

Geomorfometria da bacia hidrográfica do Rio Gramame, litoral sul da Paraíba, Nordeste do Brasil

Geomorphometry of the Gramame River basin, southern coast of Paraíba, Northeast Brazil

Geomorfometría de la cuenca del Río Gramame, costa sur de Paraíba, Noreste de Brasil

Recebido: 22/07/2024 | Revisado: 28/07/2024 | Aceitado: 29/07/2024 | Publicado: 01/08/2024

José Mácio Ramalho Teóduo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5458-4633>
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil
E-mail: teodulomacio@servidor.uepb.edu.br

Edson Vicente da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5688-750X>
Universidade Federal do Ceará, Brasil
E-mail: cacau@ufc.br

Marcos José Ramalho Teóduo

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7614-3080>
Universidade Federal do Pará, Brasil
E-mail: teodulo71@gmail.com

Carlos da Silva Cirino

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4468-3686>
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil
E-mail: carloscirino@servidor.uepb.edu.br

Resumo

A análise do relevo e as características morfométricas de uma bacia hidrográfica são fatores decisivos nos estudos dos padrões e dos processos geomorfológicos. Na atualidade, o uso de Sensores Remotos e a modelagem hidrológica fornece grande quantidade de dados e funções automáticas extraídas de Modelos Digitais de Elevação (MDE) incorporados a um Sistema de Informação Geográfica (SIG), possibilitando investigar processos hidrológicos e características ambientais da paisagem. As análises morfométricas são avaliações quantitativas para a compreensão dos atributos morfológicos da rede de drenagem em relação as formas do relevo e padrão de escoamento da bacia hidrográfica. Auxiliando também na avaliação dos processos morfogenéticos com implicações nas ações ecológicas. Nessa perspectiva, o objetivo principal desta pesquisa foi utilizar variáveis morfométricas para análise e caracterização da bacia hidrográfica do Rio Gramame, localizada no litoral sul, Estado da Paraíba, Nordeste brasileiro. Esses dados têm se mostrado essenciais para o entendimento de processos geomorfológicos e hidrológicos, no âmbito da bacia, ajudando na sua compreensão e estimulando a aplicação de práticas de conservação dos recursos naturais. As cartas topográficas são ferramentas essenciais na investigação de bacias hidrográficas, a partir das informações obtidas dessas e dos valores derivados do MDE foram geradas variáveis morfométricas que dispõem medidas dimensionais e adimensionais, e propriedades geomórficas da bacia de drenagem. Os resultados indicaram um forte controle tectônico na rede de drenagem. Os valores alcançados sugerem que a área de estudo está pouco sujeita a inundações e movimentos de massa de grandes proporções em regimes normais de precipitação.

Palavras-chave: Análises morfométrica; Rede de drenagem; Sensoriamento remoto; Sistemas de informações geográficas.

Abstract

The morphometry and terrain analysis in a watershed are decisive factor in the study of geomorphological pattern and process. Nowadays, the use of Remote Sensing and hydrological modeling provide a huge amount of data and automatic functions extracted from Digital Elevation Models (DEMs) incorporated into a Geographic Information System (GIS), making it possible to investigate hydrological process and environmental characteristics of the landscape. Morphometric analysis is quantitative evaluation that are essential for understanding the morphological attributes of the drainage network in relation to the landform and flow pattern of the watershed. They also help to access morphogenetic process with implication for ecological policies. With this in mind, the main goal of this research was to use morphometric and geomorphological variables to investigate and characterize of the Gramame watershed located on the south coast of the Paraíba state, Northeastern Brazil. These data has proved essential for understanding of geomorphological and hydrological processes within the basin, and also contribute to the stimulating research within a watershed. Topographical sheets are basic tools in the investigation of watershed. Using information obtained from these maps and the values derived from Digital Elevation Model, morphometric variables were generated that include dimensional and

dimensionless measurements as well as geomorphic properties of the drainage basin. The results indicate a strong tectonic control on the drainage network. The value obtained suggests that the study area is not prone to flooding and large-scale mass movements under normal rainfall regime.

Keywords: Morphometric analyses; Drainage network; Remote sensing; Geographic information systems.

Resumen

El análisis del relieve y las características morfométricas de una cuenca hidrográfica son factores decisivos en los estudios de patrones y procesos geomorfológicos. Actualmente, el uso de Sensores Remotos y modelización hidrológica proporciona una gran cantidad de datos y funciones automáticas extraídas de Modelos Digitales de Elevación (MDE) incorporados a un Sistema de Información Geográfica (SIG), posibilitando investigar procesos hidrológicos y características ambientales del paisaje. Los análisis morfométricos son evaluaciones cuantitativas para comprender los atributos morfológicos de la red de drenaje en relación con las formas del relieve y los patrones de flujo de la cuenca del río. Ayudando también a evaluar procesos morfogenéticos con implicaciones para acciones ecológicas. Desde esta perspectiva, el principal objetivo de esta investigación fue utilizar variables morfométricas para analizar y caracterizar la cuenca hidrográfica del río Gramame, ubicada en la costa sur, estado de Paraíba, Nordeste de Brasil. Estos datos han demostrado ser esenciales para comprender los procesos geomorfológicos e hidrológicos dentro de la cuenca, ayudando a comprenderlos y fomentando la aplicación de prácticas de conservación de recursos naturales. Los mapas topográficos son herramientas esenciales en la investigación de cuencas hidrográficas. A partir de la información obtenida de los mismos y los valores derivados del MDE, se generaron variables morfométricas que proporcionan mediciones dimensionales y adimensionales, y propiedades geomórficas de la cuenca de drenaje. Los resultados indicaron un fuerte control tectónico sobre la red de drenaje. Los valores alcanzados sugieren que el área de estudio está poco sujeta a inundaciones y grandes movimientos de masa bajo regímenes normales de precipitación.

Palabras clave: Análisis morfométrico; Red de drenaje; Detección remota; Sistemas de información geográfica.

