

## **Análise dos elementos morfométricos da Bacia Hidrográfica do Córrego do Pequiá como instrumento de suporte à sua gestão**

Felipe Alexandre Rizzo <sup>(1)</sup>,  
Leticia Tondato Arantes <sup>(2)</sup>,  
Darllan Collins da Cunha e Silva <sup>(3)</sup> e  
Paulo Sergio Tonello <sup>(4)</sup>

Data de submissão: 26/4/2022. Data de aprovação: 20/7/2022.

**Resumo** – A aplicação do estudo morfométrico tem sido comumente utilizada para a priorização de bacias hidrográficas, especialmente no que diz respeito à gestão dos recursos naturais e implementação de ações para a sua conservação e preservação. Nesse sentido, esse trabalho objetivou analisar a importância das variáveis morfométricas como suporte à gestão da bacia Hidrográfica do Córrego Pequiá (BHCP), inserida em três municípios no estado do Maranhão. Para tal, foi utilizado um conjunto de dados raster visando a extração das sub-bacias hidrográficas, bem como a obtenção dos índices morfométricos, por meio do *software* ArcGIS 10.6. Os resultados permitiram analisar as sub-bacias segundo as suas características morfométricas. Conclui-se que elas possuem um coeficiente de compactidade baixo, com relevo suave ondulado, o que implica em baixos riscos de enchentes em condições normais. Por outro lado, a densidade hidrográfica evidencia que as sub-bacias apresentam baixa capacidade de formar novos canais de drenagem e uma densidade de drenagem baixa, indicando que a área de estudo apresenta um sistema de drenagem pouco desenvolvido. Por fim, o uso do geoprocessamento mostrou-se eficiente na obtenção das características morfométricas, contribuindo com o fornecimento de subsídios para o estabelecimento de ações de planejamento e gestão ambiental para a BHCP.

**Palavras-chave:** Bacias hidrográficas. Geotecnologias. Morfometria. SIG.

### **Analysis of the morphometric elements of the Córrego do Pequiá Watershed as a management support tool**

**Abstract** – The application of the morphometric study has been commonly used to prioritize hydrographic basins, especially about the management of natural resources and the implementation of actions for their conservation and preservation. In this sense, this paper aimed to analyze the importance of morphometric variables as support for the management of the Córrego Pequiá Watershed (BHCP), inserted in three municipalities in the state of Maranhão. To this end, a raster dataset was used to extract the hydrographic sub-basins, as well as obtain the morphometric indices, using the ArcGIS 10.6 software. The results allowed the analysis of the sub-basins according to their morphometric characteristics. It is concluded that they have a low compactness coefficient, with smooth undulating relief, which implies low risks of flooding under normal conditions. On the other hand, the hydrographic density shows that the sub-basins have a low capacity to form new drainage channels and a low drainage

<sup>1</sup> Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da UNESP. [\\*feliperizzo@ifma.edu.br](mailto:feliperizzo@ifma.edu.br). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5539-141>.

<sup>2</sup> Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da UNESP. Bolsista do CAPES. [\\*leticia.tondato@unesp.br](mailto:leticia.tondato@unesp.br). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5541-1304>.

<sup>3</sup> Professor doutor do Departamento de Engenharia Ambiental da UNESP. [\\*darllan.collins@unesp.br](mailto:darllan.collins@unesp.br). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3280-0478>.

<sup>4</sup> Professor doutor do Departamento de Engenharia Ambiental da UNESP. [\\*paulo.tonello@unesp.br](mailto:paulo.tonello@unesp.br). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2774-9727>.

density, indicating that the study area has a poorly developed drainage system. Finally, the use of geoprocessing proved to be efficient in obtaining the morphometric characteristics, contributing to the provision of subsidies for the establishment of planning and environmental management actions for the BHCP.

**Keywords:** Watersheds. Geotechnologies. Morphometry. GIS.

## Introdução

A necessidade em manter a produção econômica sem considerar critérios ambientais tem corroborado com o processo de degradação acelerada dos compartimentos solo e água, dificultando a recuperação dessas áreas a médio e longo prazo (OLIVEIRA; AQUINO, 2020). Dentre os impactos ambientais, tem-se a ocorrência dos processos erosivos, deslizamento de encostas, alterações na qualidade da água e assoreamento dos corpos hídricos, contribuindo com a ocorrência de enchentes e, conseqüentemente, gerando uma série de prejuízos do âmbito social e ambiental (ALMEIDA; COTA; RODRIGUES, 2020; ALAM *et al.*, 2021; VERMA; PATEL; CHOUDHARI, 2022).

Dada a importância da compreensão desses processos, a bacia hidrográfica tem sido amplamente utilizada como unidade ideal para o planejamento e gestão dos recursos naturais (SIMONETTI *et al.*, 2019; SANGMA; GURU, 2020). Isso se deve ao fato de ela integrar diferentes componentes constituintes, como os solos, recursos hídricos, geomorfologia, geologia e cobertura vegetal (LACERDA *et al.*, 2019; ABDETA *et al.*, 2020).

