitiu identificar tanto as fragilidades quanto as potencialidades da bacia, destacando aspectos como a suscetibilidade a enchentes, a tendência ao assoreamento, a velocidade do fluxo e o desenvolvimento do relevo, entre outros fatores relevantes para o manejo e a conservação da bacia.

Palavras-chave: Conservação da bacia; Recursos hídricos; Regime hidrológico.

MORPHOMETRIC CHARACTERIZATION OF THE SIRINHAÉM RIVER WATERSHED IN PERNAMBUCO USING LIDAR-DERIVED DIGITAL ELEVATION MODELS

ABSTRACT

The morphometric characterization of watersheds is essential for the effective management of water resources, as it is closely related to the hydrological regime of the region. Understanding

¹Doutorando pela UFRPE, Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Email: agpn@poli.br

²Mestrando pela UFRPE, Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Email: brunnoengamb@gmail.com

³Mestrando pela UFRPE, Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Email: euzonio.rizzi@ufrpe.br

⁴Doutoranda pela UFRPE, Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Email: mcskrol@gmail.com

⁵Doutor pela UFV, Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Email: marcus.mcorreia@ufrpe.br

these characteristics is crucial for water resource planning and management, providing support for decision-making by managers and professionals in the field, and contributing to the formulation of public policies that promote sustainable and balanced use of water resources. The aim of this study was to analyze the morphometric characteristics of the Sirinhaém River watershed in the state of Pernambuco, using Digital Elevation Models (DEMs) derived from airborne laser scanning (LiDAR). The study involved automatic delineation of the watershed, extraction of the hydrographic network, and the calculation of geometric, hydrographic, and topographic morphometric parameters. The results showed that the Sirinhaém River watershed has an elongated shape and a drainage system classified as moderate. The main channel exhibits a tendency toward sinuosity, and the altitudes vary from 0.50 m to 712 m. The analysis allowed for the identification of both the weaknesses and the potential of the watershed, highlighting aspects such as susceptibility to flooding, tendency to sedimentation, flow velocity, and topographic development, among other factors relevant to watershed management and conservation.

Keywords: Watershed conservation; Water resources; Hydrological regime.

CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SIRINHAÉM EN PERNAMBUCO UTILIZANDO MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN DERIVADOS DE SENSOR LIDAR

RESUMEN

La caracterización morfológica de las cuencas hidrográficas es esencial para una gestión eficaz de los recursos hídricos, ya que está estrechamente relacionada con el régimen hidrológico de la región. La comprensión de estas características es fundamental para la planificación y gestión de los recursos hídricos, proporcionando apoyo para la toma de decisiones por parte de gestores y profesionales del área, además de contribuir a la elaboración de políticas públicas que promuevan un uso sostenible y equilibrado de los recursos hídricos. El objetivo de este estudio fue analizar las características morfológicas de la cuenca del río Sirinhaém, en el estado de Pernambuco, a partir de Modelos Digitales de Elevación (MDE) obtenidos mediante perfilado a láser aerotransportado (LiDAR). Se realizaron la delimitación automática de la cuenca, la extracción de la red hidrográfica y la obtención de parámetros morfológicos geométricos, hidrográficos y de relieve. Los resultados indicaron que la cuenca del río Sirinhaém presenta una forma alargada y un sistema de drenaje clasificado como regular. El canal principal muestra una tendencia a la sinuosidad y las altitudes varían entre 0,50 m y 712 m. El análisis permitió identificar tanto las debilidades como las potencialidades de la cuenca, destacando aspectos como la susceptibilidad a inundaciones, la tendencia al embancamiento, la velocidad del flujo y el desarrollo del relieve, entre otros factores relevantes para la gestión y conservación de la cuenca.

Palabras clave: Conservación de cuencas; Recursos hídricos; Régimen hidrológico.

INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas desempenham um papel fundamental na organização espacial e no manejo dos recursos hídricos, sendo consideradas unidades naturais de planejamento e gestão ambiental (Elesbon *et al.*, 2024). Esses sistemas são caracterizados por uma rede de drenagem interligada, que capta e transporta água superficial e subterrânea, exercendo influência direta sobre a disponibilidade hídrica, os ecossistemas associados e o desenvolvimento socioeconômico de regiões inteiras (Martins *et al.*, 2021). Em um contexto de mudanças climáticas e uso intensivo dos recursos naturais, o estudo e a caracterização das bacias hidrográficas são essenciais para a implementação de práticas sustentáveis de manejo da água e prevenção de desastres naturais.

A caracterização morfométrica de bacias hidrográficas é uma etapa fundamental para entender suas dinâmicas hídricas e geomorfológicas. Pois envolve a análise quantitativa das características geométricas, hidrográficas e do relevo, sendo essencial para compreender os padrões de drenagem, o comportamento dos corpos d'água e a resposta hidrológica da bacia às chuvas (Righi *et al.*, 2021). Cada indicador fornece informações essenciais sobre a capacidade de infiltração, escoamento superficial e suscetibilidade à erosão, fatores que influenciam diretamente a qualidade e a quantidade de água disponível na bacia (Toniolo *et al.*, 2021).

Essa caracterização é uma ferramenta essencial no planejamento e gestão dos recursos hídricos, especialmente no que se refere à previsão de eventos extremos, como enchentes, e ao manejo eficiente do uso da água, contribuindo para a segurança hídrica e a resiliência das populações expostas a riscos ambientais (Cavalcante *et al.*, 2021). Parâmetros como declividade e densidade de drenagem são fundamentais para modelar o tempo de concentração e a resposta hidrológica da bacia, permitindo identificar áreas vulneráveis e propor medidas mitigadoras (Sahu *et al.*, 2020).

Atualmente, estudos sobre caracterização morfométrica de bacias hidrográficas têm avançado consideravelmente, sobretudo pelo uso de técnicas de Geoprocessamento, como Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Sensoriamento Remoto (Pessoa Neto *et al.*, 2024). O processamento de Modelos Digitais de Elevação (MDE), que podem ser obtidos por meio de

perfilamento a *laser* aerotransportado (LiDAR), em ambientes SIG permite determinar com maior precisão informações sobre a área de drenagem, o comprimento da rede hidrográfica e as cotas altimétricas de uma bacia hidrográfica, além de outras características morfométricas (Cunha; Bacani, 2019; Pessoa Neto, 2023).

O MDE corresponde a um Modelo Numérico do Terreno (MNT), quando este corresponde à informações relativas à altimetria (Oliveira, 2010). Ele pode ser classificado em Modelo Digital do Terreno (MDT), que descreve apenas o terreno e corpos d'água (terra desnuda), e Modelo Digital de Superfície (MDS), que inclui também elementos sobre o solo, como árvores e edificações (Fernandes *et al.*, 2017).

A bacia do rio Sirinhaém, localizada no estado de Pernambuco, destaca-se pela sua relevância hídrica, econômica e ambiental. Além disso, sua rede hidrográfica desempenha um papel fundamental no fornecimento de recursos hídricos para consumo humano e na manutenção dos ecossistemas costeiros, incluindo manguezais e estuários, que são berçários naturais para diversas espécies marinhas (Santos *et al.*, 2020; Pereira *et al.*, 2022; Portela *et al.*, 2023). A degradação dessa bacia, resultante do uso inadequado do solo e da poluição hídrica, reforça a necessidade de estudos científicos para o manejo sustentável e a conservação dos seus recursos naturais, assegurando sua importância estratégica para a economia regional e o bem-estar das populações (Esteves *et al.*, 2023).