1. Introdução

Na atualidade, a modelagem dos recursos hídricos tem recebido grande impulso graças aos resultados alcançados pelas tecnologias do Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Essas tecnologias são eficazes para o monitoramento e gestão dos recursos naturais (Arya et al., 2023), e ainda na análise de informações espaciais em bacias hidrográficas (Sondarva et al., 2023). O grande número de aplicações em recursos naturais ilustra o potencial dessas ferramentas para o diagnóstico e a mensuração das paisagens globais. As bacias hidrográficas são consideradas unidades básicas de pesquisa para uma grande variedade de estudos (Cordeiro et al., 2019), entre os quais se destacam os hidrológicos, geomorfológicos, biológicos, econômicos e sociais (Teódulo et al., 2023).

O termo morfometria nesse trabalho, refere-se às análises taxonômicas da estrutura e das formas do relevo. Fazemos esse adendo para evitar equívocos, já que a etimologia do vocábulo (medição da forma) pode ser utilizada por outras ciências como a botânica, zoologia, geologia etc., para estudar a forma de organismos ou de outros materiais. Os estudos morfométricos em bacias hidrográficas estão inseridos no contexto de análise do relevo e modelagem de sistemas ambientais, sendo essencialmente uma forma quantitativa (Morisawa, 1962), que envolve variáveis numéricas para representar as características espaciais dos sistemas geomorfológicos (Christofolletti, 1999). A maioria das avaliações hidrológicas utilizam parâmetros morfológicos para determinar os níveis de escoamento superficial, infiltração e susceptibilidade à erosão na área da drenagem (Arya et al., 2023). As medidas morfométricas fornecem informações valiosas da bacia de drenagem e de seu controle na dinâmica fluvial (Aparna et al., 2015). A eficiência da rede de drenagem é muito importante para a compreensão dos processos de formação do relevo, propriedade física do solo e características da erosão (Sondarva et al., 2023). O cálculo dos parâmetros morfométricos é uma etapa crucial na formulação de hipóteses e estratégias para o planejamento dos recursos hídricos (Shekar & Mathew, 2024), além ainda de sua ampla utilização atualmente de seus indicadores (Reis et al., 2020).

Nessa perspectiva, este artigo tem como objetivo principal fornecer variáveis morfométricas e geomorfológicas para análise e caracterização da bacia hidrográfica do Rio Gramame, auxiliando no planejamento e gestão ambiental das áreas envolvidas. Essas variáveis são extremamente úteis para a análise quantitativa da geometria de uma bacia hidrográfica e podem oferecer subsídios para calcular uma grande variedade de outros parâmetros (Moore et al., 1991). Os valores numéricos,

frequentemente não mostram uma relação espacial explícita, contudo, são importantes, porque além de representar suas singularidades, descrevem processos existentes na paisagem, permitindo identificar problemas potenciais e comparar os resultados com outras áreas de contextos hídricos e geomorfológicos distintos. São ainda fundamentais para o planejamento e gestão em projetos ambientais (Silva et al., 2022).

2. Metodologia

A metodologia aplicada consiste na análise geomorfológica e morfométrica da rede de drenagem e de um Modelo Digital de Elevação (MDE), derivados de dez folhas do mapeamento sistemático brasileiro, elaboradas pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) com escala de 1:25.000 e equidistância das curvas de nível de 10 metros. Após realização do georreferenciamento e mosaico das folhas topográficas, todos os espaços que recobriam a área de estudo foram digitalizados via tela do computador com base no ajuste e manipulação das informações das curvas de níveis e da rede de drenagem presentes nas cartas topográficas, resultando na produção dos arquivos vetoriais e raster. Na determinação dos parâmetros morfométricos selecionados foram utilizados o arquivo vetorial da rede de drenagem, e o das curvas de nível que deu origem ao Modelo Digital de Elevação (MDE) e seus produtos derivados, fornecendo a base para diferentes análises. Essas tarefas foram realizadas no *software* QGIS, 3.28.8. Com o auxílio dessa ferramenta os dados do meio físico passaram a ser manipulados digitalmente proporcionando a rede hidrográfica, o perímetro da bacia, as curvas de nível e ao Modelo Digital de Elevação e arquivos derivados. Os dados resultantes foram então integrados a outros dados, geológicos e geomorfológicos derivados da literatura, da interpretação visual do MDE no Sistema de Informação Geográfica, e de trabalhos de campo.

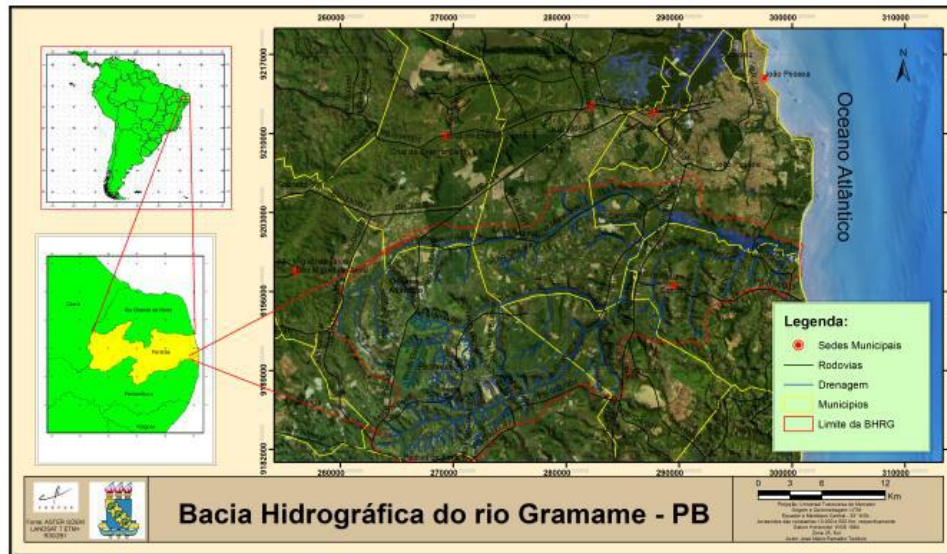
As cartas topográficas forneceram informações valiosas para a descrição morfológica da bacia hidrográfica, além da ótima quantidade e qualidade de informações que ela oferece (Lima, 2016). A extração automática das variáveis morfométrica otimizou as tarefas de análise e produção cartográfica reduzindo o tempo e o custo de mapeamento. Esses métodos paramétricos são interessantes por oferecer um base objetiva na identificação dos parâmetros morfológicos e das variáveis do relevo.