Desta forma, desenvolver estudos em uma unidade espacial de fácil reconhecimento e caracterização, como é o caso da bacia hidrográfica, possibilita a análise das interdependências que ocorrem entre os diferentes elementos da paisagem e processos existentes na sua estruturação, além de permitir pontuar os problemas difusos, facilitando a identificação de focos de degradação dos recursos naturais (VIEIRA *et al.*, 2019).

Logo, a análise da morfometria fornece *insights* para a compreensão do comportamento hidrológico (ALAM *et al.*, 2021), demonstrando um papel significativo no planejamento e na concepção de informações para a gestão dos recursos naturais (PRAKASH *et al.*, 2019), uma vez que possibilita a extração de informações relevantes com baixo custo atrelado para, posteriormente, serem utilizadas como subsídios de suporte à definição e construção de indicadores para o direcionamento das políticas públicas ambientais (COLIADO *et al.*, 2020), permitindo uma descrição importante quanto à formação e desenvolvimento dos processos hidrológicos e geomorfológicos que ocorrem dentro da bacia (AZEVEDO *et al.*, 2020).

Conforme apresentado por Ferreira *et al.* (2015) e Coliado *et al.* (2020), a administração política voltada ao ordenamento do território de bacias hidrográficas está atrelada ao conhecimento de suas características morfométricas, as quais fornecem informações sobre o terreno, uma vez que parâmetros físicos e bióticos influenciam no ciclo hidrológico, no relevo, escoamento superficial e subsuperficial, permeabilidade do solo, processos de inundação, processos erosivos, dentre outros.

Diante do exposto, a aplicação do estudo morfométrico pode fornecer subsídios para o diagnóstico da situação real da bacia hidrográfica e auxiliar na elaboração de políticas públicas ambientais em municípios em desenvolvimento, como é o caso do município de Açailândia, localizado no estado do Maranhão, visto que ele passa por diferentes alterações antrópicas como crescimento populacional e, conseqüentemente, tem sofrido alterações no uso e cobertura do solo, com constante conversão de dos tipos de usos que contribuem para o desencadeamento de processos erosivos de grande porte na bacia do córrego (RIZZO, 2015).

Dessa forma, esse trabalho tem como objetivo realizar a caracterização morfométrica das sub-bacias do Córrego Pequiá, localizadas no estado do Maranhão, por meio da obtenção e análise das características de drenagem, geometria e de relevo, de modo que possibilite

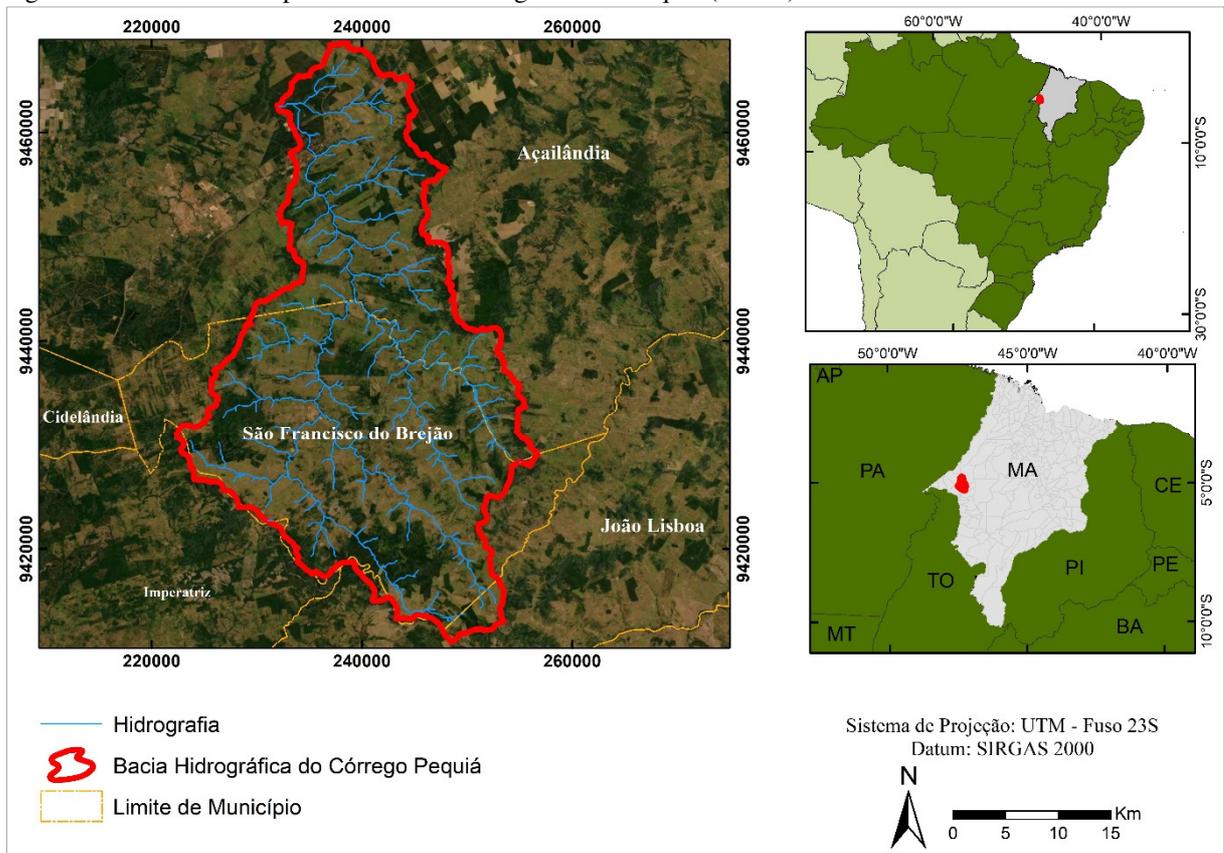
compreender a inter-relação da morfometria com os recursos naturais, visando gerar informações importantes para os órgãos gestores.

