

ANÁLISE DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PREGUIÇAS-MA, BRASIL

Idevan Gusmão Soares¹
Regina Célia de Oliveira²
Luiz Carlos Araujo dos Santos³

Resumo: A morfometria é uma ferramenta importante na compreensão das características geomorfológicas e hidrológicas de bacias hidrográficas, compreendendo medições e análises matemáticas simples que explicam as investigações acerca da drenagem, formação do relevo, das características da erosão, do escoamento superficial e pode constituir na adequação do manejo do uso e ocupação da terra e cobertura vegetal, com base nessas características, garantir a sustentabilidade e influenciar no bem estar dos seres vivos. Portanto, neste estudo, o objetivo central foi analisar a morfometria da bacia hidrográfica do rio Preguiças, com base em técnicas de geoprocessamento, no intuito de melhor entender a dinâmica hidrográfica. A análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Preguiças foi realizada a partir das características geométricas, de relevo e das características da rede de drenagem e aplicação da técnica de geoprocessamento. Os resultados atestam que a bacia em estudo tem condições naturais a uma conservação. Evidenciada pela baixa tendência à ocorrência de enchentes em condições normais de precipitação e não favorável à concentração do fluxo fluvial. Quanto à drenagem, por sua vez, demonstra maior infiltração, dificuldades para formação de canais decorrente dos resultados do coeficiente de manutenção e densidade de drenagem.

Palavras-chave: Morfometria; Bacia hidrográfica; Rio Preguiças; Densidade de drenagem.

ANALYSIS OF MORPHOMETRIC INDEXES OF THE PREGUIÇAS RIVER-MA WATER BASIN, BRAZIL

Abstract: Morphometry is an important tool in understanding the geomorphological and hydrological characteristics of river basins, comprising measurements and simple mathematical analyzes that explain investigations into drainage, relief formation, erosion characteristics, surface runoff and can constitute the adequacy management of land use and occupation and vegetation cover, based on these characteristics, guarantee sustainability and influence the well-being of living beings. Therefore, in this study, the central objective was to analyze the morphometrics of the Preguiças river basin, based on geoprocessing techniques, in order to better understand the hydrographic dynamics. The morphometric analysis of the Preguiças River hydrographic basin was carried out based on the geometric characteristics, relief and characteristics of the drainage network and application of the

¹ Doutorando em Geografia - Instituto de Geociências/Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. E-mail: j203560@dac.unicamp.br

² Profa. Dra. do Programa de Pós-Graduação em Geografia – UNICAMP. E-mail: reginacoliveira@ige.unicamp.br

³ Prof. Dr. do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA. E-mail: luizcarlos.uema@gmail.com

geoprocessing technique. The results attest that the basin under study has natural conditions for conservation. Evidenced by the low tendency for floods to occur under normal precipitation conditions and not favorable to the concentration of river flow. As for drainage, in turn, it demonstrates greater infiltration, difficulties in the formation of channels resulting from the results of the maintenance coefficient and drainage density.

Keywords: Morphometrics; Hydrographic basin; Preguiças River; Drainage density.

INTRODUÇÃO

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um procedimento executado nas análises hidrológicas e/ou ambientais visando clarificar questões sobre o entendimento das dinâmicas, locais e regionais, da infiltração, da quantidade de deflúvio, da evapotranspiração e do escoamento superficial e subsuperficial associando aos elementos físicos e bióticos de uma bacia. Essa caracterização serve como instrumento para aplicações quantitativas relacionadas aos recursos hídricos e à dinâmica ambiental, possibilitando o melhor gerenciamento e aproveitamento dos recursos naturais e das limitações quanto aos usos (SILVA *et al.*, 2018).

Os aspectos morfométricos são importantes condicionantes do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas. Assim, por meio da análise morfométrica, é possível compreender, através de um conjunto de variáveis, as quais relacionam um rol de características geográficas, a dinâmica da bacia como um todo, inclusive seus diferentes compartimentos e a sua fragilidade natural. Além disso, este tipo de análise é um importante recurso para caracterizar e identificar a dinâmica de um sistema fluvial no âmbito geomorfológico, pois os cursos de água constituem elemento morfogenético dos mais ativos na esculturação da paisagem terrestre (ALVES *et al.*, 2020).

A morfometria é uma ferramenta precisa na compreensão das características geomorfológicas e hidrológicas de bacias hidrográficas, compreendendo medições e análises matemáticas simples que clareiam as investigações acerca da drenagem, da formação do relevo, das características da erosão e do escoamento superficial, por exemplo. Esses comportamentos hidrológicos correlacionam-se com o tamanho, a forma e declividade da bacia, com a rede de drenagem, o tamanho e comprimento dos tributários, dentre outros (DOMINGUES *et al.*, 2020).