Uma bacia hidrográfica é uma área de captação e escoamentos das águas pluviais que caem sobre a sua superfície, coletando e transportado águas e sedimentos por meio de um rio principal e seus afluentes, convergindo esses materiais para um único ponto de saída denominado de enxutório. Os métodos geomórficos quantitativos possibilitam a análise e caracterização da bacia de drenagem e medições de parâmetros morfométricos lineares e aeriais, auxiliando a comparação entre diferentes ambientes e regimes hidrológicos, são considerada de imensa utilidade na avaliação de bacias (Chalapathi & Inayathulla, 2022).

As análises morfométricas foram introduzidas por Horton (1932) para estudar processos hidrológicos em leitos fluviais e suas bacias de drenagem. Posteriormente, Strahler (1952), desenvolveu métodos quantitativos para medir atributos de tamanhos e formas em bacias de drenagem. O referido autor, distinguiu duas classes gerais de parâmetros descritivos das formas de relevo, os quais chamou de medidas em escala linear, através das quais unidades topográficas geometricamente análogas podem ser comparadas quanto ao tamanho; e a segunda classe utiliza grandezas adimensionais, geralmente valores de angulos ou medidas de comprimentos do raio, através dos quais as de formas de unidades análogas podem ser comparadas independentemente da escala absoluta das formas topográfica considerada (Strahler, 1957).

A bacia hidrográfica do Rio Gramame está localizada no litoral sul do Estado da Paraíba, entre as coordenadas UTM: 259000 mE; 9216000 mN e 304000 mE e 9184000 mN (Zona 25, Sul). Possui uma área total de 589,62 km², abrangendo os Municípios de João Pessoa, Santa Rita, Conde, Alhandra, Pedras de Fogo, Cruz do Espírito Santo e São Miguel do Taipu. Composta por quatro sub-bacias: Gramame, Mumbaba, Mamuaba e Boa Água. O rio principal possui um comprimento aproximado de 60 km desde as nascentes até sua foz na praia de Barra de Gramame, limite natural entre os municípios de João Pessoa e Conde – PB, conforme pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Bacia hidrográfica do Rio Gramame, PB.



Fonte: Teódulo (2014),

3. Resultados e Discussão

A área total da bacia corresponde a todo o espaço drenado pelo sistema fluvial e projetado em um plano horizontal. A bacia hidrográfica do Rio Gramame perfaz um total de 589,62 km². O perímetro de uma bacia hidrográfica é a distância alcançada pelos divisores de águas e cujo comprimento estabelece os limites entre bacias de drenagem. O perímetro (P) registrado para a área de estudo foi de 122,80 km. A forma de uma bacia é uma das características geométricas mais importantes, podendo influenciar na quantidade de água que é captada pela mesma, refletindo também no tempo que a água leva para escoar os divisores de drenagem até seu exutório. Diferentes índices geomórficos são utilizados para analisar a forma de uma bacia hidrográfica. O índice utilizado nesse trabalho foi definido pela relação entre a área total da bacia hidrográfica dividido pelo eixo axial da bacia, determinado pela seguinte equação:

$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

Onde:

A = área total da bacia;

L² = Comprimento do eixo axial ao quadrado.

O valor encontrado para a bacia do Rio Gramame foi de 0,26. De acordo com Villela e Mattos (1975), uma bacia com um fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com fator de forma maior. No oeste da bacia a forma é aproximadamente circular, no entanto, à medida que se aproxima do exutório, a bacia vai se alongando e adquirindo uma forma mais elíptica, assemelhando-se a um leque, facilitando o escoamento e uma melhor distribuição das águas em seu ponto de saída e diminuindo a possibilidade de enchentes.

O coeficiente de compacidade (Kc), elaborado por Horton (1945) define a relação entre o perímetro da bacia e o raio de um círculo cuja área é a mesma da bacia. O coeficiente de compacidade foi determinado com base na seguinte equação:

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Onde:

P = Perímetro da bacia em Km;

r = Raio do círculo utilizado como base em Km.

Este coeficiente é um número adimensional que pode variar com a forma da bacia, indiferentemente do seu tamanho, e quanto maior for o valor encontrado, mais irregular será a forma da bacia, Villela e Mattos (1975). O valor alcançado para a área de estudo foi de 1,41, o qual julgamos baixo, próximo ao mínimo. De tal modo que em condições normais de regime hídrico e considerando a homogeneidade da cobertura vegetal, a bacia estaria pouco sujeita a inundações de grandes proporções.

O índice de sinuosidade elaborado por Horton (1945), expressa a relação à distância da desembocadura do rio principal e sua nascente mais afastada, medido em linha reta. O cálculo utilizado para determinação deste índice é representado pela seguinte equação:

$$IS = \frac{L}{D_v}$$

Onde:

L = Comprimento do canal principal em Km;

D_v = Distância em linha reta entre os limites extremos do canal em Km.

O índice de sinuosidade é essencial para análise da drenagem, pois ele determina se os canais são retos ou possuem elevadas sinuosidades. Para a bacia hidrográfica do Rio Gramame, o valor encontrado foi de 1,25. Atribuindo a rede de drenagem muitas anomalias com vários tributários apresentando canais pouco sinuosos, embora no baixo curso tenha sido identificados no rio principal trechos com meandros próximos a sua foz.