## Materiais e métodos

### Área de estudo

O estudo foi realizado na Bacia Hidrográfica do Córrego Pequiá, a qual se situa no estado do Maranhão, sendo sua maior extensão inserida no município de Açailândia, seguido dos municípios de São Francisco do Brejão e João Lisboa. O município de Açailândia possui uma área territorial de 5.806.307 km<sup>2</sup>, com uma população de 110.543 habitantes e densidade de 19,04 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2018). Já o município de São Francisco do Brejão possui área total de 745,357 km<sup>2</sup> e densidade demográfica de 13,76 hab/km<sup>2</sup> (Figura 1).

Figura 1 – Limites municipais e da Bacia Hidrográfica do Pequiá (BHCP)



Fonte: Autores, 2021.

Os municípios se moldaram a partir da expansão de fronteiras agrícolas e da colonização na Pré-Amazônia maranhense, no período da construção das rodovias BR 222 e BR 010 (Belém-Brasília) e da Ferrovia Estrada de Ferro Carajás (EFC)/Norte Sul. A cobertura vegetal da região sofreu alterações ao longo dos anos, contudo, ainda possui a presença de vegetação nativa de margens de córregos e vegetação de baixios, vegetação de pequeno porte do tipo capoeiras com cipós e pastagens. O estágio original do ecossistema da região caracterizava-se por cobertura vegetal do tipo amazônico, subdividido em dois tipos principais: mata aberta com palmeiras e mata aberta sem palmeiras (MIRANDA, 2019).

Aproximadamente 320 famílias vivem no entorno do curso d'água da BHCP, que utilizam a água para o consumo próprio e dessedentação animal, além de consumirem o pescado oriundo do rio. Entretanto, o córrego receptor dos efluentes tem sua origem nas propriedades rurais e

urbanas, bem como do distrito industrial de Açailândia, localizadas próximas a rodovia federal denominada BR-222 (RIZZO, 2015).

A geomorfologia da área é constituída por inúmeros platôs fragmentados e separados pela rede de drenagem, apresentando superfícies dissecadas em escarpas erosivas, relativas às ravinas e encostas de vales encaixados, que representam áreas propensas a ocorrência de processos erosivos. A área encontra-se inserida na Bacia Sedimentar do Paraíba (MIRANDA, 2019). Com uma altitude variando de 80m na porção mais baixa do Rio Açailândia até os 400m, no topo das chapadas a noroeste de Açailândia. Todas as rochas encontradas no município apresentam características de origem sedimentar (AÇAILÂNDIA, 2017).

Segundo Castro e Santos (2016) e CPRM (1999), a geologia da região é caracterizada pelas formações Itapecurú (Cretáceo Superior) constituídas de arenitos, siltitos e folhelhos depositados em ambientes fluvial e lacustre. A geologia também é formada também pelo grupo Ipixuna (Terciário Inferior), sistema fluvial meandrante leques aluviais que apresenta níveis de alteração superigênicas, e Grupo Barreiras (Terciário Superior), sistema fluvial meandrante leques aluviais, com sedimentos que variam de finos a conglomeráticos, depositados por fluxos de detritos com lama. A formação Itapecurú enquadra-se no domínio das coberturas sedimentares mesozóicas, já os grupos Ipixuna e Barreiras encontram-se no domínio geológico das coberturas sedimentares cenozóicas.

De acordo com a classificação de Koppen, o clima da região é caracterizado como tropical (Aw) úmido e apresenta dois períodos bem definidos, sendo um período chuvoso que se inicia entre o mês de novembro ou dezembro e se prolonga até maio, com maior índice pluviométrico entre janeiro e abril, apresentando valores superiores a 400mm. O período seco ocorre a partir de maio, quando a influência da convergência intertropical deixa de existir, e se estende até outubro, apresentando o pico de déficit hídrico nos meses de junho a agosto (MIRANDA, 2019).

A região da bacia apresenta dois tipos de solos predominantes, que são enquadrados no grupo dos Latossolos vermelho-amarelo e Argissolo vermelho-amarelo. O grupo dos Latossolos corresponde a uma fração granulométrica mais arenosa. Já o grupo Argissolo, apresenta uma fração granulométrica mais argilosa. Essas texturas favorecem o comportamento erosivo (SILVA *et al.*, 2018; MIRANDA, 2019).