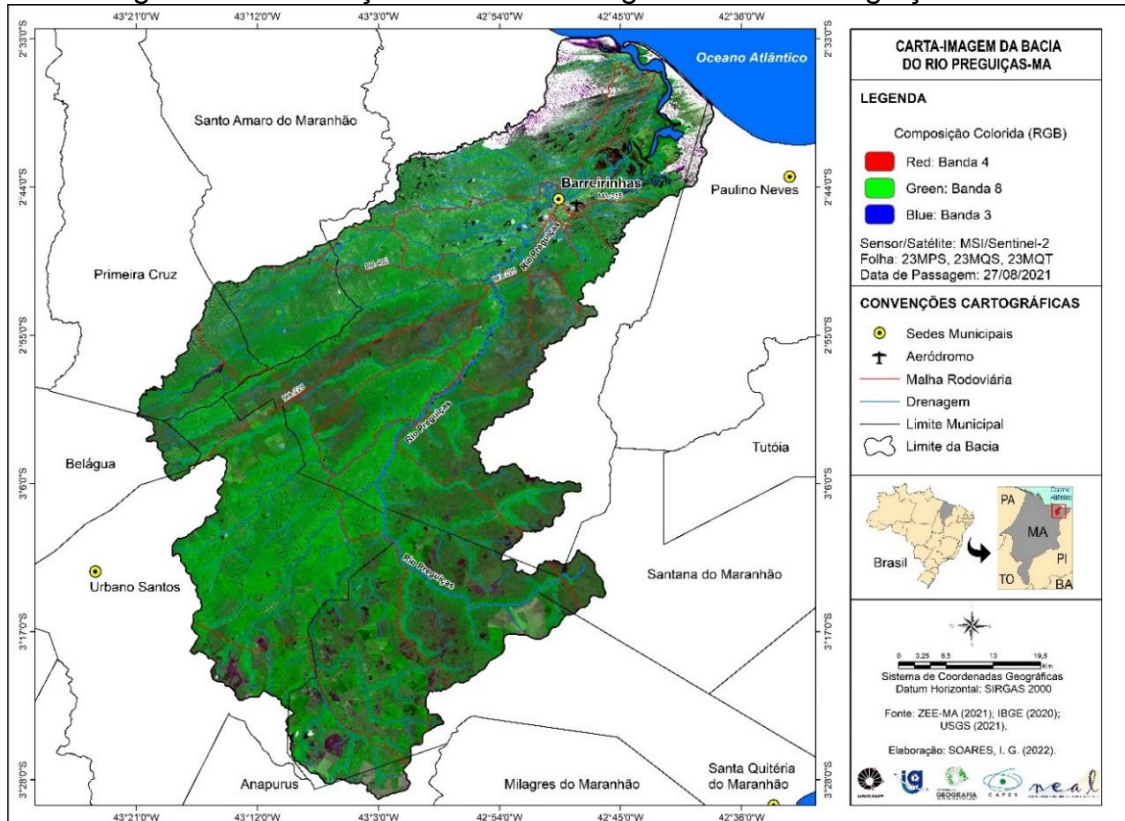
As intervenções antrópicas passaram a modificar as características do ambiente natural da bacia hidrográfica, com isso, vários aspectos fisiográficos do ambiente são alterados como: o relevo, o uso, a vegetação, a fauna, a hidrologia e o clima. As ações antrópicas têm acelerado e potencializado alterações nas características fisiográficas por meio da canalização e retificação de cursos fluviais, terraplanagem e impermeabilização do solo (VALE; COSTA; PIMENTEL, 2021).

O Sensoriamento Remoto (SR) e Sistema de Informações Geográficas (SIG), com o avanço da tecnologia, têm sido amplamente utilizados na morfometria para selecionar bacias prioritárias ao manejo, avaliar características hidrológicas, geológicas e topográficas, adotar medidas de conservação dos recursos ambientais, dentre outros, uma vez que fornecem flexibilidade e precisão na determinação, interpretação e análise das informações geoespaciais (DOMINGUES *et al.*, 2020).

A bacia do rio Preguiças, objeto do presente estudo, situa-se na região nordeste do Maranhão (Figura 1), entre os sistemas costeiros das bacias dos rios

Periá e Grande, e das bacias dos rios Novo e Barro Duro. A bacia abrange uma área de 3.957,84 km², e, ao todo, a rede hidrográfica compreende 319 trechos de drenagem e, ainda, 1.570,27 km de cursos d'água, destacando-se os rios de maior extensão: Preguiças (159,89 km), Palmira (58 km) e Cocal (51,3 km).

Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Preguiças - MA



Fonte: USGS, 2021; ZEE-MA, 2021. Elaboração: Soares, 2022.

A bacia possui um alto potencial turístico devido, principalmente, à presença do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses e da Área de Proteção Ambiental da Foz do Rio Preguiças-Pequenos Lençóis-Região Lagunar Adjacente. Essas unidades de conservação destacam-se pela presença de dunas e de regiões alagadas – as famosas lagoas –, assim como por apresentarem exuberância e diversidade de ecossistemas. O fluxo intenso de turistas na região da bacia tem por consequência a intensificação da atividade antrópica na mesma, o que acaba por comprometer a qualidade estética e a dinâmica natural da área.

O aumento do turismo na região trouxe uma expansão dos empreendimentos imobiliários na área e, também, a abertura de trilhas usadas para o transporte de turistas, o que contribuiu para a perda da vegetação ripária.

Além das implicações ambientais associadas ao turismo, ressalta-se a presença de monoculturas de soja e eucalipto a montante da bacia, especificamente nos municípios de Urbano Santos, Anapurus e Santa Quitéria do Maranhão. Esses cultivos na bacia estão associados a uma série de impactos ambientais, a saber: uso intensivo de agrotóxicos, uso e ocupação irregular de Áreas de Preservação Permanente, queimadas, desmatamentos e conflitos sociais pelo uso da terra envolvendo os empresários e a população camponesa.

Assim, o objetivo central deste estudo é analisar a morfometria da bacia hidrográfica do rio Preguiças, com base em técnicas de geoprocessamento, no

intuito de melhor entender a dinâmica hidrográfica.

METODOLOGIA

A análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Preguiças foi feita a partir das características geométricas, de relevo e das características da rede de drenagem.

No parâmetro geométrico foram determinados a área, o perímetro, o coeficiente de compacidade (Kc), o fator de forma (Kf), o índice de circularidade (Ic) e o comprimento do eixo da bacia.

O coeficiente de compacidade (Kc) é um índice que relaciona a forma da bacia com um círculo. Constitui a relação entre o perímetro da bacia a uma circunferência de área igual ao da bacia hidrográfica. O Kc foi determinado pela seguinte equação (RIBEIRO; PEREIRA, 2013): $Kc = 0,28 \times P/\sqrt{A}$

Sendo: Kc = coeficiente de compacidade; P = perímetro (km); A = área de drenagem (km²).