A densidade hidrográfica (D/h) é um parâmetro proposto por Horton (1945) para estabelecer a relação existente entre o número total de cursos d'água de uma bacia hidrográfica, e a área total da bacia. Este parâmetro representa o comportamento da rede hidrográfica em alguns dos aspectos essenciais, como por exemplo, a habilidade de criar novos tributários. Representando um índice formidável da escala linear do elemento do relevo em um bacia de drenagem. A densidade hidrográfica para a bacia do Rio Gramame foi calculada pela equação:

$$DH = \frac{N}{A}$$

Onde:

N= Número total dos canais de drenagem;

A= Área total da bacia hidrográfica em Km².

Este índice encontrado para a bacia do Rio Gramame correspondeu ao valor de 0,43, o que indica uma densidade hidrográfica relativamente modesta, de baixa amplitude quando comparada com a bacia vizinha do Rio Paraíba.

A densidade dos canais de drenagem é um parâmetro estabelecido por Horton (1945) para determinar a relação entre o comprimento total dos cursos d'água de uma bacia hidrográfica e a área ocupada pelos canais de drenagem. Devido à sua ampla

razão de variação, “a densidade da drenagem é um número de importância primária nas análises do relevo” (Strahler, 1957, p. 917). A densidade dos canais de drenagem para a bacia do Rio Gramame foi calculada com base na equação:

$$Dd = \frac{L}{A}$$

Onde:

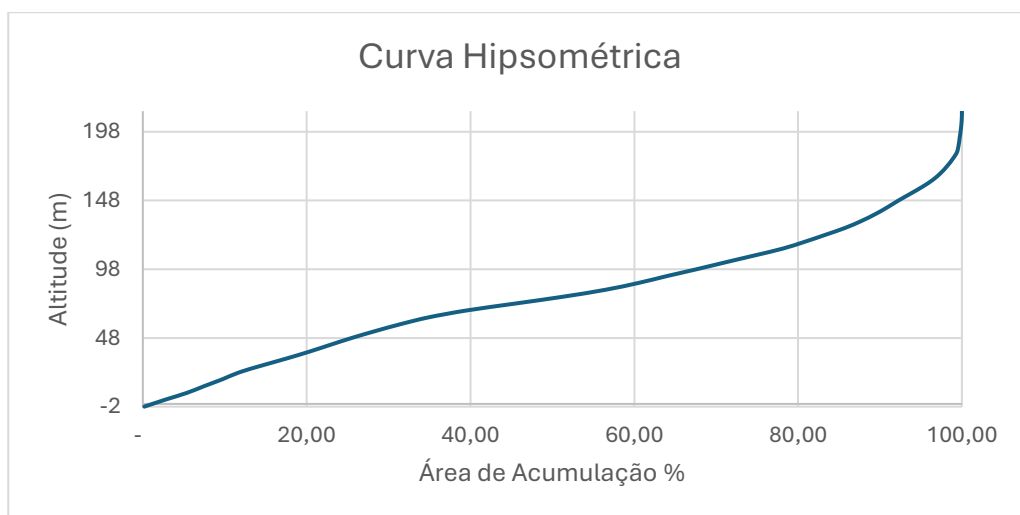
L = Comprimento total dos canais de drenagem em Km;

A = Área total da bacia em km².

Na bacia hidrográfica do Rio Gramame, o valor encontrado para a densidade da drenagem foi modesto, 0,76 km/km². Este valor indica uma bacia com densidade de drenagem de baixa a moderada, resultante da suave declividade das encostas e ao grande volume de rochas permeáveis e mal consolidadas.

A curva hipsométrica é uma representação gráfica que exhibe a diferença altimétrica entre o ponto de maior altitude da bacia, eixo da ordenada (y) e o ponto de altitude mínima, nível de base da erosão, eixo da abscissa (x). Esse perfil oferece uma visão de síntese do relevo da bacia e é muito útil na comparação entre os diferentes setores e as formas da rede de drenagem. Auxilia também na estimativa da precipitação média e pode fornecer informações valiosas sobre o comportamento hidrológico. Strahler (1956b) demonstrou a relação existente entre a forma da curva hipsométrica e o estágio de evolução geomorfológica. Para a bacia hidrográfica do Rio Gramame a curva hipsométrica foi calculada com base no espaçamento de 10 metros entre as curvas de nível e os valores representado em percentuais, facilitando os estudos comparativos com outras bacias de drenagem independentes do tamanho ou da escala trabalhada (Figura 2).

Figura 2 - Curva hipsométrica da bacia hidrografia do Rio Gramame.



Fonte: Autores (2024).

Tomando como referência os dados encontrados na curva hipsométrica pode-se inferir que a área de estudo possui altitudes modestas com elevações médias em torno de 80 metros. O relevo apresenta desníveis variáveis com compartimentos ondulados, alto curso do Rio Gramame (domos da Embratel e Santa Emília), suaves onduladas no médio curso (chapadas pouco nítidas, morrentes e colinas) e planas no baixo curso (graben, terraços e planícies alivias).

A hierarquia dos canais de drenagem, Figura 3, é um dos primeiros passos para a análise geomorfológicas de bacias hidrográficas. Fornece um meio para classificar os níveis hierárquicos dos tributários pertencentes a uma determinada rede de drenagem. A utilidade deste parâmetro deriva da premissa de que o número de ordem é diretamente proporcional ao tamanho dos canais e as dimensões relativas da bacia (Strahler,1957), porque este valor é adimensional, duas bacias de drenagem com diferenças marcantes na escala linear podem ser equiparadas com respeito a pontos correspondentes em suas geometrias. Na bacia hidrográfica do Rio Gramame, a ordem hierárquica dos canais fluviais foi obtida com base nos critérios definidos por Strahler (1957).

Nesses critérios os canais sem tributários são denominados de primeira ordem, os seguimentos de segunda ordem são caracterizados pela confluência de dois canais de primeira ordem. Os canais de terceira ordem são compostos pela confluência de dois canais de segunda ordem, e assim sucessivamente. A ordem dos canais pode ser utilizada para descrever conectividades dentro da rede de drenagem denotando relações hierárquicas entre os canais e permitindo classificar a bacia de acordo com o seu tamanho.