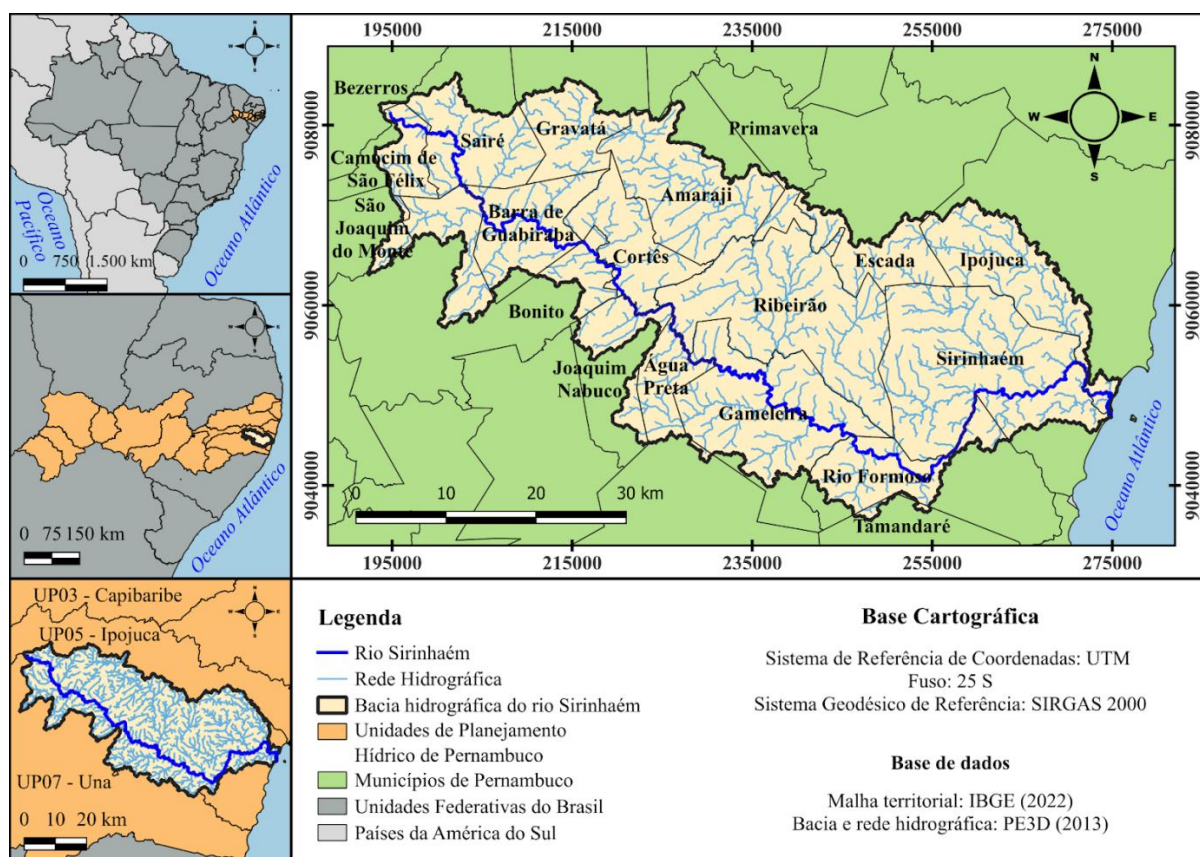
Assim como outras bacias pernambucanas, a do rio Sirinhaém abrange regiões planas e de alta urbanização. Compreender suas características morfométricas é fundamental para assegurar uma gestão eficiente dos recursos hídricos, promovendo um equilíbrio sustentável entre a população e os recursos hídricos. Nesse contexto, o objetivo deste estudo é realizar a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Sirinhaém, por meio do processamento de MDEs obtidos por sensor LiDAR em ambiente SIG, em conjunto com a utilização de modelos matemáticos para análise padronizada.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e caracterização da região do estudo

A bacia hidrográfica do rio Sirinhaém (BHRS), localizada no estado de Pernambuco (Figura 1), está integralmente situada na região da Mata Atlântica e abrange três mesorregiões pernambucanas: Metropolitana do Recife, Zona da Mata e Agreste. Além disso, encontra-se nas microrregiões da Mata Meridional Pernambucana e do Brejo Pernambucano.

Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do rio Sirinhaém



A bacia está posicionada entre as coordenadas 08°16'05'' e 08°44'50'' de latitude sul, e 35°01'00'' e 35°47'58'' de longitude oeste. Com uma área total de 2.090,64 km², a bacia é limitada a leste pelo oceano Atlântico; a oeste e sul pela Unidade de Planejamento Hídrico (UP) 07 - Una; ao norte pela UP05 - Ipojuca (Esteves *et al.*, 2023; APAC, 2024). Seu principal curso d'água é o rio Sirinhaém, tendo a nascente localizada no município de Camocim de São Félix e seu exutório no oceano Atlântico.

Os índices pluviométricos na bacia hidrográfica do rio Sirinhaém apresentam variações significativas ao longo de sua extensão. A precipitação anual varia de 1.100,01 mm a 1.200 mm na região oeste, enquanto no litoral os valores oscilam entre 1.800,1 mm e 1.900 mm. Quanto à temperatura média anual, observa-se um gradiente espacial, com variações de 20,5 °C a 21 °C na porção interior da bacia e de 22,1 °C a 22,5 °C na região leste (SEINFRA, 2020).

A área de estudo é predominantemente composta por rochas cristalinas, com a ocorrência de rochas sedimentares que se restringem à região litorânea. Seus solos são majoritariamente classificados sendo do tipo Latossolo Amarelo, com áreas significativas de Argissolos Amarelo e Vermelho-Amarelo, além de Gleissolo Háptico (SEINFRA, 2020). Quanto ao uso e cobertura da terra, observa-se que 96% da área nessa unidade (UP06) corresponde a três principais classes: pastagem, mosaico de agricultura e pastagem, e formação florestal. Além disso, 17% da área da unidade de planejamento encontra-se protegida por Unidades de Conservação (SEINFRA, 2020).

Aquisição e tratamento do MDE e delimitação automática da bacia

A delimitação da bacia do rio Sirinhaém foi realizada a partir do uso de um Modelo Digital de Elevação (MDE) de grade regular e resolução espacial de 30 metros, produzido pelo Programa Pernambuco Tridimensional (PE3D) e disponibilizado pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). O PE3D, desenvolvido pela Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos (SRHE) de Pernambuco, oferece dados obtidos por recobrimento aerofotogramétrico e perfilamento a *laser* (LiDAR), gerando MDEs e ortoimagens de alta resolução, o que permitiu a obtenção de informações altimétricas detalhadas (Cirilo *et al.*, 2014; Fonseca Neto *et al.*, 2020).

Optou-se pelo uso do MDE produzido pelo projeto PE3D, em razão de sua alta resolução espacial e detalhamento topográfico, superiores aos disponibilizados pelo modelo SRTM, especialmente em áreas de relevo complexo, como as sub-bacias de média e alta declividade presentes na região. Além disso, os dados do PE3D estão disponíveis para acesso público,

podendo ser obtidos por meio do portal do projeto, garantindo transparência e reprodutibilidade das análises realizadas.

O MDE adquirido foi processado no *software* livre QGIS (versão 3.34.9), reprojetoado para o sistema de referência de coordenadas UTM (fuso 25S) e o sistema geodésico de referência (Datum) SIRGAS 2000. Após a remoção dos *pixels* espúrios, obteve-se um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC). Então, por meio deste modelo, foram geradas camadas *raster* contendo informações sobre direções de fluxo e declividade da região, utilizando a função *r.watershed*.

A partir dessas camadas e após a identificação do exutório, com o auxílio da função *r.water.outlet* foi possível realizar a delimitação automática da bacia. A camada da bacia, inicialmente em formato matricial, foi convertida para um arquivo vetorial do tipo polígono, o que possibilitou a extração de valores geométricos.

Caracterização morfométrica da bacia

Características Geométricas

Área da Bacia (A): Refere-se à superfície total da bacia (Schumm, 1956) e é um parâmetro fundamental para o cálculo de outras características morfométricas (Santos *et al.*, 2018). A área da bacia em estudo, expressa em km², foi calculada automaticamente por meio da função *\$area* da "calculadora de campo" do QGIS (versão 3.34.9).