### **Processamento dos dados**

No presente estudo, para a delimitação das sub-bacias e cálculo dos indicadores morfométricos, foi utilizado o modelo digital de elevação (MDE) do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), disponibilizada de forma gratuita no banco de dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), com uma resolução espacial de 90 metros. Em seguida, com o intuito de delimitar as sub-bacias e extrair seus dados, se fez necessário o estabelecimento de algumas operações. Para tal, foi utilizado um conjunto de ferramentas para a geração de informações como a delimitação de bacia de hidrográfica e redes de drenagem, denominada ArcHydro Tools, extensão originalmente acoplada ao ArcGIS 10.6 e desenvolvida para Universidade do Texas (MAIDMENT, 2002).

Inicialmente, com o intuito de corrigir alguns erros presentes no MDE, como depressões e áreas planas não compatíveis com a morfologia real do terreno, foi utilizada a ferramenta Fill Skins, com o intuito de corrigi-los. Em seguida, a delimitação da bacia hidrográfica foi efetivada de forma automática, por meio do uso do algoritmo “*D-Infinity*” disponível no módulo “*TauDEM Tools*” do ArcGis.

### **Indicadores morfométricos**

A análise morfométrica de bacias hidrográficas é tida como pré-requisito para estudos hidrológicos, já que ela possibilita a compreensão dos comportamentos da rede de drenagem e morfologia, auxiliando no processo de planejamento e gestão de recursos (SANGMA; GURU, 2020). Nesse sentido, para a extração dos indicadores morfométricos das sub-bacias do Córrego

de Pequiá, considerou-se as características da rede de drenagem, geométricas e de relevo da bacia, conforme apresentado no Quadro 1. Ainda há outras variáveis ponderadas como importantes para a pesquisa, como o comprimento total dos canais, gradiente canal principal, comprimento médio dos canais, comprimento do canal principal, extensão do percurso superficial e hierarquização dos cursos d'água (STRAHLER, 1957).

Quadro 1 – Descrição dos parâmetros utilizados no estudo

Parâmetros		Equação	Descrição	Definição
Característica Geométrica	Coefficiente de Compacidade	$Kc = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$	Kc = Coeficiente de compacidade adimensional; P = Perímetro da sub-bacia (km) A = Área de drenagem da sub-bacia (km <sup>2</sup> ).	Relaciona o perímetro da bacia hidrográfica e circunferência de um círculo de área igual à da bacia (Silva <i>et al.</i> , 2018).
Características da Rede de Drenagem	Densidade da drenagem	$Dd = \frac{Lt}{A}$	Lt = comprimento total dos canais da sub-bacia (km) A = Área de drenagem da sub-bacia (km <sup>2</sup> )	Relação entre o comprimento total de canais (temporários e perenes) e a área da bacia (Horton, 1945).
	Densidade Hidrográfica	$Dh = \frac{N}{A}$	Dh = Densidade hidrográfica; N = Número de rios ou canais; A = Área de drenagem da sub-bacia (km <sup>2</sup> )	Relaciona o número de rios ou canais com a área da bacia, expressando a grandeza da rede hidrográfica da bacia, indicando a capacidade de gerar novos cursos d'águas (Christofletti, 1969).
	Coefficiente de Manutenção (m <sup>2</sup> )	$Dh = \frac{1}{Dd}$	Cm = Coeficiente de manutenção; Dd = Densidade de drenagem	Área necessária para formação de um canal mantendo perene cada metro de drenagem (Coliado <i>et al.</i> , 2020; Schumm, 1963).
Características do Relevo	Índice de Sinuosidade	$Is = 100 * \frac{L - Dv}{L}$	Is = índice de sinuosidade (%); L = comprimento do canal principal (km); Dv = distância vetorial do canal principal (km)	Relação entre o comprimento do canal principal e seu talvegue (Coliado <i>et al.</i> , 2020)
	Índice de Rugosidade	$Ir = Hm * Dd$	Hm = Amplitude Altimétrica; Dd = Densidade de Drenagem.	Produto entre a amplitude do relevo e densidade de drenagem. (Melton, 1957)
	Amplitude Altimétrica (m)	$Aa = P1 - P2$	P1 = Altitude máxima (m) P2 = Altitude mínima (m)	Diferença das altitudes máxima e mínima observadas. (Villela; Mattos, 1975)
	Relação de Relevo (m)	$Rd = \frac{Hm}{Lc}$	Rr = Relação de relevo (m/km) Hm = amplitude altimétrica (m) Lc = comprimento do canal principal (km)	Relação entre a amplitude altimétrica com o comprimento do canal principal. (Strahler, 1952)