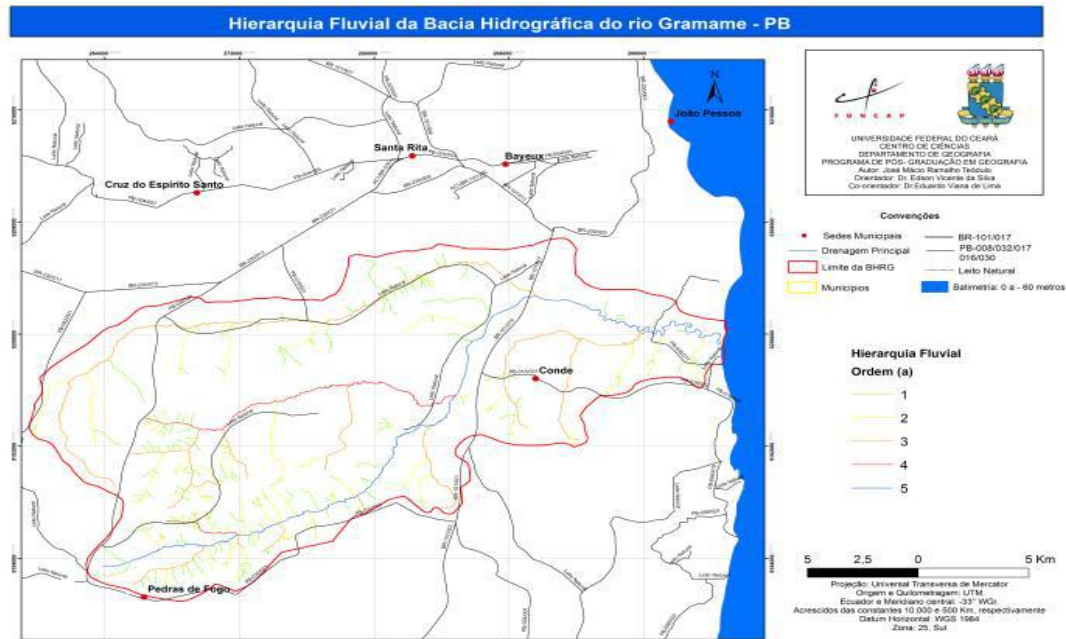
Os tributários de 1ª ordem representam as cabeceiras de drenagem, o canal principal do Rio Gramame alcança a 5ª ordem, apresentando-se ramificado com os Rios Mamuaba de 4ª ordem e Mumbaba de 3ª ordem. Medidas de comprimento dos canais são básicas para estudos morfométricos por serem cruciais no estabelecimento da variância estatística dos dados (Tabela 1).

Tabela 1 - Ordem hierárquica e comprimento da drenagem.

Ordem Hierárquica	Quantidade de canais drenagem	Comprimento médio em Km	Comprimento total em Km
1ª	184	0,73	134,58
2ª	52	2,20	114,84
3ª	15	7,70	115,52
4ª	2	15,02	30,04
5ª	1	29,75	59,51

Fonte: Teódulo (2014).

Figura 3 - Mapa de hierarquia fluvial da Bacia Gramame.



Fonte: Teófilo (2014).

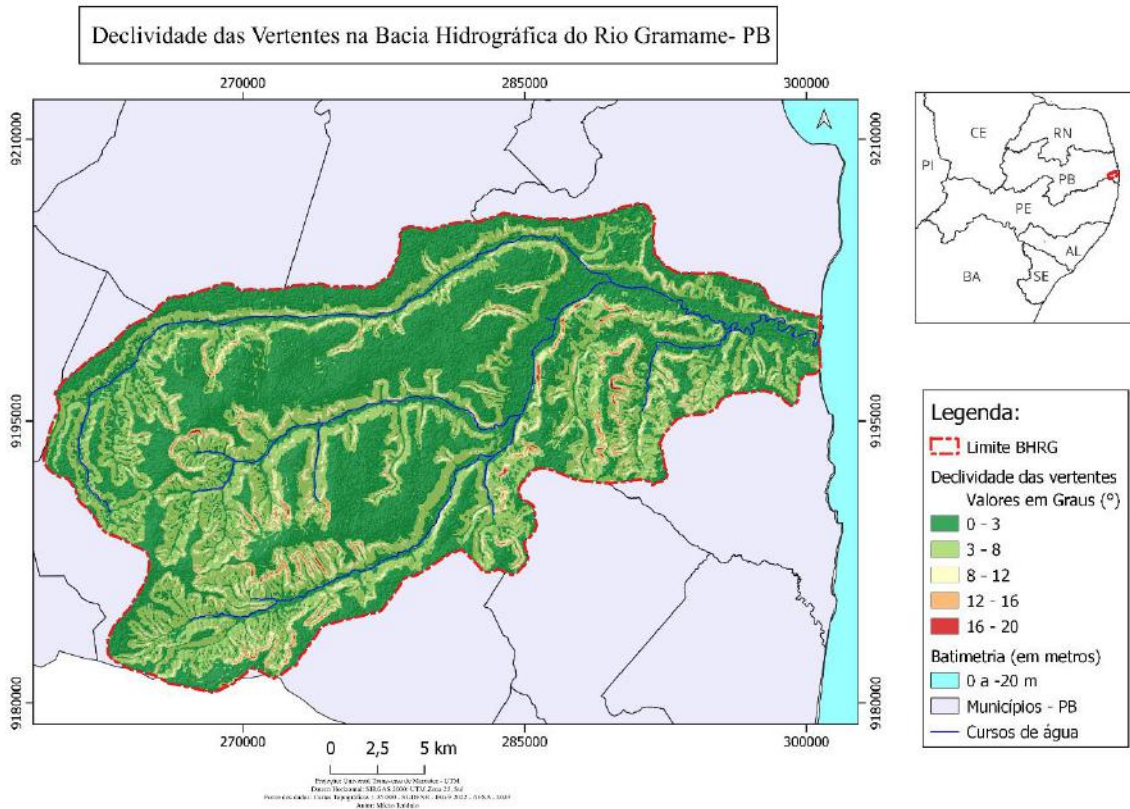
A ordenação dos canais fluviais é um critério básico na investigação da rede de drenagem (Figura 3). Essa configuração é dependente de uma grande variedade de fatores (litologia, estruturas geológicas, tectônica etc.), e condições fisiográficas (topografia, declividade, regime pluvial, entre outros).