Perímetro da Bacia (P): Expresso em km, corresponde ao comprimento do divisor topográfico da bacia (Schumm, 1956). Assim como a área, o perímetro da bacia foi calculado automaticamente pela "calculadora de campo", utilizando a função *\$perimeter*.

Comprimento Axial da Bacia (La): É o comprimento, em quilômetros, entre o exutório e o ponto mais distante da bacia (Schumm, 1956). O comprimento axial da bacia do rio Sirinhaém foi obtido com base nas coordenadas desses pontos, através do QGIS.

Largura Média da Bacia (Lm): Obtida pela razão (Equação 1) entre a área da bacia (km²) e o comprimento axial (km) (Horton, 1945).

$$L_m = \frac{A}{L_a} \quad (\text{Equação 1})$$

Coefficiente de Compacidade (Kc): Este índice reflete a forma da bacia em comparação com a de um círculo, sendo calculado pela relação entre o perímetro da bacia (km) e a circunferência de um círculo que teria a mesma área que a bacia (km²) (Horton, 1945). A expressão matemática do coeficiente de compacidade é dada pela Equação 2 e sua classificação foi definida de acordo com a relação descrita na Tabela 1.

$$K_c = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{Equação 2})$$

Tabela 1: Valores de referência para classificação do coeficiente de compacidade

Intervalo	Descrição
1,00 - 1,25	Bacia com alta propensão a enchentes
1,25 - 1,50	Bacia com tendência moderada a enchentes
> 1,50	Bacia com baixa propensão a enchentes

Fonte: Horton (1945)

Fator de Forma (Kf): A Equação 3 representa a razão entre a área da bacia (km²) e o quadrado do comprimento axial (km) (Horton, 1945). Este parâmetro fornece uma indicação do grau de alongamento da bacia, refletindo a relação entre sua área e a extensão de seu comprimento. Sua classificação foi estabelecida com base na relação apresentada na Tabela 2.

$$K_f = \frac{A}{(L_a)^2} \quad (\text{Equação 3})$$

Tabela 2: Valores de referência para classificação do fator de forma

Intervalo	Descrição
< 0,50	Bacia com baixa propensão a enchentes
0,50 - 0,75	Bacia com tendência moderada a enchentes
0,75 - 1,00	Bacia com alta propensão a enchentes

Fonte: Horton (1945)

Índice de Circularidade (Ic): Expressa a relação entre a área da bacia (km²) e o perímetro da bacia (km), conforme mostrado na Equação 4. Este índice tende a se aproximar de 1 à medida que a forma da bacia se assemelha a um círculo perfeito (Müller, 1953). Um valor de Ic próximo de 1 indica uma bacia mais circular, enquanto valores menores indicam formas mais alongadas (Tabela 3).

$$I_c = 12,57 \times \frac{A}{P^2} \quad (\text{Equação 4})$$

Tabela 3: Valores de referência para classificação do índice de circularidade

Intervalo	Descrição
< 0,50	Bacia com formato alongado
0,50 - 0,75	Bacia com formato intermediário
0,75 - 1,00	Bacia com formato circular

Fonte: Müller (1953)

Razão de Elongação (Re): Definida pela relação entre a área da bacia (km²) e o comprimento axial da bacia (km), conforme a Equação 5 (Schumm, 1956). Este índice reflete a forma da bacia em termos de sua extensão e comprimento, sendo útil para caracterizar o grau de alongamento ou achatamento da bacia (Tabela 4).

$$R_e = 1,128 \times \frac{\sqrt{A}}{L_a} \quad (\text{Equação 5})$$

Tabela 4: Valores de referência para classificação da razão de alongação

Intervalo	Descrição
< 0,50	Bacia com formato muito alongado
0,50 - 0,70	Bacia com formato alongado
0,70 - 0,80	Bacia com formato pouco alongado
0,80 - 0,90	Bacia com formato ovalado
> 0,90	Bacia com formato circular

Fonte: Schumm (1956)

Características Hidrográficas

Comprimento do Canal Principal (L): Refere-se ao comprimento total do rio principal, desde sua nascente até seu exutório (Horton, 1932). Para a bacia em estudo, o comprimento do canal principal foi calculado automaticamente em quilômetros utilizando a função *\$length* da "calculadora de campo" no QGIS.

Comprimento do Talvegue do Canal Principal (L_{tal}): É a distância em linha reta entre a nascente e o exutório do rio principal (Horton, 1932). O comprimento do talvegue do rio Sirinhaém foi determinado a partir das coordenadas desses pontos, obtidas no QGIS e expresso em quilômetros.

Comprimento Total da Rede Hidrográfica (L_t): Corresponde ao somatório do comprimento de todos os cursos d'água dentro da bacia (Horton, 1932). Esse valor, expresso em quilômetros, foi calculado automaticamente utilizando as funções *length* e *sum* na "calculadora de campo" do QGIS.

Densidade de Drenagem (D_d): Reflete a relação entre o comprimento total dos canais ou rios (km) e a área da bacia hidrográfica (km²) (Horton, 1932). Expressa em km/km², foi calculada de acordo com a Equação 6. Sua classificação foi estabelecida com base na relação apresentada na Tabela 5.

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad (\text{Equação 6})$$

Tabela 5: Valores de referência para classificação da densidade de drenagem

Intervalo	Descrição
< 0,50	Bacia com drenagem pobre
0,50 - 1,50	Bacia com drenagem regular
1,50 - 2,50	Bacia com drenagem boa
2,50 - 3,50	Bacia com drenagem muito boa
> 3,50	Bacia excepcionalmente bem drenada

Fonte: Horton (1932)

Sinuosidade (S): Representa a relação entre o comprimento do rio principal (km) e o comprimento do talvegue (km), conforme a Equação 7 (Schumm, 1963). A classificação foi definida com base na relação descrita na Tabela 6.

$$S = \frac{L}{L_{tal}} \quad (\text{Equação 7})$$

Tabela 6: Valores de referência para classificação da sinuosidade

Intervalo	Descrição
≈ 1,00	O rio principal tende a ser retilíneo
> 2,00	O rio principal tende a ser tortuoso

Fonte: Schumm (1963)

Índice de Sinuosidade (Is): Expresso em porcentagem, é a razão entre o comprimento do rio principal (km) e o comprimento do talvegue (km), calculado de acordo com a Equação 8 (Schumm, 1963). A Tabela 7 apresenta a classificação estabelecida para este parâmetro.

$$I_S = 100 \times \frac{(L - L_{tal})}{L} \quad (\text{Equação 8})$$

Tabela 7: Valores de referência para classificação do índice de sinuosidade

Intervalo	Descrição
< 20,00	O rio principal tende a ser muito retilíneo
20,00 - 30,00	O rio principal tende a ser retilíneo
30,00 - 40,00	O rio principal tende a ser divagante
40,00 - 50,00	O rio principal tende a ser sinuoso
> 50,00	O rio principal tende a ser muito sinuoso

Fonte: Schumm (1963)

Tempo de Concentração (Tc): Refere-se ao tempo, geralmente expresso em minutos, que a água leva para percorrer o percurso do ponto mais distante até o exutório da bacia (Kirpich, 1940). Esse valor pode ser obtido por meio da Equação 9, onde são relacionados o comprimento do canal principal (L), em quilômetros, e o desnível do rio principal (H), em metros.

$$T_c = 85,20 \times \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,358} \quad (\text{Equação 9})$$

Características de Relevô

Altitude Máxima (H_{máx}) e Mínima (H_{mín}): As altitudes máxima e mínima representam, respectivamente, as cotas altimétricas de maior e menor elevação na bacia. Esses valores, expressos em metros, foram extraídos a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) da região.