O fator de forma (Kf) relaciona a razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (da foz ao ponto mais distante do divisor de água) (TRAJANO *et al.*, 2012). Esse índice indica a maior ou menor tendência para enchentes. Uma bacia com um fator de forma baixo tem menos tendência para enchentes que uma bacia do mesmo tamanho, mas com um fator de forma superior (VILLELA; MATTOS, 1975). Para determinar o Kf foi utilizada a equação:

$$Kf = A/C^2$$

Em que: Kf = fator de forma; A = área de drenagem (km²); C = comprimento do eixo da bacia (km).

O índice de circularidade (Ic) relaciona a área da bacia à área de um círculo de perímetro igual ao da área da bacia. Esse valor tende para unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui conforme a mesma se torna mais alongada (SANTOS *et al.*, 2012). Esse índice pode ser calculado pela seguinte fórmula: $Ic = 12,57 \times A/P^2$

Sendo: A = área (km²); P = perímetro (km).

Para os parâmetros de forma, circularidade e compacidade, os resultados encontrados podem ser interpretados de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Valores e a interpretação dos resultados quanto aos índices: fator de forma (Kf), índice de circularidade (Ic) e coeficiente de compacidade (Kc)

Kf	Ic	Kc	Formato	Interpretação para a bacia hidrográfica
0,75 - 1,0	1,0 - 0,80	1,0 - 1,25	Redonda	Alta tendência a enchentes
0,50 - 0,75	0,8 - 0,6	1,25 - 1,50	Mediana	Média tendência a enchentes
0,30 - 0,50	0,6 - 0,40	1,50 - 1,70	Oblonga	Baixa tendência a enchentes
< 0,30	< 0,40	> 1,70	Comprida	Tendência a conservação

Fonte: Villela e Mattos (1975). Adaptado por Vale, Costa e Pimentel (2019).

Em relação ao parâmetro drenagem foram determinadas a densidade de drenagem (Dd), o comprimento total dos cursos d'água, o comprimento do rio principal, o coeficiente de manutenção (Cm), o índice de sinuosidade (Is), o tempo de concentração (Tc), a extensão do percurso superficial (Eps).

A densidade de drenagem é o resultado da divisão entre o comprimento total dos cursos d'água pela área da bacia. Esse índice indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica e mostra o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem (VALE; COSTA; PIMENTEL, 2021). A densidade de drenagem é calculada pela seguinte equação:

$Dd = Lt/A$, em que: Lt = comprimento total dos canais (km); A = área da bacia (km^2). A Tabela 2 apresenta a classificação da densidade de drenagem cuja formulação é:

Tabela 2. Valores e interpretação de densidade de drenagem

Dd (km/km ²)	Tipo	Interpretação para a bacia hidrográfica
<1,5	Baixa	Baixo escoamento superficial e maior infiltração
1,5 - 2,5	Média	Tendência mediana de escoamento superficial
2,5 - 3,0	Alta	Alta tendência ao escoamento superficial e enxurradas
>3,0	Muito Alta	Alta tendência ao escoamento superficial, enxurradas e erosão

Fonte: França (1968). Adaptado por Vale; Costa; Pimentel (2019).

O coeficiente de manutenção (C_m) representa uma medida de textura do solo, utilizando-se do índice Dd , e serve basicamente para determinar a área mínima necessária para a manutenção de 1 m de canal de escoamento permanente (TRAJANO *et al.*, 2012). O C_m é calculado pela equação: $C_m = 1/Dd \times 1.000$

Em que: C_m = coeficiente de manutenção (km^2/km); Dd = densidade de drenagem (km/km^2).

O índice de sinuosidade (I_s) relaciona o comprimento verdadeiro do canal (em projeção ortogonal) à distância vetorial (comprimento em linha reta) entre os dois extremos do canal principal (SILVA *et al.*, 2018). Esse índice expressa a velocidade de escoamento do canal principal. Quanto maior a sinuosidade, maior será a dificuldade de se atingir o exutório do canal, portanto, a velocidade de escoamento será menor (SANTOS *et al.*, 2012). É calculada pela equação: $I_s = L/L_v$

Sendo: I_s = índice de sinuosidade; L = comprimento do rio principal (km); L_v = comprimento vetorial do rio principal (km).

O tempo de concentração (T_c) é o tempo necessário para que toda a área da bacia contribua para o escoamento superficial na seção de saída. Segundo Chow, Maidment e Mays (1988), o tempo de concentração corresponde ao tempo gasto para a gota de chuva se deslocar do ponto mais afastado da bacia até sua foz. O T_c pode ser calculado pela equação:

$$T_c = 4x\sqrt{A} + 1,5xL/0,8\sqrt{H}$$

Em que: A = área da bacia (km^2); L = Comprimento da bacia (km); H = Amplitude altimétrica (m).

A extensão do percurso superficial (Eps) representa a distância média percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente. O resultado obtido também serve para caracterizar a textura topográfica sendo calculada conforme Christofolletti (1969 *apud* PINTO JUNIOR; ROSSETE, 2005) pela equação: $Eps = 1/(2 * Dd)$

Na qual: Eps é a extensão do percurso superficial, em km; e Dd , a densidade de drenagem, em $km.km^2$.

Para o parâmetro relevo determinou-se a altitude média (Hm), as altitudes mínima e máxima, a declividade média (S%), a amplitude altimétrica (H), o índice de rugosidade (IR) e a gradiente do canal (Gc).

A altitude média (Hm) é a média aritmética entre os valores de maior altitude (AM) observada na cabeceira e a menor altitude (Am) na foz da bacia em (m), conforme a expressão (PADILHA; SOUZA, 2017): $Hm = (AM + Am) / 2$

Sendo: Hm = altitude média; AM = maior altitude; Am = menor altitude.