Seguindo o método indicado por Strahler (1957), a classificação da ordem dos canais fluviais começa com os menores afluentes, aqueles que não recebem contribuição de nenhum outro tributário, designados como de primeira ordem, na confluência de dois canais de primeira ordem forma-se um segmento de segunda ordem, na junção de dois canais de segunda ordem constitui-se um segmento de terceira ordem e assim por diante. O canal principal através do qual todas as águas e sedimentos captado pela rede de drenagem são descarregadas no enxutório constitui-se o canal de maior ordem.

Pela análise da contagem do número total de canais fluviais na bacia hidrográfica do Rio Gramame, verifica-se que embora a quantidade e os comprimentos médios dos tributários de primeira, segunda e terceira ordem, sejam bem diferentes, eles matem uma relação proporcional entre os valores de comprimento total da drenagem, sugerindo que o número de ordem e o tamanho dos canais de drenagem está proporcional a dimensão relativa da referida bacia hidrográfica. Percebe-se também que o número de segmento da drenagem diminui com o aumento da ordem hierárquica.

A declividade das vertentes é a mudança da inclinação das encostas com relação ao plano horizontal, é um dos parâmetros mais importantes no planejamento e gestão dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica e também são a base para outros tipos de análise de terreno. As declividades das vertentes influenciam consideravelmente no escoamento superficial, controlando a velocidade de escoamento das águas que compõem a rede de drenagem, comandando a ação dos agentes erosivos e morfogenéticos. As classes de declividade definidas para a área de estudo foram expressas em graus sendo classificados como: relevo plano: 0° – 3° correspondentes às planícies aluviais e topos de planaltos, suave ondulado: 3° – 8° encostas e terraços fluviais, relevo ondulado: 8° – 12° colinas e morros, os relevos forte ondulados 12° - 16°, e as declividades acima de 20° correspondem às escarpas e maciços residuais. A distribuição espacial das declividades das vertentes na bacia hidrográfica do rio Gramame, apresentada na Figura 4.

Figura 4 - Declividade das vertentes na bacia hidrográfica do Rio Gramame.

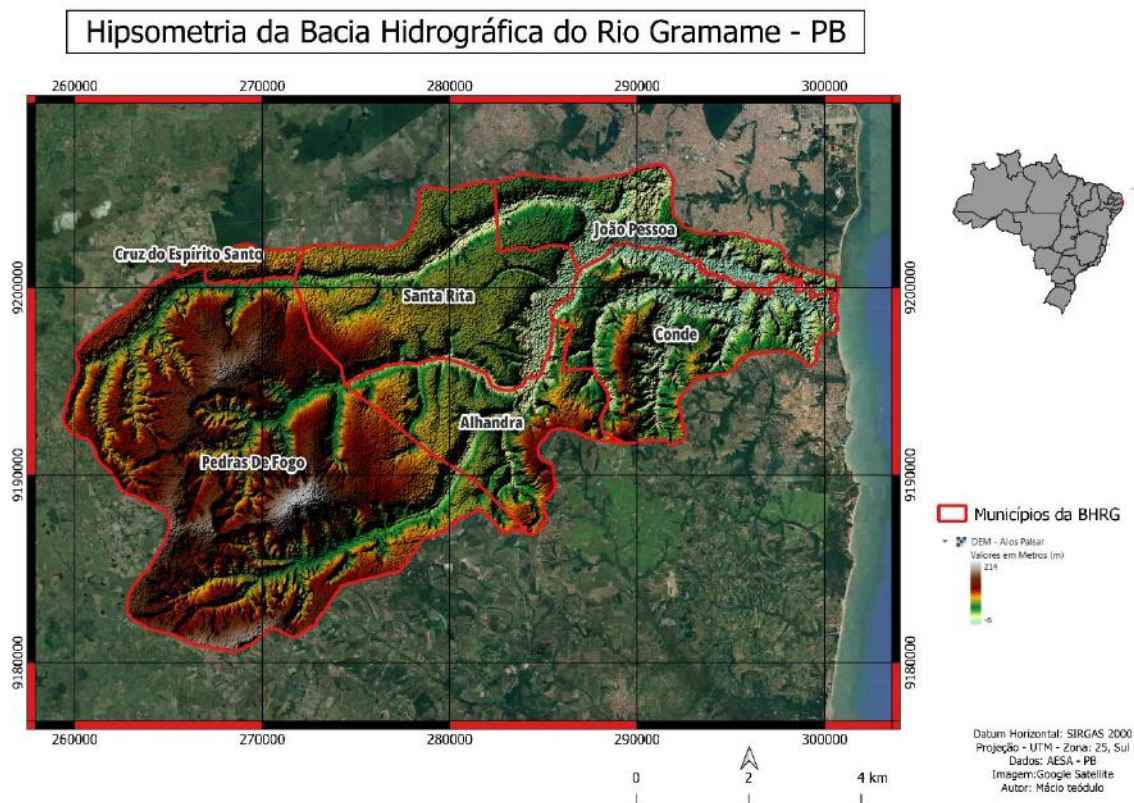


Fonte: Autores (2024).

A hipsometria é uma representação gráfica das medidas altimétricas de uma superfície contínua. Uma das formas mais comuns de elaboração de modelos hipsométricos em bacias hidrográficas é a extração automática a partir de um arquivo vetorial das curvas de nível ou isoípsa dando origem a um arquivo raster onde as altitudes são armazenadas em uma matriz constituída por células regulares (pixels). Essa técnica de descrição do relevo permite uma caracterização morfológica consistente da área de estudo, auxiliando em tarefas de planejamento e gestão, ao inferir as áreas de maior probabilidade a inundações, movimentos de massa, erosão e deposição.