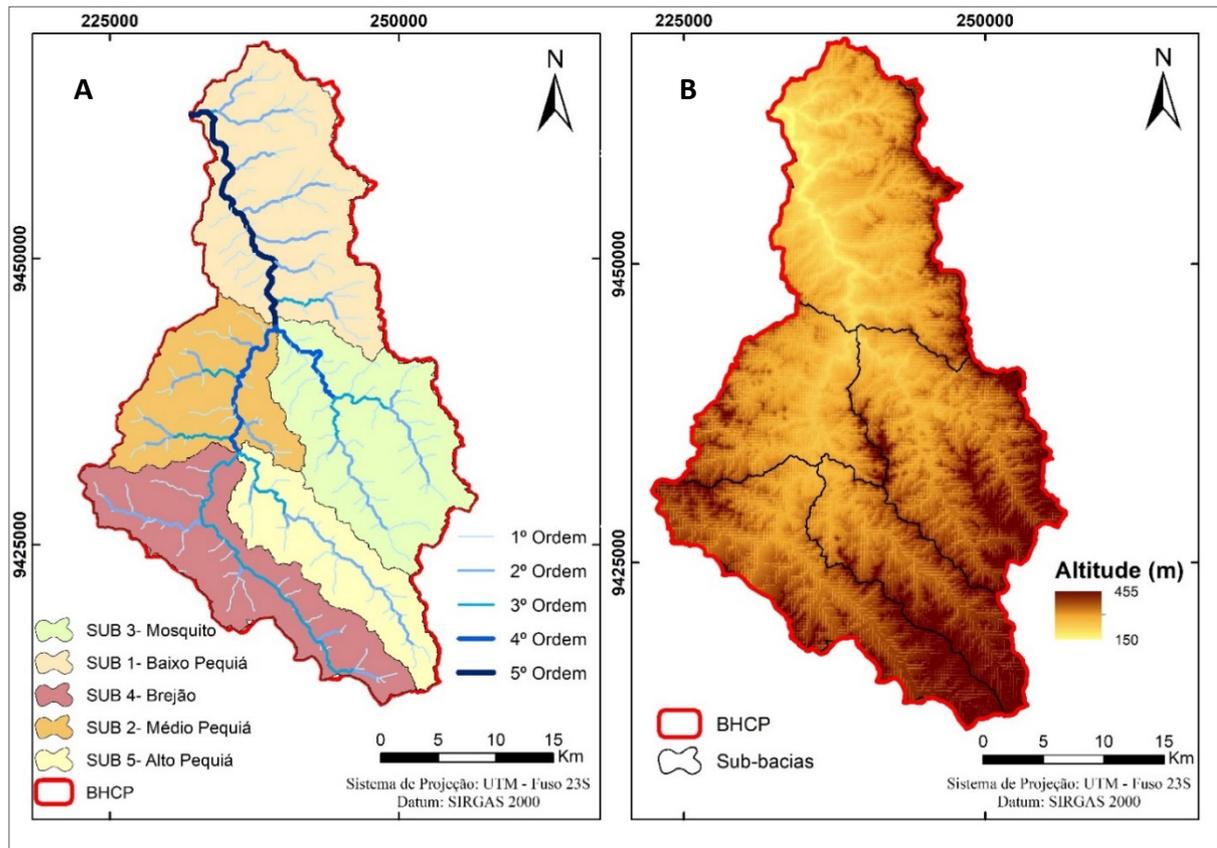
Fonte: Autores, 2021.

Para a identificação das ordens dos rios na bacia, foi utilizada a metodologia proposta por Strahler (1957) a partir da rede de drenagem obtida da Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) pela Agência Nacional de Águas (2017) escala 1:250000 para o Estado do Maranhão, cuja finalidade foi estabelecer a hierarquia fluvial a partir do *software* ArcGis 10.6, por meio do complemento hydrology. Toda a análise morfométrica da sub-bacia hidrográfica do Córrego Pequiá foi realizada por meio de processamentos no *software* ArcGIS 10.4 (ESRI, 2008).

## Resultados e discussões

A Bacia Hidrográfica do Córrego do Pequiá possui uma área de drenagem total de 999,42 km<sup>2</sup>, um perímetro de 184 km e comprimento axial de 69km. A área de estudo foi subdividida em cinco sub-bacias, denominadas: Baixo Pequiá, Médio Pequiá, Alto Pequiá, Brejão e Mosquito, sendo a delimitação das três primeiras realizadas com base no curso d'água principal (Córrego do Pequiá) e as demais obtidas a partir dos exultórios do córrego brejão e mosquito. A Figura 2 apresenta o mapa de com as respectivas sub-bacias, hierarquia fluvial e hipsometria.

Figura 2 – Mapa das sub-bacias do Córrego do Pequiá



Fonte: Autores, 2021

O estudo acerca da morfometria de bacias hidrográficas fornece informações relevantes sobre as características e interações entre os processos superfície terrestre e seus diferentes componentes, possibilitando a determinação das potencialidades e limitações quanto ao uso e cobertura do solo e auxiliando no planejamento das atividades a serem desenvolvidas (FRAGA *et al.*, 2014). Nesse sentido, as características morfométricas das sub-bacias hidrográficas do Córrego do Pequiá foram avaliadas quanto aos parâmetros geométricos, características da rede de drenagem e das características do relevo. Na Tabela 1, são apresentados os resultados das equações utilizadas para caracterizar morfometricamente as cinco sub-bacias existentes na bacia hidrográfica do Córrego Pequiá.