A amplitude altimétrica (H) é a diferença entre a maior e a menor altitude da área da bacia e expressa em metros, conforme a expressão (PADILHA; SOUZA, 2017): $H = AM - Am$

Em que: H = amplitude altimétrica; AM = maior altitude; Am = menor altitude.

O índice de rugosidade (Ir) relaciona a disponibilidade do escoamento hídrico superficial a seu potencial erosivo, expresso pela declividade média. Trata-se de um índice adimensional que corresponde à diferença altimétrica entre a foz e a maior altitude situada num determinado ponto da área da bacia, o que indica o desnível médio da bacia (TRAJANO *et al.*, 2012). Pode ser calculado pela seguinte equação: $Ir = Dd \times H$

Sendo: Dd = densidade de drenagem (km/km^2); H = amplitude altimétrica (km).

Na Tabela 3 é apresentada uma proposta de classificação em faixas de valores do Ir, conforme Sousa e Rodrigues (2012).

Tabela 3. Classificação do índice de rugosidade de bacias hidrográficas

Ir (ad)	Denominação
0 - 150	Fraca
151 - 550	Média
551 - 950	Forte
> 950	Muito forte

Fonte: Sousa e Rodrigues (2012).

A declividade média da bacia pode ser calculada pela seguinte equação: $Dm = 77 \times L/P$

Sendo: Dm = declividade média; L = comprimento do rio principal (km); P = perímetro da bacia (km).

O gradiente de canais (Gc) é dado pela relação entre a altitude máxima da bacia e o comprimento do canal principal. Esse índice tem por finalidade indicar a declividade dos cursos d'água da bacia (SANTOS *et al.*, 2012).

Para determinar o gradiente de canais, utiliza-se a equação: $Gc = Amax / Lc$

Em que: Gc = Gradiente de canais em m/km; Amax = altitude máxima da bacia em m; Lc = comprimento do canal principal em km.

Com o objetivo de obter a vazão média de longa duração e vazão específica média de longa duração da bacia, recorreu-se ao banco de dados da série histórica de vazões (1999 – 2022) para a estação Morro Alto (código: 33700000) obtida no Sistema de Informações Hidrológicas HIDROWEB, disponível no site da Agência Nacional da Águas - ANA.

Conforme o IMESC (2021, p.176), “para a Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças há somente dados de vazão disponíveis de 1 (uma) estação fluviométrica, localizada em Morro Alto, no médio curso do Rio Preguiças”. A vazão média de

longa duração é obtida por meio da média aritmética de todas as vazões diárias da série histórica (DOMINGUES *et al.*, 2020).

A vazão específica média de longa duração (q_m) caracteriza-se pela relação entre a vazão média de longo prazo e a área de contribuição da estação de estudo. Esse parâmetro representa a capacidade que há na bacia em produzir escoamento superficial, além de ser utilizado como elemento de comparação entre bacias (DOMINGUES *et al.*, 2020). Para determinar a vazão específica, utiliza-se a equação:

$$q_m = \frac{\bar{Q}}{A_r}$$

Em que: q_m – vazão específica média de longa duração ($m^3 s^{-1} km^{-2}$)
 \bar{Q} - vazão média de longa duração ($m^3 s^{-1}$); A – Área da bacia hidrográfica (km^2).

No tocante às cotas de elevação do relevo da bacia, utilizaram-se dados de altimetria do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2011)⁴. Esses dados são do tipo Modelo Digital de Elevação (MDE) e correspondem às folhas: 02S435_ZN e 03S435_ZN. Realizou-se o *download* das cenas e em seguida a importação delas para o SIG QGIS 3.22.6.

No SIG procedeu-se o pré-processamento de dados, a saber: mosaico do MDE; reprojeção para SIRGAS 2000 / UTM, Zona 23S; correção de valores negativos através de aplicação de fórmula na calculadora *raster*; preenchimento de *pixels* sem dados com base na ferramenta Preencher sem Dados; e remoção de depressões espúrias (ou fechadas) a partir do algoritmo *Fill Sinks* (Wang & Liu) do Sistema de Análises Geocientíficas Automatizado.

Após a etapa de pré-processamento do MDE, procedeu-se à importação do dado para o ArcGIS 10.5, em que se estabeleceram intervalos iguais de agrupamento em 20 metros para a sua representação discreta (ou categórica).

Na elaboração do mapa de declividade recorreu-se a ferramenta *slope* (declividade), pertencente às ferramentas do 3D *Analyst Tools* do ArcGIS. A declividade obtida pelo processamento do algoritmo foi expressa em porcentagem e em seguida foi reclassificada seguindo o intervalo de 0-3% (Plano), 3-8% (Suave-Ondulado), 8-20% (Ondulado), 20-45% (Forte-Ondulado), conforme a EMBRAPA, 1979.

Em relação ao clima, foi obtida a Normal Climatológica (1981-2010), de Precipitação Acumulada Mensal e Anual, para as estações localizadas no entorno da bacia, a saber: estação Bacabal, São Luís, Chapadinha, Caxias, Teresina, Esperantina, Piripiri, Luzilândia e Parnaíba. Os dados em formato de planilha do Microsoft Excel (.xlsx) com os totais de precipitação foram adquiridos por meio do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), assim como o arquivo com as coordenadas das estações.

O arquivo contendo as coordenadas das estações foi salvo no formato CSV (separado por vírgulas) e em seguida importado para o QGIS mediante a ferramenta 'adicionar uma camada de texto delimitado', gerando, com isso, uma camada de pontos. Os dados de precipitação acumulada anual foram também importados para o SIG na forma de planilha (CSV separado por vírgulas) e inseridos na tabela de atributos, da camada de pontos, por meio da operação de união. Com o intuito de espacializar a precipitação acumulada anual, empregou-se o método de interpolação

⁴ Disponíveis no site: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>

peso pelo inverso da distância (IDW), gerando uma grade regular de valores de precipitação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O clima da região, de acordo com a classificação de Thornthwaite (1948), caracteriza-se como subúmido, com totais pluviométricos anuais que variam de 1.456 mm a 1.656 mm. A distribuição das chuvas não é homogênea, observando-se duas estações bem distintas: uma chuvosa, no primeiro semestre, e outra seca, no segundo semestre do ano. Considerando os dados da normal climatológica (1981-2010) do INMET, da estação automática (82296) de Luzilândia, verifica-se que a estação chuvosa ocorre nos meses de janeiro a junho, com maior frequência em março e abril. Nos meses de agosto a novembro ocorre uma estiagem.