O modelo gerado possibilitou a composição do relevo dentro da área de estudo, distinguindo as superfícies de acumulação: praias, planícies aluviais e fluviomarinha, e as superfícies de dissecação: tabuleiros, colinas, morros e serras. A amplitude altimétrica é de 210 metros (Figura 5).

Figura 5 - Mapa Hipsométrico da bacia Gramame.



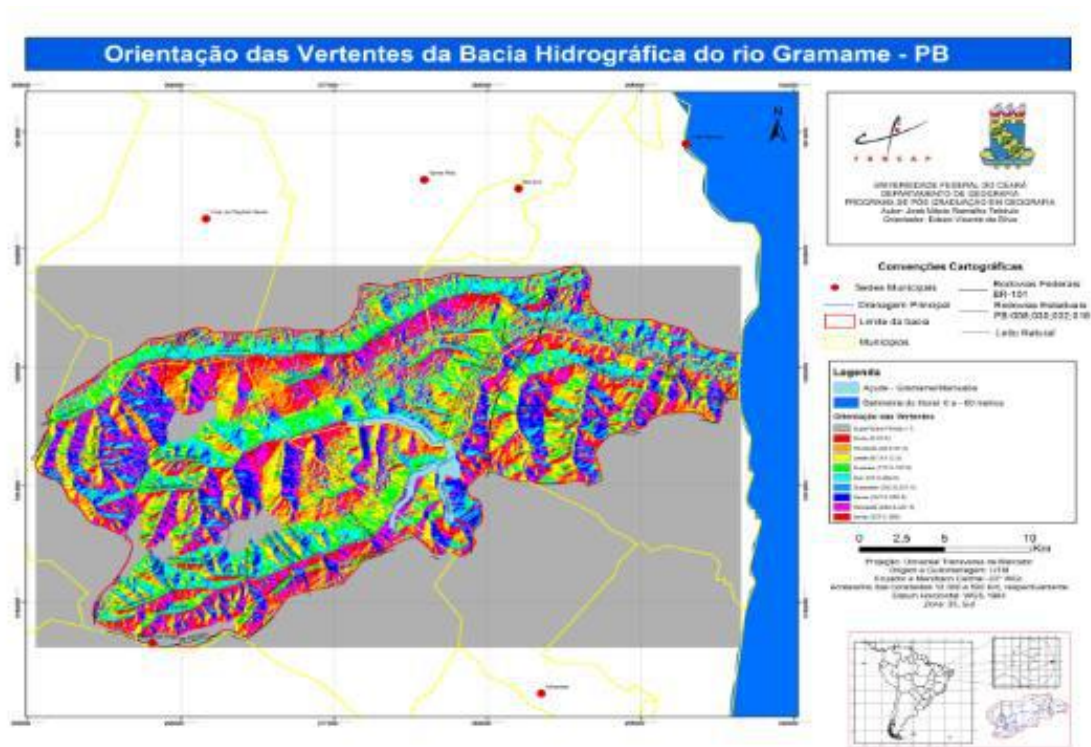
Fonte: Autores (2024).

Na análise das características geomorfológicas foram encontradas evidências de movimentos epirogenéticos na bacia, o que pode justificar o soerguimento diferencial dos blocos e consequentemente ter influenciado nos processos de erosão e deposição. Como os “horts” dos Rios Mumbaba e Gramame; e o “graben” do Rio Mamuaba. Associados a deslocamentos verticais provavelmente posteriores ao Plioceno (Brito Neves et al., 2009).

A orientação das vertentes representa um dos principais elementos na resposta aos processos hidrológicos, geomorfológicos e biogeográficos dentro de uma bacia hidrográfica. Estas características são os principais determinantes na direção do escoamento das águas, e na quantidade de insolação recebida em uma área, e consequentemente na evapotranspiração, por essa razão afeta a temperatura da superfície do solo e as camadas superficiais do regolito. Este atributo tem sido utilizado para localizar as zonas de saturação de água no solo, as áreas de erosão laminar e concentrada (Moore et al., 1991).

Para a área de estudo foram estabelecidas nove situações de exposição. Oito considerando cada direção principal da bússola N, Ne, E, Se, S, Sw, W, NW, e uma para representar as superfícies planas e/ou indiscriminadas. Essas direções apontam diferenças significativas nos solos e na vegetação entre as vertentes viradas para o norte (distal) e para o sul (proximais), bem como a sotavento e barlavento. As cores quentes representam as vertentes que recebem maior quantidade de radiação solar, enquanto as cores frias correspondem às vertentes de menor exposição ao sol. Com uma observação mais atenta, percebe-se que as vertentes com orientação no sentido leste e sul, no hemisfério sul, recebem menos insolação, consequentemente são mais úmidas, e também, consequentemente as temperaturas do solo são mais amenas do que nas vertentes voltadas para oeste e norte, isso ocorre em resposta à inclinação de $23,5^\circ$ do eixo axial da Terra em relação ao sol. Esse detalhe pode favorecer ao surgimento de variações suaves, decorrentes das diferenças hídricas e térmicas locais, e podem promover alterações nas propriedades dos solos, tais como cor, textura, teor de matéria orgânica etc. A orientação das vertentes com seus respectivos valores está apresentada na Figura 6.

Figura 6 - Orientação das vertentes da Bacia Hidrográfica do rio Gramame.



Fonte: Teódulo (2014).

4. Conclusão e Sugestão

Uma descrição das propriedades básicas do relevo é frequentemente o ponto de partida para a explicação dos processos geomorfológicos e seus atributos topográficos. A extração automática das variáveis morfométricas derivadas do Modelo Digital de Elevação mostrou-se eficiente na análise e caracterização da bacia hidrográfica, permitindo identificar o controle estrutural sobre a área de estudo e apresentar suas características geométricas e geomorfológicas, contribuindo assim para a análise processual e das propriedades geomórficas resultantes. É valiosa também na comparação entre diferentes ambientes hidrológicos porque mostra as inter-relações entre os diversos atributos de superfície, o que pode ser relevante na previsão dos modelos teóricos.