Amplitude Altimétrica (ΔH): A amplitude altimétrica é a diferença, em metros, entre as altitudes máxima e mínima da bacia.

Declividade do Rio Principal: Refere-se à relação entre a amplitude altimétrica (m) e o comprimento do rio principal (km), conforme definido por Villela e Matos (1975). Para esse parâmetro, foram consideradas duas categorias:

1. Declividade Baseada nos Extremos (S₁): Calculada pela razão entre a amplitude altimétrica e o comprimento do canal principal, conforme a Equação 11.
2. Declividade entre as Altitudes Correspondentes a 10% e 85% do Comprimento do Rio (S₁₀₋₈₅): Calculada a partir das altitudes localizadas a 10% e 85% do comprimento total do rio, medido a partir do exutório, conforme a Equação 12.

Ambas as declividades foram expressas na unidade m/km.

$$S_l = \frac{\Delta H}{L} \quad (\text{Equação 11})$$

$$S_{10-85} = \frac{H_{85\%} - H_{10\%}}{0,75 \times L} \quad (\text{Equação 12})$$

Índice de Rugosidade (Ir): O índice de rugosidade é a relação entre a amplitude altimétrica (m) e a densidade de drenagem (km/km²), conforme o modelo apresentado na Equação 13

(Melton, 1957). A classificação foi definida com base nos critérios estabelecidos na relação apresentada na Tabela 9.

$$I_r = \Delta H \times D_d \quad (\text{Equação 13})$$

Tabela 9: Valores de referência para classificação do índice de rugosidade

Intervalo	Descrição
< 150,00	Fraca
150,00 - 550,00	Média
550,00 - 950,00	Forte
> 950,00	Muito forte

Fonte: Melton (1957)

Perfil Longitudinal do Rio Principal: O perfil longitudinal foi elaborado a partir do MDE da bacia, ilustrando a variação das cotas altimétricas ao longo do comprimento do rio principal. Esse perfil proporciona uma representação detalhada das mudanças altimétricas do rio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características geométricas

Os parâmetros geométricos da bacia hidrográfica do rio Sirinhaém, apresentados na Tabela 10, foram obtidos por meio do SIG. Os valores calculados para a área, o perímetro e o comprimento axial da bacia foram, respectivamente, 2.064,16 km², 524,24 km e 88,25 km. Com base nesses dados e utilizando modelos matemáticos específicos, foi possível caracterizar a morfologia da bacia, identificando seu formato, que pode ser classificado como mais alongado ou próximo ao circular.

Tabela 10: Características geométricas da bacia hidrográfica do rio Sirinhaém

Intervalo	Descrição
Área da bacia (A)	2.064,16 km ²
Perímetro da bacia (P)	524,24 km
Comprimento axial da bacia (La)	88,25 km
Largura média da bacia (Lm)	23,39 km
Coefficiente de compacidade (Kc)	3,23
Fator de forma (Kf)	0,27
Índice de circularidade (Ic)	0,09
Razão de alongação (Re)	0,58

Fonte: Autores

O valor do coeficiente de compacidade (Kc), igual a 3,23, indica que a bacia hidrográfica do rio Sirinhaém apresenta baixa propensão a enchentes sob condições médias de precipitação (Horton, 1945). Segundo Lopes *et al.* (2018), esse comportamento é explicado pelo fato de o valor de Kc estar significativamente distante do valor unitário. Quanto ao fator de forma (Kf), o valor obtido de 0,27 sugere que a bacia tem um formato alongado, o que implica em um risco reduzido de inundações e cheias repentinas (Horton, 1945). Os resultados dos índices de circularidade (Ic) e de alongação (Re), com valores de 0,09 e 0,58, respectivamente, corroboram essa conclusão, reforçando a caracterização da bacia como de formato alongado (Müller, 1953; Schumm, 1956).

Embora o formato da bacia em estudo não favoreça a ocorrência de enchentes, vale ressaltar que uma parte do seu baixo curso, especialmente nas proximidades do exutório, apresenta características físico-naturais que a tornam suscetível a inundações. Nesse contexto, o estudo de Portela *et al.* (2023) indicou que a propensão a inundações é maior nos municípios de Ipojuca e Sirinhaém, devido à presença de áreas mais planas, com cotas mais baixas e solos de mangue, que favorecem a ocorrência desse processo.

O estudo de Esteves *et al.* (2023) obteve resultados semelhantes aos apresentados neste trabalho, com os seguintes valores para a bacia do rio Sirinhaém: área de 2.083,77 km², perímetro de 514,16 km e comprimento axial de 88,26 km. Os índices Kc, Kf, Ic e Re foram, respectivamente, 3,15, 0,27, 0,10 e 0,58, indicando que a bacia não está suscetível a enchentes. Para calcular esses parâmetros, os autores utilizaram Modelos Digitais de Elevação (MDE) provenientes da Missão Topográfica *Radar Shuttle* (SRTM), com resolução espacial de 30

metros. As pequenas variações nos valores entre os estudos podem ser atribuídas ao uso de dados numéricos de diferentes fontes. No entanto, a proximidade entre os valores não compromete a consistência dos resultados.

Características hidrográficas

A compreensão e a caracterização dos padrões de drenagem de uma bacia são fundamentais para o desenvolvimento e o planejamento territorial eficaz (Soares; Galvínio, 2020). Os parâmetros morfométricos relacionados à caracterização hidrográfica da bacia do rio Sirinhaém estão sintetizados na Tabela 2. Os resultados obtidos para o comprimento do rio principal, o comprimento do talvegue do rio principal e o comprimento total da rede hidrográfica foram, respectivamente, 181,14 km, 86,74 km e 1.788,18 km. Esses parâmetros exercem influência direta sobre a densidade de drenagem da bacia, refletindo sua eficiência em termos de drenagem, além de afetar a sinuosidade do rio principal, que pode apresentar um curso mais retilíneo ou sinuoso.

Tabela 10: Características hidrográficas da bacia hidrográfica do rio Sirinhaém

Intervalo	Descrição
Comprimento do canal principal (L)	181,14 km
Comprimento do talvegue do canal principal (Ltal)	86,74 km
Comprimento total da rede hidrográfica (Lt)	1.788,18 km
Densidade de drenagem (Dd)	0,87 km/km ²
Sinuosidade (S)	2,09
Índice de sinuosidade (Is)	52,11 %
Tempo de concentração (Tc)	2.756,51 min. ou 45,94 h

Fonte: Autores

A densidade de drenagem (Dd) da bacia do rio Sirinhaém foi calculada em 0,87 km/km², indicando uma drenagem regular. Segundo Smichowski e Contreras (2022), valores elevados de densidade de drenagem sugerem uma bacia que responde rapidamente a eventos de precipitação extrema, pois o escoamento da água é mais eficiente nessas condições. Em contraste, bacias com densidades de drenagem mais baixas geralmente apresentam solos mais

permeáveis ou mais resistentes à erosão, e relevo mais suave, o que resulta em um escoamento mais lento (Costa; Galvanin; Neves, 2020).

Para a bacia hidrográfica do rio Azul, no Paraná, Souza e Barsi (2024) calcularam uma densidade de drenagem (Dd) de 0,259 km/km², classificando-a como baixa. De acordo com os autores, esse valor sugere que a bacia possui um nível reduzido de escoamento superficial e uma dissecção topográfica pouco acentuada. Por outro lado, ao analisar a bacia hidrográfica do ribeirão do Chiqueiro, em Minas Gerais, Freitas *et al.* (2023) observaram que sua Dd é de 0,58 km/km², o que a classifica como regular. Conforme os autores, esse resultado é compatível com um relevo moderadamente inclinado, com rampas longas e solos profundos, que favorecem a alta capacidade de infiltração da água.