Considerando-se os dados da normal climatológica (1981-2010) do INMET (2019), da estação de Luzilândia, a temperatura máxima média anual da bacia do rio Preguiças é de 33,90°C e a temperatura mínima média anual é de 22,50°C.

A partir do processamento dos dados em ambiente SIG foi possível obter as características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Preguiças que estão sintetizadas na Tabela 4. Esses parâmetros foram encontrados através de dados geométricos, de relevo e de drenagem.

Tabela 4. Aspectos morfométricas da bacia hidrográfica do rio Preguiças - MA

	PARÂMETRO MORFOMÉTRICO	VALOR
Características Geométricas	Área	3.957,84 km ²
	Perímetro	502,90 km
	Coeficiente de compacidade (Kc)	2,24
	Fator de forma (Kf)	0,15
	Índice de circularidade (Ic)	0,20
	Comprimento vetorial do canal principal (Lv)	56,24 km
Características da Drenagem	Densidade de drenagem (Dd)	0,4 km/km ²
	Comprimento total dos cursos d'água	1.570,27 km
	Comprimento do rio principal	159,89 km
	Coeficiente de manutenção (Cm)	2.500 m ² /m
	Índice de sinuosidade (Is)	2,84 km.km ⁻¹
	Vazão média de longa duração \bar{Q}	17,01 m ³ s ⁻¹
	Vazão específica média de longa duração (qm)	0,00430 m ³ s ⁻¹
	Tempo de concentração (Tc)	56,32h
Características do Relevo	Extensão do percurso superficial (Eps)	1,25 m
	Altitude média (Hm)	59,5 m
	Altitude mínima	0 m
	Altitude máxima	119 m
	Declividade média (S%)	24,48 %
	Amplitude altimétrica (H)	119 m
	Índice de rugosidade (Ir)	47,60
Gradiente do canal (Gc)	0,74%	

Fonte: Soares; Oliveira; Santos (2023).

A bacia do rio Preguiças apresenta uma área de 3.957,84 km², um perímetro de 502,90 km, comprimento total dos cursos d'água de 1.570,27 km, sendo o curso d'água principal com comprimento de 159,89 km. Além desses aspectos, a bacia apresenta um padrão de drenagem do tipo dendrítico e ordenação dos canais de 5ª ordem de natureza exorréica.

A densidade de drenagem representa o grau de dissecação do relevo e funciona como índice demonstrativo do trabalho fluvial de erosão da superfície. Dessa forma, adquire importância como instrumento de análise da paisagem, sobretudo para identificar possíveis focos de suscetibilidade geomorfológica (SILVA *et al.*, 2018).

A Dd encontrada foi de 0,4 km/km², indicando que a bacia apresenta baixa capacidade de drenagem, ou seja, baixo escoamento superficial e maior infiltração. “Valores baixos e médios de drenagem, geralmente estão relacionados a regiões de rochas permeáveis e de regime pluviométrico caracterizado por chuvas de baixa intensidade ou pouca concentração de precipitação”. (SILVA *et al.*, 2018, p.253).

O resultado do coeficiente de manutenção da área de estudo foi 2.500 m²/m, ou seja, é preciso uma área de drenagem de, no mínimo, 2.500 m².m⁻¹ para a manutenção de um metro de canal de escoamento.

O valor obtido pelo Cm é elevado, necessitando de uma área considerável para a manutenção (área de recarga) e evolução da drenagem. Este resultado pode ser corroborado pela densidade de drenagem, o qual foi baixa, sugerindo que a bacia possui dificuldade na renovação e formação de novos canais. Essa realidade pode ser entendida ao verificar que a bacia apresenta baixas declividades e baixo índice de rugosidade, fatores relevantes no escoamento fluvial e formação de canais (SILVA *et al.*, 2018).

O índice de sinuosidade varia de 1 a 2, indicando que valores próximos ou inferiores a 1, os cursos hídricos são classificados como canais retilíneos, já valores superiores a 2,0 indicam cursos de água sinuosos. Valores intermediários sugerem formas transacionais, regulares e irregulares (SILVA *et al.*, 2018). O Is obtido é de 2,84 km.km⁻¹, caracterizando o Rio Preguiças como sinuoso. Segundo Stipp, Campos e Caviglione (2010), Is acima de 2,0 km.km⁻¹ caracteriza-se por redes de drenagem sinuosas, podendo haver acúmulos de sedimentos, o que pode ser agravado pela ação antrópica.