A rede de drenagem apresenta uma forte assimetria e baixa densidade nos afluentes dos Rios Gramame, Mamuaba e Mumbaba. Os valores de referência permitem concluir que a bacia hidrográfica do Rio Gramame possui dimensões modestas e forma aproximadamente circular a oeste e elíptica a leste, o que facilita o escoamento e limita as inundações e os movimentos de massa de grandes proporções. A abordagem adotada neste trabalho demonstra que a modelagem dos processos hidrológicos e geomorfológicos representa uma grande contribuição ao planejamento ambiental, podendo servir de base para compor estimativas das áreas de erosão e sedimentação, além de permitir uma impressão rápida, mais eficiente da variabilidade espacial de diferentes processos dentro da área de estudo.

Esse trabalho pode servir de referência para fomentar futuras análises com diferentes parâmetros morfométricos, bem como, estudos comparativos em ambientes hidrológicos e geomorfológicos distintos. Em tal caso, as informações aqui reveladas podem fornecer discernimentos valiosos a gestores, planejadores, órgãos reguladores e tomadores de decisão acerca da conservação e do uso sustentável dos recursos disponíveis.

Referências

- Aparna, P., Nigee, K., Shimna, P. & Drissia, T. K. (2015). Quantitative analysis of geomorphology and flow pattern analysis of Muvattupuzha River Basin using Geographic Information system. *Journal Aquatic Procedia*, 4, 609–616.
- Arya, M., Deepak & Rawat, J. S. (2023). Study of drainage system and its hydrological implications using geo-spatial techniques: A morphometric analysis in muthugad watershed of grahwal Himalya, uttarakhand. *Int. J. Adv. Res.*, 11(05), 1563-1573.
- Brito Neves, B. B., Coutinho, J. M. V., Albuquerque, J. P. T. & Bezerra, F. H. R. (2009). Novos Dados Geológicos e Geofísicos para a Caracterização Geométrica e Estratigráfica da Sub-bacia de Alhandra (Sudeste da Paraíba). *Revista do Instituto de Geociências - USP Geol. USP, Sér. cient.*, 9(2), 63-87.
- Chalapathi, K. & Inayathulla, M. (2022). Quantitative morphometric analysis of kolar taluk watershed using rs and gis techniques. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 9(1), 76-81.
- Christofoletti, A. (1999). *Modelagem de Sistemas Ambientais*. São Paulo: Edgard Blucher.
- Cordeiro, T. S., Abreu, H. A. de, Silva, P. R. da, Muller, R. F. M., Alvarenga, D. F., Portilho, D. B., Cordeiro, J. & Cordeiro, JL (2019). Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão Candidópolis, Itabira (MG). *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, 8 (1), e1581529. <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i1.529>
- Horton, R. E. (1932). Drainage basin characteristics. *Trans. American. Geophysics Union*, 13, 350-361.
- Horton, R. E. (1945) Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrographical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56(2), 275-370.
- Lima, V. F. (2016). *Estudo neotectônico e geomorfológico em margem continental passiva: um estudo de caso na carta topográfica Rio Mambuaba 1:25.000. (Dissertação de Mestrado)*. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, Brasil.
- Moore, I. D., Grayson, R. B. & Ladson, A. R. (1991). Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological, and biological application. *Hydrological Processes*, 5(1), 3-30.
- Morisawa, M. E. (1962). Quantitative geomorphology of some watersheds in the Appalachian Plateau. *Geol. Soc. Am., Bull.*, 73(9), 1025-49.
- Reis, B. C., Dias, D. A. F. & Vieira, E. M. (2020). Análise morfométrica integrada e ocupação em pequena bacia de drenagem: Estudo de caso do córrego Santa Maria, Conceição de Ipanema-MG. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, 9(10), e3359108464. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8464>
- Shekar, R. P. & Mathew, A. (2024). Morphometric analysis of watersheds: A comprehensive review of data sources, quality, and geospatial techniques. In: *Watershed Ecology and Environment*, 6, 13-24.
- Silva, J. F. M. da, Celestino, E. F., Souza, G. H. B. de, Obeso, M. P., Makrakis, M. C. & Makrakis, S. (2022). Avaliação múltipla em bacias hidrográficas de grande porte. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, 11(2), e42811225698. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i2.25698>
- Sondarva, K.N., Jayswal, P.S. & Dhodia, J. (2023). Morphometric analysis of shel dedumal watershed using remote sensing remote sensing and GIS. *J. agric. Sci.*, 19(1), 193-199. 10.15740/HAS/IJAS/19.1/193-199.
- Sondarva, K. N., Shrivastava, P. K., Jayswal, P. S., Lakkad, A. P. & Patel, V. A. (2023). Basic Morphometric Analysis of Watershed or River Basin Using GIS: A Review. In: *Asian Jr. of Microbiol. Biotech. Env. Sc.* 25 (3), 474-478.
- Strahler, A. N. 1952. Hypsometric analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*. 63, 1117–1142.
- Strahler, A. N., 1956. The nature of induced erosion and aggregation. In W. L. Thomas (Ed.) *Man's Role in Changing the Face of the Earth*. Chicago-Illinois.
- Strahler, A. N. (1957). Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *Trans. American. Geophysical. Union* 38, 913–920.
- Superintendência de desenvolvimento do Nordeste – SUDENE. Retirado em junho, 2024, de <https://www.gov.br/sudene/pt-br>
- Teódulo, J. M. R. (2014). *Geoecologia das paisagens na bacia hidrográfica do Rio Gramame - PB com auxílio de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas* (Tese de Doutorado). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil.
- Teódulo, J. M. R., Silva, E. V. da, Cirino, C. da S., & Teódulo, M. J. R. (2023). Avaliação climática na bacia do Rio Gramame, Estado da Paraíba, Brasil. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, 12 (13), e51121344091. <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i13.44091>
- Villela, S. M. & Mattos, A. (1975). *Hidrologia aplicada*. McGraw-Hill do Brasil.