Quanto à sinuosidade (S) do rio principal, o valor obtido foi de 2,09, o que sugere um canal relativamente sinuoso, dado que está próximo de 2,00. O índice de sinuosidade (Is) de 52,11% reforça essa característica, já que valores superiores a 50% indicam uma maior curvatura do rio. A sinuosidade do canal afeta a velocidade do fluxo, sendo que quanto maior a sinuosidade, maior a resistência ao escoamento da água, resultando em velocidades mais baixas. Em comparação, rios retilíneos tendem a apresentar maior velocidade de escoamento devido à menor presença de obstáculos físicos (Lopes *et al.*, 2022).

O estudo de Cavalcante *et al.* (2024) revelou que o rio Coreaú, no Ceará, apresenta o valor de S igual a 1,29, o que indica que seu canal não é retilíneo, mas também não pode ser classificado como sinuoso, caracterizando-o como de forma transitória. Já para o córrego do Chororó, no Paraná, o Is foi de 18, sugerindo que seu canal é bastante retilíneo (Macedo *et al.*, 2023).

O tempo de concentração da bacia foi estimado em 45,94 horas, indicando que a água precipitada leva pouco menos de dois dias para alcançar o exutório da bacia. Mamédio, Castro e Corseuil (2018) destacam que esse parâmetro é fundamental para análises hidrológicas, como a estimativa de vazões máximas. O tempo de concentração está diretamente relacionado à velocidade do fluxo superficial, com bacias de maior tempo de concentração tendendo a apresentar escoamentos mais lentos e menor propensão a enchentes (Ribeiro; Borges; Fernandes, 2022).

Embora existam diversas equações empíricas para calcular o tempo de concentração com base nas características físicas da bacia, como área, declividade e comprimento do rio principal, é importante notar que o tempo de concentração é influenciado por fatores adicionais, como a cobertura do solo, as condições hidráulicas dos canais e a intensidade das chuvas (Mamédio; Castro; Corseuil, 2018). Além disso, bacias urbanizadas tendem a ter um escoamento superficial mais rápido, resultando em um tempo de concentração menor (Queiroz; Alves, 2020).

A classificação dos canais fluviais, um critério fundamental na análise das redes de drenagem, é influenciada por diversos fatores, incluindo a litologia, as estruturas geológicas e as condições fisiográficas da bacia, como topografia, declividade e regime pluviométrico (Teódulo *et al.*, 2024). A bacia do rio Sirinhaém é considerada de sexta ordem (Esteves *et al.*, 2023) segundo a tipologia de Strahler (1957). Em geral, rios de ordens superiores, como o Sirinhaém, o Capibaribe e o Ipojuca, apresentam aumento na largura e profundidade médias dos canais, o que impacta diretamente o fluxo, a organização da rede de drenagem e a diversidade de espécies aquáticas presentes (Marinho *et al.*, 2021; Smichowski; Contreras, 2022).

Características de relevo

O relevo da bacia do rio Sirinhaém está detalhado na Tabela 11. A altitude máxima da bacia é de 712 m, enquanto a mínima é de 0,50 m, resultando em uma amplitude altimétrica de 711,50 m. A altitude da bacia exerce uma influência direta sobre a quantidade de radiação solar recebida, impactando aspectos como a evapotranspiração, a temperatura e a precipitação locais (Peruzzo *et al.*, 2022). Em áreas de menor altitude, a maior incidência de energia solar favorece uma evapotranspiração mais intensa.

Tabela 11: Características do relevo da bacia hidrográfica do rio Sirinhaém

Intervalo	Descrição
Altitude máxima (Hmax)	712 m
Altitude mínima (Hmin)	0,50 m

Amplitude altimétrica (ΔH)	711,50 m
Declividade do rio principal (S1)	3,93 m/km
Declividade do rio principal (S ₁₀₋₈₅)	3,54 m/km
Índice de rugosidade (Ir)	616,37

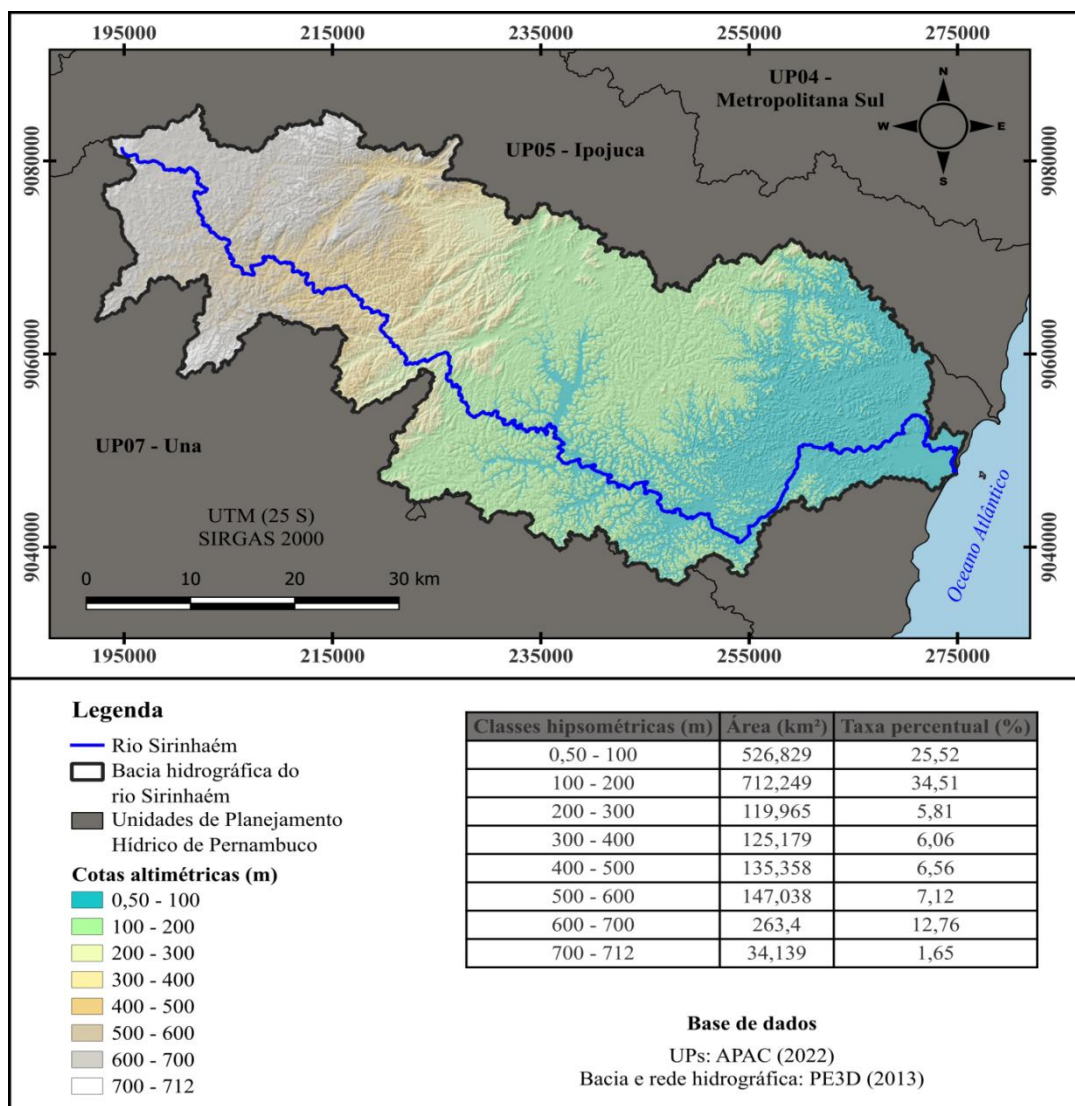
Fonte: Autores

O estudo do relevo é fundamental para a estimativa da velocidade do escoamento superficial na bacia, uma vez que essa variável está diretamente relacionada à energia cinética do relevo (Silva Neto; Rodrigues, 2023). Esse conhecimento permite identificar áreas mais suscetíveis à erosão, avaliar a capacidade de armazenamento de água e determinar a vulnerabilidade a inundações em diferentes regiões da bacia.