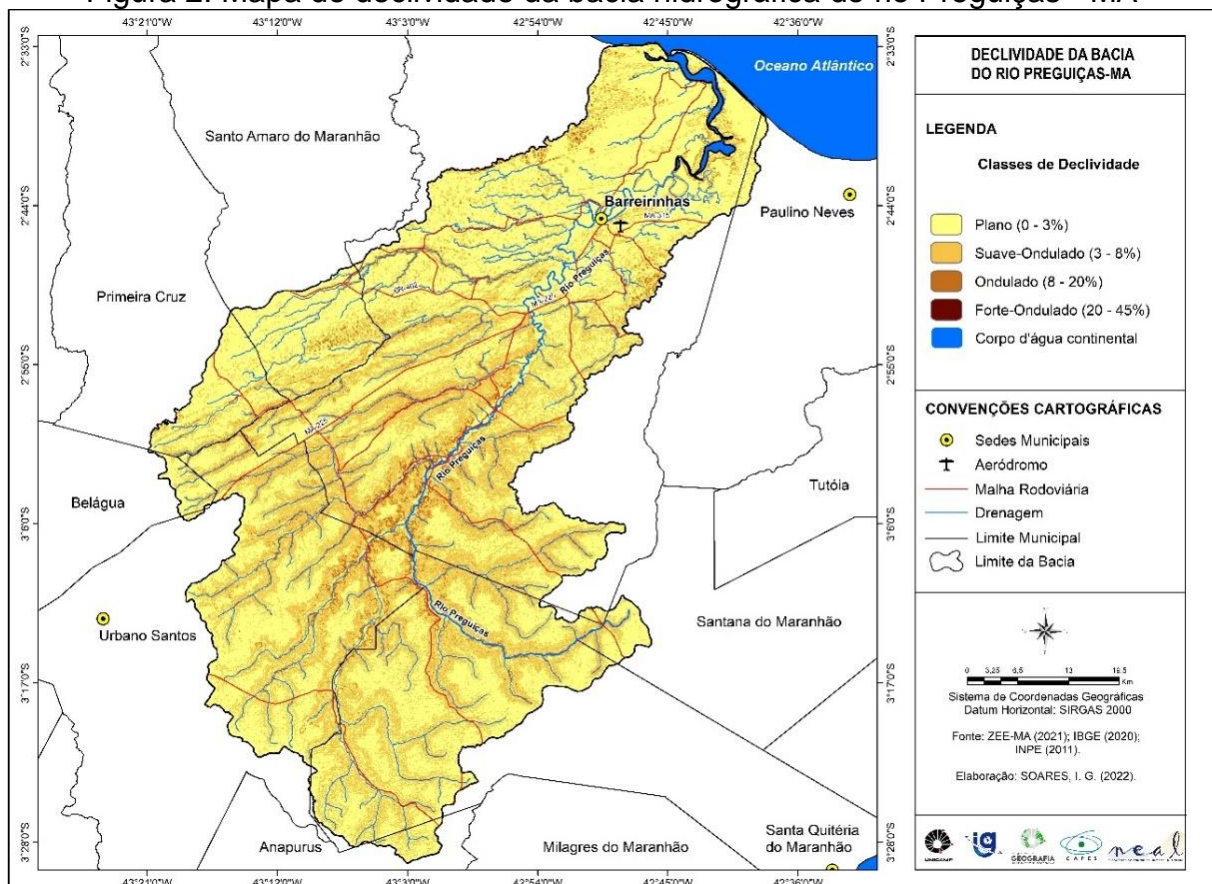
Conforme Alves *et al.* (2020, p.3649), “a sinuosidade dos canais é influenciada pela carga de sedimentos, pela compartimentação litológica, estruturação geológica e pela declividade dos canais”.

A extensão do percurso superficial, ou seja, a distância média percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente, foi de 1,25 m. Para Guerra e Cunha (1995 *apud* PINTO JUNIOR; ROSSETE, 2005), a maior parte das observações comprovam a influência do escoamento superficial que está relacionada a cobertura vegetal. Isso então coloca peso muito grande na cobertura vegetal, como fator controlador do escoamento superficial.

A Eps representa o caminho percorrido pela enxurrada do interflúvio até o canal fluvial, sendo que o valor para essa variável pode refletir na maior ou menor infiltração da água no solo, uma vez que, quanto maior o percurso entre os canais de escoamento, maior o contato direto da água com o solo, ficando sujeita a infiltração (ALVES *et al.*, 2020, p.3653).

A declividade da área de estudo caracteriza-se por formas de relevo situadas entre plano a forte-ondulado (Figura 2). As maiores declividades associadas às inclinações de 8-20% (Ondulado) e 20-45% (Forte-Ondulado) ocupam cerca de 117,47 km² (2,97%) e estão situadas às margens dos canais de drenagem da bacia. Essas altas declividades são bastante expressivas na região, que compreende o município de Barreirinhas e Urbano Santos. As formas de relevo plano (0-3%) e suave-ondulado (3-8%) predominam, envolvendo 3.840,37 km² (97,03%).