Tabela 1 – Parâmetros Morfométricos das Sub-bacias do Córrego Pequiá.

Variável Morfométrica	Sub-bacias				
	Baixo Pequiá	Médio Pequiá	Alto Pequiá	Brejão	Mosquito
<b>Geometria</b>					
Área da Bacia (km <sup>2</sup> )	274,92	158,85	132,77	200,4	232,48

Perímetro (km)	122,46	90,96	94,74	128,94	104,04
Comprimento da bacia (Lb) (km)	29,27	20,65	26,65	34,60	25,35
Largura da bacia (Lw) (km)	13,80	15,74	7,34	11,89	13,07
Coefficiente de Compacidade	2,07	2,02	2,30	2,55	1,91
<b>Rede de Drenagem</b>					
Densidade de drenagem Dd (Km/km <sup>2</sup> )	0,59	0,73	0,68	0,63	0,77
Densidade Hidrográfica Dr (Canais /km <sup>2</sup> )	0,38	0,44	0,39	0,41	0,57
Extensão do Percurso Superficial (Km)	0,847	0,685	0,735	0,794	0,649
Comprimento do Canal Principal (Km)	26,2	17,2	24,6	16,5	11,5
Comprimento médio dos Canais (Km)	4,76	3,50	3,95	4,2	3,65
Comprimento Total dos Canais (km)	162	115	91	126	179
Razão de Bifurcação Média (Rbm)	5	3	4	5	4
Coefficiente de Manutenção (m <sup>2</sup> .m-1)	1694,92	1369,86	1470,59	1587,30	1298,70
Ordem da Sub-bacia (Strahler, 1957)	5	4	3	3	4
<b>Relevo</b>					
Índice de Sinuosidade	1,30	1,52	1,56	1,56	1,30
Índice de Rugosidade	146,91	162,06	165,92	134,19	187,88
Amplitude Altimétrica (m)	249	222	244	213	244
Relação de Relevo (m)	9.50	12.91	9.92	12.91	21.22

Fonte: Autores, 2021.

### Características geométricas

Por meio dos parâmetros referentes à geometria, foi possível a obtenção de dados sobre algumas características inertes à BHCP. O coeficiente de compacidade (Kc) indica a susceptibilidade da bacia hidrográfica a enchentes, sendo que quanto mais próximo o valor de Kc de 1, mais circular é a bacia, assim, maior a tendência de haver ocorrência de enchentes, entretanto, quanto maior o valor de Kc, mais alongada, menor possibilidade de enchentes (VILELLA; MATTOS, 1975). Concomitantemente, Rocha *et al.* (2014) mencionam que bacias hidrográficas com formato mais alongado evitam a conversão do escoamento superficial para o trecho do rio principal, portanto não estando sujeitas a grandes enchentes.

Partindo desse pressuposto, analisando o Kc para as cinco sub-bacias do Córrego Pequiá (Tabela 1), nota-se que os valores estão todos acima de 1,91, indicando um formato mais próximo ao alongado, resultando em um escoamento classificado como de baixo a moderado, o que reduz os riscos de concentração rápida da água da chuva para o canal principal, diminuindo os eventos de inundações. Todavia, apesar das sub-bacias da área de estudo não apresentarem tendência a ocorrência de enchentes com base no Kc, destaca-se a necessidade de considerar outras variáveis para a avaliação da propensão a enchentes.

Ainda, apesar do coeficiente indicar que as sub-bacias possuem um formato próximo ao alongado, favorecendo o escoamento superficial, é de suma importância a gestão dessas áreas, principalmente no que diz respeito à ocupação do solo de forma desordenada, que reduz significativamente os níveis de infiltração da água, em virtude do aumento das áreas impermeabilizadas (ANDRADE *et al.*, 2021), podendo gerar um aumento da magnitude e regularidade de enchentes, potencializando a degradação ambiental nas BHCP.

Segundo os dados do Atlas de Saneamento disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, a condição da drenagem nos municípios que abrangem a BHCP é enquadrada na categoria “precária”. Uma das explicações para isso diz respeito à menor

demanda de investimentos nesses serviços em algumas áreas do Nordeste do Brasil, em função das características climáticas, geológicas e geográficas, por conseguinte, resultando uma série de problemas nas regiões que possuem maior carência desse tipo de serviço (IBGE, 2011).

Em vista disso, outro aspecto importante a ser considerado para o gerenciamento das sub-bacias do Córrego Pequiá diz respeito ao manejo de águas pluviais e drenagem urbana, prioritariamente nas áreas de ocupação irregular e características ambientais que favorecem a ocorrência desse evento, sendo essenciais para reduzir a exposição da população aos riscos das enchentes, dentre outros problemas relacionados aos processos erosivos e assoreamento dos cursos d'água.