A bacia do rio Azul, no Paraná, apresenta uma variação altimétrica considerável, com uma altitude máxima atingindo 489,76 metros, uma média de 365,18 metros e uma altitude mínima de 240,61 metros acima do nível médio dos mares, contribuindo para a complexidade topográfica da região (Souza; Barsi, 2024). Em relação ao relevo da bacia do rio Piranhas, na Paraíba, Alves *et al.* (2023) verificaram que a altitude do local varia de 108,68 a 1186,99 m, sendo que a maior área da bacia possui relevo em torno de 100m, apresentando uma altitude média de 370,09 m.

A Figura 2 apresenta o mapa hipsométrico da bacia do rio Sirinhaém. De acordo com Lopes *et al.* (2018), o mapa hipsométrico de uma bacia hidrográfica demonstra a relação entre o Modelo Digital de Elevação (MDE) e a rede de drenagem, facilitando a identificação das conexões entre os cursos d'água. Quanto à distribuição das classes hipsométricas na bacia do rio Sirinhaém, observou-se que a classe predominante abrange altitudes entre 100 m e 200 m, correspondendo a 34,51% da área total (Figura 2). Essa classe corresponde principalmente ao médio curso da bacia. Em contraste, a classe com menor representatividade, com altitudes maiores que 700 m, ocupa apenas 1,65% da bacia e está localizada na região noroeste.

Figura 2: Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do rio Sirinhaém



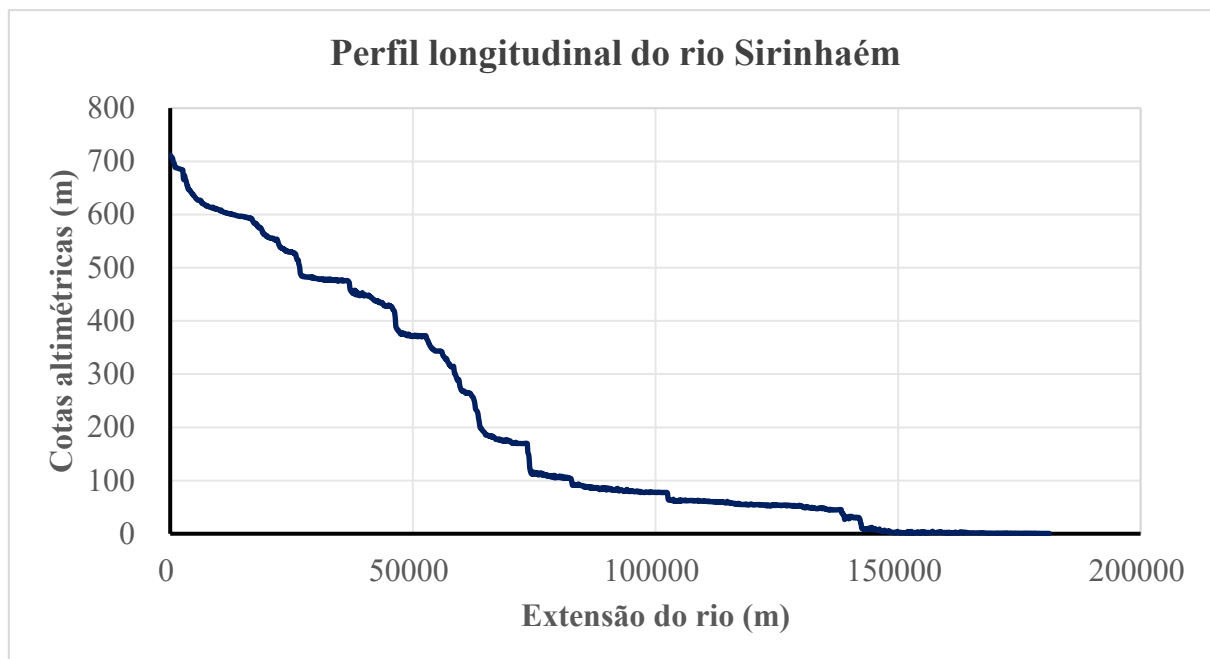
Em relação à declividade do rio Sirinhaém, foram observados valores de 3,93 m/km (S_1) e 3,54 m/km (S_{10-85}), o que o classifica como de declividade suave. A declividade de um rio influencia diretamente a velocidade do escoamento da água; dessa forma, cursos d'água com declividade reduzida apresentam uma velocidade de escoamento menor.

Áreas com declividade acentuada, especialmente quando associadas a solos menos resistentes, realmente favorecem o aumento do escoamento superficial e intensificam os processos erosivos, contribuindo significativamente para o transporte de sedimentos aos cursos

d'água (Han *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2020). Em contrapartida, setores mais planos, com solos de maior permeabilidade, tendem a apresentar maior infiltração e recarga hídrica (Chatterjee *et al.*, 2020; Tao *et al.*, 2021).

Esse comportamento pode ser contrastado, por exemplo, com bacias do Agreste pernambucano, como a do rio Ipojuca, onde a presença de rochas cristalinas e relevos mais dissecados condiciona respostas hidrológicas distintas (Nascimento *et al.*, 2019; Almeida *et al.*, 2022), ou ainda com a bacia do rio Capibaribe, cuja forte urbanização e declividades médias imprimem dinâmicas próprias de escoamento e aporte de sedimentos (Barcellos *et al.*, 2017; Alves *et al.*, 2021). Dessa forma, a análise das características de relevo mostra-se essencial para compreender os resultados obtidos e evidenciar como contextos geológico-geomorfológicos influenciam de forma diferenciada as respostas entre bacias (Huang; Lee, 2021).

O perfil longitudinal do rio Sirinhaém está apresentado na Figura 3. Conforme França e Pinto (2021), a maioria dos rios apresenta uma curvatura côncava, com declividade mais acentuada na cabeceira e suavização em direção à desembocadura, devido ao alargamento dos vales. Essa característica é observada também no perfil do rio Sirinhaém. O perfil longitudinal de um curso d'água é essencial para a análise de seu comportamento, pois possibilita a identificação de possíveis anomalias ao longo de seu percurso. Essa análise é um instrumento fundamental para avaliar o equilíbrio do sistema fluvial e sua capacidade de transporte de sedimentos.

Figura 3: Perfil longitudinal do rio Sirinhaém

O Índice de Rugosidade, conforme Silva *et al.* (2018), é um parâmetro essencial para avaliar o risco de degradação de uma bacia, além de ser importante para caracterizar o relevo da região. Valores elevados desse índice refletem altas densidades de drenagem e amplitude altimétrica, o que indica que as vertentes são alongadas e apresentam declividades acentuadas (Leite *et al.*, 2023). No caso da bacia do rio Sirinhaém, o Índice de Rugosidade (I_r) foi de 616,37, o que sinaliza um elevado risco de degradação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Sirinhaém, localizada no estado de Pernambuco. A metodologia adotada, que utilizou MDEs provenientes de perfilamento a *laser* aerotransportado (LiDAR) em um ambiente SIG, permitiu a obtenção de resultados com alta precisão e resolução espacial.

A análise morfométrica indicou que a bacia do rio Sirinhaém apresenta um formato alongado, com uma rede hidrográfica que apresenta uma capacidade de drenagem regular. O

tempo de concentração, ou seja, o período necessário para que toda a água precipitada atinja o exutório, foi estimado em 45,94 horas. Além disso, o canal principal da bacia apresenta uma tendência sinuosa e uma declividade baixa, o que pode influenciar os processos hidrológicos locais.

A aplicação de técnicas de geoprocessamento revelou-se eficiente, proporcionando praticidade e precisão na determinação das características morfométricas da bacia. A utilização de dados espaciais de alta resolução, obtidos por meio do sensor LiDAR, foi particularmente vantajosa, conferindo maior acuracidade e detalhamento aos resultados. A metodologia empregada demonstrou-se viável, principalmente pela economia de tempo e recursos financeiros que proporcionou.