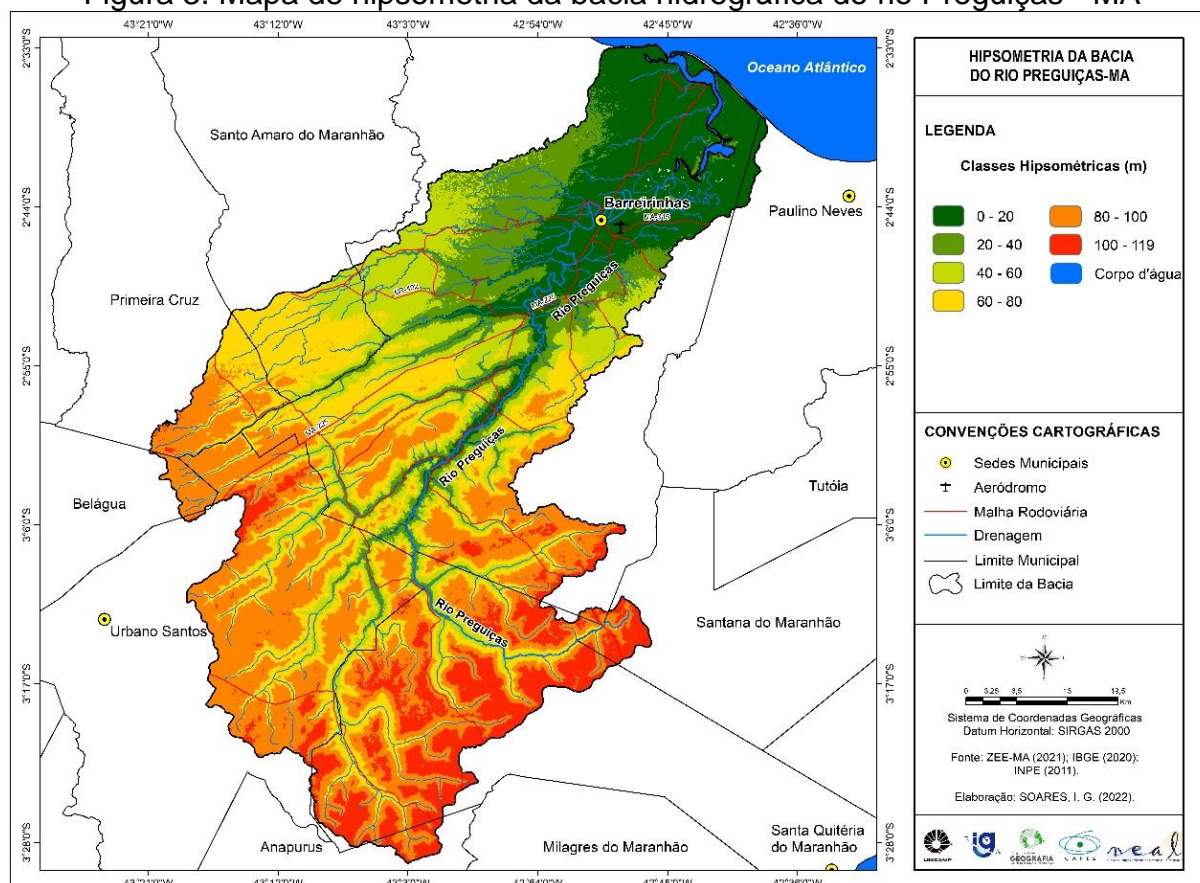
Figura 2. Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Preguiças - MA



Fonte: INPE, 2011. Elaboração: Soares, 2022.

Na área de pesquisa prevalecem elevações entre 60 a 100 m, o que envolve 48% da bacia (Figura 3). As cotas mais baixas estão em altitudes de 0 a 40 m (27,35%), na qual se encontra a jusante da bacia, especificamente na área drenada pelo rio Preguiças desde o seu exutório no município de Barreirinhas até as localidades de Santa Quitéria do Maranhão. Os relevos entre 40 e 60 m (15,19%) estão presentes em Barreirinhas, Santo Amaro do Maranhão, assim como em uma região mais externa às margens das drenagens. Já as cotas de 100 a 119 m (9,48%) estão situadas a montante da bacia nos municípios de Santa Quitéria do Maranhão, Anapurus e Santana do Maranhão. No intervalo de 80 a 119 m a montante da bacia, cultivam-se eucalipto, soja e pastagem, porém, este último é menos expressivo em área cultivada.

Figura 3. Mapa de hipsimetria da bacia hidrográfica do rio Preguiças - MA



Fonte: INPE, 2011. Elaboração: Soares, 2022.

A bacia do rio Preguiças tem um fator de forma de 0,15, seu índice de circularidade é de 0,20 e coeficiente de compacidade de 2,24. Os resultados mostraram que a bacia, de modo geral, não favorece a concentração do fluxo fluvial, seu formato é comprido e tem baixa tendência à ocorrência de enchentes em condições normais de precipitação.

Em bacias de forma circular há maiores possibilidades de precipitações intensas, pois ocorrem simultaneamente em toda a sua extensão, concentrando maior volume de água no tributário principal, enquanto que em bacias alongadas, devido ao menor fator de forma, a precipitação atinge toda a área simultaneamente, evitando concentrações de escoamento superficial (SILVA *et al.*, 2018).

O Ir de 47,60 é considerado um valor baixo, o que define menor risco de degradação da bacia do rio Preguiças, uma vez que apresenta pouca variação em seu relevo, com poucos desníveis entre a cabeceira e a seção de referência associados à rede de drenagem. O baixo valor identificado indica que a bacia tem menor risco a enchentes (TRAJANO *et al.*, 2012).

Conforme Silva *et al.* (2018, p.254), “O índice de rugosidade relaciona a disponibilidade do escoamento hídrico superficial com o potencial erosivo, expresso pela declividade média, ou seja, quanto maior for esse índice, maior será o risco de degradação da bacia quando as vertentes são íngremes e longas”.

O gradiente do canal principal da bacia corresponde a 0,74% demonstrando que área drenada por esse sistema fluvial naturalmente não sofre uma grande

pressão pela erosão fluvial, demonstrando a importância dos processos erosivos nas vertentes, no modelado dessa rede de drenagem (STIPP; CAMPOS; CAVIGLIONE, 2010).

O tempo de concentração da bacia corresponde a 56,32h, tal resultado é influenciado pela forma da bacia, ou seja, de tipo alongado, também pela sinuosidade do rio Preguiças, o que aumenta o T_c , assim como a baixa densidade de drenagem, predomínio de relevos planos e suave-ondulados com declividade média de 24,48%. Nesse contexto, a vazão média de longa duração foi $17,01 \text{ m}^{-3} \text{ s}^{-1}$ e a vazão específica média de longa duração de $0,00430 \text{ m}^{-3} \text{ s}^{-1}$.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As características geométricas atestam que a bacia em estudo tem condições naturais a uma conservação. Evidenciada pela baixa tendência à ocorrência de enchentes em condições normais de precipitação e não favorável à concentração do fluxo fluvial. Já os aspectos da drenagem, por sua vez, demonstram maior infiltração, dificuldades para formação de canais decorrente dos resultados do coeficiente de manutenção e densidade de drenagem.

No tocante ao relevo, predominam baixas declividades que favorecem o cultivo agrícola e o maior tempo de concentração; predomínio de elevações entre 60 a 100 m, o que envolve 48% da bacia; o baixo índice de rugosidade denota menor risco de degradação e enchente na bacia; o gradiente do canal demonstra que área drenada por esse sistema fluvial, não sofre maior pressão pela erosão fluvial.