### **Características da rede de drenagem**

No que diz respeito às características relacionadas a rede de drenagem, destaca-se a sua densidade, considerada uma das principais variáveis em estudos morfométricos. Ela relaciona o número de canais com a área total da bacia hidrográfica (SILVA *et al.*, 2018; CHRISTOFOLETTI, 1981), fornecendo dados acerca da eficiência da drenagem em relação a capacidade de escoamento dentro da bacia (TONIOLO *et al.*, 2021; SILVA; GIRÃO, 2020). Ainda, a densidade de drenagem influencia a produção de água e sedimentos na bacia (DORNELLAS *et al.*, 2020).

Segundo Silva *et al.* (2016), densidade de drenagem menores que 0,5 km/km<sup>2</sup> (drenagem baixa), de 0,5 até 3,5 (drenagem média), por fim, Dd superiores a 3,5 (drenagem alta). Assim, para a densidade de drenagem obtida, conforme é apresentado na Tabela 2, as sub-bacias resultaram em valores que variam de 0,59 a 0,77, logo, demonstrando que elas possuem uma rede de drenagem classificada como média, em decorrência das características intrínsecas a área de estudo, como a permeabilidade do solo e geologia que influenciam a formação dos canais de drenagem (SIMONETTI *et al.*, 2018). Valores semelhantes foram encontrados no estudo desenvolvido na bacia do Rio Tessta, com Dd média de 0,63 km/km<sup>2</sup>, indicando que o solo da região possui alta permeabilidade e boa cobertura vegetal (HAOPIK *et al.*, 2021).

Geralmente, menores valores de Dd estão associados a baixas declividades (SOARES *et al.*, 2016; SOUZA; LOLLO, FILHO, 2019), bem como a regiões constituídas com rochas permeáveis (QUEIROZ *et al.*, 2017), que proporcionam condições não favoráveis ao escoamento superficial, impossibilitando a formação de canais e, por conseguinte, diminuindo a densidade da drenagem (HORTON, 1945), como é o caso da BHCP, visto que ela possui rochas do embasamento cristalino do Complexo Maracaçumé e metassedimentos do Grupo Gurupi (CPRM, 2011).

Quanto à densidade hidrográfica das sub-bacias foi de 0,38 canais/Km<sup>2</sup> (baixo pequiá), 0,44 canais/Km<sup>2</sup> (médio pequiá), 0,39 canais/Km<sup>2</sup> (baixo pequiá), 0,41 canais/Km<sup>2</sup> (brejão) e, por fim, e 0,57 Canais/Km<sup>2</sup> (mosquito), sendo caracterizadas como de baixa densidade hídrica e baixa aptidão ao aparecimento de pequenos canais de drenagem, conforme classificação de Strahler (1952). Ainda, a densidade hidrográfica exerce influência acerca da ocorrência de processos erosivos e enchentes (TAVARES *et al.*, 2021), já que ela possui efeito direto na estabilidade da terra (PRADEEP *et al.*, 2014).

A extensão do percurso superficial (Eps), representa a distância média percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente (HORTON, 1945). Assim, como pode ser observado na Tabela 2, a sub-bacia Mosquito apresentou menor valor de distância (0,65 km), enquanto a sub-bacia Baixo Pequiá resultou no maior valor (0,85 km), indicando que as sub-bacias possui distâncias longas de escoamento, logo, maior período de concentração da água (LOREZON *et al.*, 2015), reduzindo a ocorrência de processos erosivos (SIMONETTI *et al.*, 2018; TONIOLO *et al.*, 2022).

Conforme Felde *et al.* (2020), quanto mais longo é o caminho que o escoamento tem que percorrer para chegar ao canal permanente, menor é a densidade da drenagem nas bacias

hidrográficas. Deste modo, justificam-se os valores de Dd encontrados para as sub-bacias desse estudo.

O Coeficiente de Manutenção (Cm) informa qual a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento (SCHUMM, 1963; SERVIDONI *et al.*, 2021). Maiores valores de Cm sugerem uma estrutura do solo mais porosa, implicando maior nível de infiltração, e escoamento leve (SHIVASWAMY, 2019).

O Cm obtido para as sub-bacias variaram de 1298,70 m<sup>2</sup>.m<sup>-1</sup> (sub-bacia do Mosquito) até 1694,92 m<sup>2</sup>.m<sup>-1</sup> (sub-bacia Alto Pequiá), evidenciando que a bacia do Alto do Pequiá requer maior área para a manutenção de um metro de canal.

Com relação ao parâmetro morfométrico denominado razão de bifurcação média (Rbm), ele representa o número de canais de uma ordem essenciais para formar um canal de ordem superior (DORNELLAS *et al.*, 2020), no qual tende a ser constante e normalmente varia entre 3,0 e 5,0 (STRAHLER, 1964).

As sub-bacias baixo-pequiá, médio pequiá, alto pequiá, brejão e mosquito apresentaram Rbm médio de 4,9, variando de 3 a 5, respectivamente (Tabela 2), evidenciando que os padrões estruturais geológicos das sub-bacias não afetam a rede de drenagem (STRAHLER, 1964). Valores semelhantes foram observados em outros trabalhos, na bacia do rio pardo com média de 3,46 (DOMINGUES *et al.*, 2020), enquanto a bacia do alto paraíba apresentou Rbm médio de 3,68 (DORNELLASA *et al.*, 2020).