Conclui-se que o estudo das características morfométricas de uma bacia hidrográfica é uma ferramenta fundamental para a compreensão dos processos hidrológicos de uma região. Além disso, oferece subsídios valiosos para a gestão e o planejamento sustentável dos recursos hídricos, contribuindo para a tomada de decisões mais assertivas e para o desenvolvimento de políticas públicas eficazes.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, G. C.; MONTENEGRO, A. A. A.; CARVALHO, A. A.; LOURENÇO, V. R.; ALMEIDA, T. A. B.; SILVA, M. J. Morphometric characterization of the Alto do Ipojuca hydrographic basin. **Journal Of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 12, n. 3, p. 99-108, 2022.
- ALVES, M. de F. A.; GUIMARÃES, S. A. de C. A.; GOMES, R. A.; VIEIRA, Z. C.; DE ANDRADE, S. N. Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do rio Piranhas na Paraíba, Brasil. **Revista Tecnologia**, v. 44, p. 12, 2023.
- ALVES, R. N.; MARIZ, C. F.; ALVES, M. K. de M.; CAVALCANTI, M. G. N.; MELO, T. J. B. de; ARRUDA-SANTOS, R. H. de; ZANARDI-LAMARDO, E.; CARVALHO, P. S. M.. Contamination and Toxicity of Surface Waters Along Rural and Urban Regions of the Capibaribe River in Tropical Northeastern Brazil. **Environmental Toxicology And Chemistry**, v. 40, n. 11, p. 3063-3077, 2021.

APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Bacia do Rio Sirinhaém**. 2024. Disponível em: <<https://www.apac.pe.gov.br/bacias-hidrograficas-rio-sirinhaem/171-bacias-hidrograficas-rio-sirinhaem/205-bacia-do-rio-sirinhaem>>. Acesso em: nov. 2024.

BARCELLOS, R. L.; FIGUEIRA, R. C. L.; FRANÇA, E. J.; SCHETTINI, C. A.; XAVIER, D. A. Changes of Estuarine Sedimentation Patterns by Urban Expansion: the case of middle Capibaribe Estuary, Northeastern Brazil. **International Journal Of Geosciences**, v. 08, n. 04, p. 514-535, 2017.

CAVALCANTE, A. E. Q. M.; GRIGIO, A. M.; DIODATO, M. A. “Morfometria e diagnóstico físico conservacionista (dfc) em 19 sub-bacias da bacia hidrográfica Apodi Mossoró”. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 7, p. 3891-3909, 2021.

CAVALCANTE, D. R.; BRENO DA SILVA, Í.; DE HOLANDA BASTOS, F.; MONTEIRO NUNES CORDEIRO, A. “Análise dos parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do rio Coreaú, Ceará, BR”. **William Morris Davis - Revista de Geomorfologia**, v. 5, n. 1, p. 12, 2024.

CHATTERJEE, R. S.; PRANJAL, P.; JALLY, S.; KUMAR, B.; DADHWAL, V. K.; SRIVASTAV, S. K.; KUMAR, D. Potential groundwater recharge in north-western India vs spaceborne GRACE gravity anomaly based monsoonal groundwater storage change for evaluation of groundwater potential and sustainability. **Groundwater For Sustainable Development**, v. 10, p. 100307, 2020.

CIRILO, J. A.; ALVES, F. H. B.; SILVA, L. A. C.; CAMPOS, J. H. A. L. Suporte de Informações Georreferenciadas de Alta Resolução para Implantação de Infraestrutura e Planejamento Territorial. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.7, n.4, p. 755-763, 2014.

COSTA, A. A. D.; GALVANIN, E. A. S.; NEVES, S. M. A. S. Análise morfométrica da bacia hidrográfica Paraguai/Jauquara, Mato Grosso - Brasil. **Geosul**, v. 35, n. 74, 483-500, 2020.

CUNHA, E. R.; BACANI, V. M. “Influência da resolução do MDE na caracterização morfométrica de bacia hidrográfica”. **Caderno de Geografia**, v. 29, n. 59, p. 1029-1043, 2019.

ELESBON, A. A. A.; DA SILVA JÚNIOR, J. M.; BENDINELLI, P. V.; DE CASTRO, M. G. L.; DA SILVEIRA CASTRO, F. “Metodologias ativas de aprendizagem aplicadas na mitigação de mudanças climáticas em bacias hidrográficas”. **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, v. 19, n. 55, p. 369-394, 2024.

ESTEVES, L. V.; ESTEVES, A. M. S. L.; DA PAZ, D. H. F.; COUTINHO, A. P. Caracterização Morfométrica e Uso do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Sirinhaém (BHRS), Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 05, p. 2609-2623, 2023.

FERNANDES, V. J. M.; MARTINS, E. F. O.; POZ, A. P. D.; IMAI, N. N. Filtragem de nuvem laser para geração de MDT por krigagem. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, n. 1, p. 196-212, 2017.

FONSECA NETO, G. C.; SILVA JUNIOR, M. A. B.; RODRIGUES, A. B.; RIBEIRO NETO, A.; CABRAL, J. J. S. P. Modelagem Bidimensional para a Verificação Hidráulica da Canalização de um Trecho do Rio Frágoso em Olinda (Pernambuco, Brasil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.6, p. 2963-2977, 2020.

FRANÇA, E. M. S.; PINTO, J. E. S. S. Análise de parâmetros morfométricos na microbacia do riacho Flamengo em Garanhuns, PE. **Caderno de Geografia**, v.31, n.64, p. 208-224, 2021.

FREITAS, A. A. G.; MATOSINHOS, C. C.; BAGGIO FILHO, H.; DE FREITAS, L. G. B. G. “Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão do Chiqueiro, Gouveia-MG, para o entendimento da dinâmica ambiental local”. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 16, n. 10, p. 20138–20153, 2023.

HAN, Z.; WANG, X.; SONG, D.; LI, X.; HUANG, P.; MA, M. Response of soil erosion and sediment sorting to the transport mechanism on a steep rocky slope. **Earth Surface Processes And Landforms**, v. 44, n. 12, p. 2467-2478, 2019.

HORTON, R. E. Drainage basin characteristics. **Transactions American Geophysical Union**, v.13, n.1, p. 350-361, 1932.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v.56, n.3, p. 275-370, 1945.

HUANG, P.; LEE, K. T. Influence of topographic features and stream network structure on the spatial distribution of hydrological response. **Journal Of Hydrology**, v. 603, p. 126856, 2021.

KIRPICH, Z. P. Time of concentration in small agricultural watersheds. **Civil Engineering**, v.10, n.6, p. 362, 1940.

LEITE, R. V.; PEIXOTO, M. N. O.; FREITAS, F.; RAMOS, R. R. C.; ARAÚJO, P. F. C. Caracterização morfométrica da bacia do rio Pirapetinga, Resende - RJ. **Geo Uerj**, n.42, e69217, 2023.

LOPES, I.; RAMOS, C. M. C.; LEAL, B. G. Caracterização morfométrica de bacia hidrográfica no semiárido de Pernambuco através de dados SRTM em softwares livre. **Journal Of Hyperspectral Remote Sensing**, v.8, n.1, p. 31-40, 2018.

LOPES, J. R. A.; BEZERRA, J. M.; ALMEIDA, N. M. D. P.; COSTA, H. C. G.; FERNANDES, G. S. T.; GONÇALVES, G. L.; MENDONÇA, S. S. C.; OLIVEIRA JÚNIOR, M. E. Caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica do Açude Grande no semiárido do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.15, n.1, p. 429-442, 2022.