O uso dos Sistemas de Informação Geográficas mostrou-se uma ótima ferramenta no desenvolvimento deste trabalho, também, pode ser utilizado pelos órgãos competentes para políticas de fiscalização e gestão de recursos hídricos e para a conservação da bacia hidrográfica, pois são ferramentas que fornecem dados confiáveis.

Os resultados deste estudo propiciam importantes subsídios ao planejamento e à gestão ambiental da bacia hidrográfica do rio Preguiças, além de servirem de base para outros trabalhos locais e de outras regiões, contribuindo para a conservação dos recursos hídricos e, conseqüentemente, para o abastecimento público e outros usos múltiplos.

REFERÊNCIAS

ALVES, W. S.; MARTINS, A. P.; MORAIS, W. A.; PÔSSA, É. M.; MOURA, D. M. B.; SANTOS, L. N. S.; FERREIRA, R. S.; NUNES, N. C.; PEREIRA, M. A. B.; MOREIRA, E. P. Morfometria da Bacia Hidrográfica do Rio Verdinho, Sudoeste de Goiás, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.13, n.7, p.3636-3658, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/350362579_Morfometria_da_bacia_hidrografica_do_Rio_Verdinho_sudoeste_de_Goias_Brasil Acesso em: 15 set. 2023.

CHOW, V.; MAIDMENT, D.; MAYS, L. **Applied hydrology**. New York. McGrawHill, 1988. 570 p.

DOMINGUES, G. F.; BARBOSA, R. A.; CORRÊA, C. C. S. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVEIRA, L. J. da; DIAS, H. C. T. Caracterização morfométrica e comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do Rio Pardo. **Ifes ciências**, Vitória, v.6, n.2, p.3-

16, 2020. Disponível em: <https://ojs.ifes.edu.br/index.php/ric/article/view/502> Acesso em: 18 set. 2023.

INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS - IMESC. **Sumário Executivo do Zoneamento Ecológico Econômico do Maranhão (ZEE-MA):** etapa Bioma Cerrado e Sistema Costeiro. v.1. São Luís: IMESC, 2021. Disponível em: <http://zee.ma.gov.br/wp-content/uploads/2022/01/Sumario-Executivo-VOLUME-1.pdf> Acesso em: 20 jun. 2023.

PADILHA, R. M.; SOUZA, C. A. de. Características morfométricas do relevo e drenagem da bacia hidrográfica do Rio Carapá nos municípios de Colíder e Nova Canaã do Norte – MT. In: PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R. R. (orgs.). **Os desafios da geografia física na fronteira do conhecimento.** Campinas: Instituto de Geociências, 2017. p. 52-63. Disponível em: <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/1777> Acesso em: 11 jun. 2023.

PINTO JUNIOR, O. B.; ROSSETE, A. N. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeira, MT-Brasil. **Geoambiente On-line**, Goiânia, n.4, p.38-53, 2005. Disponível em: <https://revistas.ufj.edu.br/geoambiente/article/view/25872/14862> Acesso em: 18 jul. 2023.

RIBEIRO, G. F.; PEREIRA, S. Y. Análise morfométrica da bacia hidrográfica Vargens de Caldas, Planalto de Poços de Caldas, MG. **Terraê**, São Paulo, v.10, n.1-2, p.15-20, 2013. Disponível em: <https://www.ige.unicamp.br/terrae/V10/PDFv10/TD-10-2-Glaucielen.pdf> Acesso em: 19 jul. 2023.

SANTOS, A.; TARGA, M.; BATISTA, G.; DIAS, N. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas perdizes e fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 7, n. 3, p.195-211, 2012. Disponível em: <http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/view/945> Acesso em: 3 mar. 2023.

SILVA, G. C. da; ALMEIDA, F. P.; ALMEIDA, R. T. S.; MESQUITA, M.; JUNIOR, J. A. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho Rangel-Piauí, Brasil. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Goiânia, v.15, n.28, p. 244-258, 2018. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2018B/AGRAR/caracterizacao%20morfometrica.pdf> Acesso em: 19 maio 2023.

SOUSA, F. A.; RODRIGUES, S. C. Aspectos morfométricos como subsídio ao estudo da condutividade hidráulica e suscetibilidade erosiva dos solos. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, Fortaleza, v. 11, n. 25, p.141-151, maio/ago. 2012. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/2736/273624812011.pdf> Acesso em: 25 set. 2023.

STIPP, N. A. F.; CAMPOS, R. A.; CAVIGLIONE, J. H. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Taquara – uma contribuição para o estudo das ciências ambientais. **Portal de Cartografia das Geociências**, Londrina, v. 3, n.1, p. 105-124, 2010. Disponível em:

<https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/portalcartografia/article/view/8929> Acesso em: 8 maio 2023.

TRAJANO, S.; SPADOTTO, C.; HOLLER, W.; DALTIO, J.; MARTINHO, P.; FOIS, N.; SANTOS, B.; TOSCHI, H.; LISBOA, F. **Análise morfométrica de bacia hidrográfica**: subsídio à gestão territorial estudo de caso no alto e médio Mamanguape. Campinas, SP, 2012. 33 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Gestão Territorial, 2). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/84896/1/0000010346-BPD-Analise-morfometrica.pdf> Acesso em: 25 abr. 2023.

VALE, J. R. B.; COSTA, L. S. da; PIMENTEL, M. A. S. Análise da morfometria e do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Mocajuba, zona costeira amazônica. **Geosul**, Florianópolis, v. 36, n. 78, p.537-557, jan./abr. 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/72705> Acesso em: 15 ago. 2023.

VILLELA, S.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

Agradecimentos: O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES). Número do processo: 88887.675419/2022-00