MACEDO, H. R.; MORSOLETO, F. M. da S.; WERNECK, P. R.; BATISTA, D. C.; DE CARVALHO, A. G. D.; YUNES, R. V. F.; DA SILVA, A. F. C.; LIRA, K. C. da S.;

FRANCISCO, H. R.; CORRÊIA, A. F.; FEIDEN, A. “Caracterização morfológica, uso e cobertura do solo da microbacia hidrográfica do Córrego Chororó, no estado do Paraná, Brasil”. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v. 15, n. 10, p. 10268–10286, 2023.

MAMÉDIO, F.; CASTRO, N.; CORSEUIL, C. Tempo de concentração para Bacias Rurais Monitoradas na Região do Planalto Basáltico no Sul do Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v.15, n.1, 4, 2018.

MARINHO, D. S.; VENDRUSCOLO, J.; VASCONCELOS, T. B.; CAVALHEIRO, W. C. S.; STACHIW, R. Caracterização morfométrica da Sub-bacia do Rio Ribeirão, Amazônia Ocidental, Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.14, n.2, e7225, 2021.

MARTINS, D. D. S.; DE CAMARGO, R. V.; MACIEL, G. F.; SERRA, J. C. V.; JUNIOR, J. C. Z. “Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão das Pedras no município de Palmas–TO”. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica**, p. 377-391, 2021.

MELTON, M. **An Analysis of the Relations Among Elements of Climate, Surface Properties and Geomorphology**. Department of Geology, Columbia University, Technical Report, 11, Project NR 389-042. Office of Navy Research, New York, 1957.

MÜLLER, V. C. A Quantitative Geomorphic Study of Drainage Basin Characteristics in the Clinch Mountain Area, Virginia and Tennessee. **Department of Geology Columbia University**, New York, p. 389-402, 1953.

NASCIMENTO, R. C.; SILVA, Y. J. A. B.; NASCIMENTO, C. W. A.; SILVA, Y. J. A. B.; SILVA, R. J. A. B.; COLLINS, A. L. Thorium content in soil, water and sediment samples and fluvial sediment-associated transport in a catchment system with a semiarid-coastal interface, Brazil. **Environmental Science And Pollution Research**, v. 26, n. 32, p. 33532-33540, 2019.

OLIVEIRA, G. G. **Modelos para previsão, espacialização e análise das áreas inundáveis na bacia hidrográfica do rio Caí, RS**. 2010. 149 p. Dissertação (Mestrado) - Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

PASSOS, F. O.; SILVA, B. C.; SILVA, F. G. B. “Avaliação de impactos de mudanças no uso e manejo do solo sobre as vazões da Bacia Hidrográfica do Ribeirão José Pereira, utilizando o modelo SWAT”. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 02, p. 619-633, 2021.

PESSOA NETO, A. G. “Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Tapacurá, Pernambuco, Brasil”. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 43, p. e200802 , 2023.

PESSOA NETO, A. G.; SILVA, S. R. da; CORRÊA, M. M.; FELIPETTO, H. dos S. “caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Frágoso, Pernambuco, Brasil”. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 18, n. 2, p. 147–169, 2024.

- PEREIRA, J. A. S.; DE QUEIROGA MIRANDA, R.; DE SOUZA, W. M. “Dinâmica hidrossedimentológica na bacia hidrográfica do Rio Sirinhaém relacionando precipitação e processos hídricos”. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 13, n. 11, p. 308-322, 2022.
- PERUZZO, J. S.; SILVINO, G. S.; ARAÚJO, M. C. P.; LEON, M. J.; ARRUDA FILHO, N. T.; LISBOA, F. D. S. Caracterização morfométrica das micro bacias hidrográficas inseridas no município e Itaporanga (PB). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.13, n.3, p. 92-104, 2022.
- PORTELA, B.; ALVES, G. B.; DA SILVA, S. R.; LAFAYETTE, K. P. V. “Análise da vulnerabilidade à inundação na Bacia Hidrográfica do rio Sirinhaém, utilizando o Método de Análise Hierárquica”. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 3, p. 1247-1262, 2023.
- QUEIROZ, M. S.; ALVES, N. S. Aplicação de diferentes fórmulas de tempo de concentração para uma bacia hidrográfica urbana. **Revista Tocantinense de Geografia**, v.9, n.18, p. 219-231, 2020.
- RIBEIRO, K. D.; BORGES, J. P. A.; FERNANDES, D. F. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Alto Rio Formiga, município de formiga, Minas Gerais. **Disciplinarum Scientia | Naturais e Tecnológicas**, v.23, n.2, p. 171–186, 2023.
- RIGHI, E.; TRENTIN, C. B.; TRENTIN, A. B. “Análise geomorfológica sistêmica: aplicação em uma bacia hidrográfica”. **Revista Geoaraguaia**, v. 11, n. Especial, p. 34-54, 2021.
- SAHU, S.; PYASI, S. K.; GALKATE, R. V. “A review on the HEC-HMS rainfall-runoff simulation model”. **International Journal of Agricultural Science and Research**, v. 10, n. 4, p. 183-190, 2020.
- SANTOS, G. D.; MESQUITA, Á. N. S.; JESUS, J. F.; LIMA, C. E. S.; SENA, A. G. “Análise dos impactos ambientais em ambientes hídricos: o caso do rio Sirinhaém na Zona da Mata pernambucana (Brasil)”. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 2, n. 1, 2020.
- 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**, v. 22, p. e17, 2018.
- SEINFRA - Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco – Produto 3 – Relatório Técnico Parcial 1 – Tomo I**. 2020. Recife, Pernambuco.
- SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society Of America Bulletin**, v.67, n.5, p. 597-646, 1956.

SCHUMM, S. A. A tentative classification of alluvial river channels. **US Geological Survey Circular**, 1963, 477 p.

SILVA, G.; ALMEIDA, F.; ALMEIDA, R.; MESQUITA, M.; ALVES JUNIOR, J. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do riacho Rangel-Piauí, Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, v.15, n.28, 244-258, 2018.

SILVA NETO, A. G.; RODRIGUES, F. M. Caracterização espacial e morfométrica da bacia hidrográfica do rio Gavião no sudoeste da Bahia. **Revista Geociências**, v.22, n.2, 34-53, 2023.

SMICHOWSKI, H.; CONTRERAS, F. I. Morphometric analysis of the Santa Lucía river basin (Corrientes, Argentina). **Geographical Journal of Central America**, v.1, n.70, 297-320, 2022.

SOARES, G. A. S.; GALVÍNCIO, J. D. 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**, v.13, n.07, p. 3659–3674, 2020.

SOUZA, A. B.; BARSI, F. V. “Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Azul - PR”. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 16, n. 1, p. 1-11, 2024.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions, American Geophysical Union**, v.38, n.6, 913-920, 1957.

TAO, Z.; LI, H.; NEIL, E.; SI, B. Groundwater recharge in hillslopes on the Chinese Loess Plateau. **Journal Of Hydrology: Regional Studies**, v. 36, p. 100840, 2021.

TEÓDULO, J. M. R.; SILVA, E. V.; TEÓDULO, M. J. R.; CIRINO, C. S. Geomorfometria da bacia hidrográfica do rio Gramame, litoral sul da Paraíba, Nordeste do Brasil. **Research, Society And Development**, v.13, n.8, e0113846502, 2024.

TONIOLO, B. P.; DE OLIVEIRA, R. A.; LOURENÇO, R. W.; DA CUNHA, D. C. “Indicadores morfométricos como instrumento de gestão da bacia hidrográfica do Rio Cotia (SP)”. **Holos Environment**, v. 21, n. 2, p. 282-302, 2021.

VILLELA, S. M., MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, 1975, 245 p.

ZHANG, P.; YAO, W.; LIU, G.; XIAO, P.; SUN, W. Experimental study of sediment transport processes and size selectivity of eroded sediment on steep Pisha sandstone slopes. **Geomorphology**, v. 363, p. 107211, 2020.