### **Características do relevo**

O conhecimento acerca da sinuosidade da rede de drenagem assume grande importância no entendimento dos processos e evoluções do sistema fluvial e sua interação com as características da paisagem (KUMAR; SINGH, 2021; SANTOS *et al.*, 2021). De acordo com Schumm (1963), valores de Is próximos a 1,0 indicam que o canal tende a ser mais retilíneos e pouco tortuosos, valores superiores a 2,0 indicam canais mais tortuosos, já os valores intermediários referem-se aos canais com transições entre trechos regulares e irregulares.

Com base na análise do índice de sinuosidade da BHCP, os valores do Is dos rios do Baixo Pequiá e Mosquito foram inferiores a 1,5, indicando um canal retilíneo, todavia, os valores encontrados para as demais sub-bacias indicam que o canal tende a ser sinuoso, uma vez que o resultado está próximo de 2,00.

Na pesquisa desenvolvida no igarapé do Mindu no Estado do Amazonas, observou-se que o Índice de Sinuosidade foi de 1,1, de forma que os autores o classificam como retilíneo, considerando que existe a redução do tempo de permanência da água e o consequente aumento na velocidade do fluxo fato que não contribuiu para possíveis inundações na bacia (QUEIROZ *et al.*, 2020).

Já o índice de rugosidade (Ir) aponta a relação entre a declividade e o comprimento dos canais, possibilitando verificar a complexidade paisagem (OZDEMIR; BIRD, 2009). Valores elevados desse coeficiente, geralmente, são pertinentes ao aumento do gradiente das vertentes e do comprimento de rampa do terreno (DEGRANDE; FIRMINO, 2020). Como efeito, são altamente susceptíveis ao desencadeamento de processos erosivos (SREEDEVI *et al.*, 2019), logo, tem-se uma maior restrição quanto as possibilidades de uso do solo em função das características da paisagem (MACHADO *et al.*, 2011).

Nas sub-bacias analisadas, foram verificados valores de rugosidade que variaram de 134,19 a 187,88. Dentre esses valores, a sub-bacia do Mosquito e Alto Pequiá são caracterizadas por estruturas da paisagem com relevo mais declivoso e dissecado.

Já as sub-bacias dos córregos Brejão e Baixo Pequiá apresentaram rugosidade fraca, com valores variando de 134 a 147 (Tabela 1), representando 33,3% da área da BHCP. Por fim, a sub-bacia do Médio Pequiá apresentou rugosidade média com relevo suave ondulado e declividade entre 3 e 8 %.

Analisando a topografia do terreno na BHCP (Figura 2 – B), observa-se que os valores de elevação variaram entre 150 e 455 metros. A amplitude altimétrica das sub-bacias do Córrego Pequiá variou entre 213 e 249 metros (Tabela 1), cujo menor foi observado para a sub-bacia Brejão, sendo que menores amplitudes altimétrica implicam em menor velocidade do escoamento, aumentando a água no interior da bacia, contribuindo especialmente no processo de infiltração e evaporação (CARVALHO; NETO, 2012). Entretanto, a sub-bacia do Baixo Pequiá apresenta a maior amplitude, favorecendo o escoamento rápido das águas pluviais, diminuindo a infiltração da água, deste modo, requerendo maior atenção no manejo do tipo de uso e cobertura do solo, visando atenuar a erosão do solo em diferentes condições ambientais.

Quanto à relação de relevo (Rr), verifica-se que as sub-bacias do Baixo e Alto Pequiá apresentam os menores valores de Rr com relação às demais, com 9,50 e 9,92 metros/km, respectivamente, demonstrando um desnível no relevo das sub-bacias médio de 9,71 metros a cada 1km. Nesse sentido, as sub-bacias com menores declividades apresentam grande potencial para o estabelecimento da agricultura e pecuária, favorecendo o uso de máquinas agrícolas para o desenvolvimento de culturas (COLIADO *et al.*, 2020), sendo necessária a gestão do uso adequado da terra dessas sub-bacias, de forma que a proteja contra a erosão do solo, com o intuito de manter a sua capacidade produtiva.

Já as sub-bacias do Médio Pequiá, Brejão e Mosquito apresentaram maiores valores de Rr, demonstrando um maior desnível existente entre a cabeceira e o exultório, portanto maior declividade média. Logo, possuem maiores restrições quanto ao tipo de atividades a serem desenvolvidas nessas sub-bacias, como é o caso das atividades agrícolas impróprias, considerada uma prática de risco nas sub-bacias, em que a ausência de práticas conservacionistas pode intensificar a perda de solos por processos erosivos, requerendo maior atenção por partes de gestores públicos. Concomitantemente ao exposto anteriormente, o trabalho desenvolvido por Marçal *et al.* (2001) no município de Açailândia (MA) evidenciou que as feições erosivas presentes na área em questão estão relacionadas com algumas variáveis, dentre elas, a declividade e a textura do solo.

Diante do exposto, é evidenciada a importância de medidas que visem a conservação do solo e preservação das áreas florestais e áreas de preservação permanente (APP) segundo o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012) (BRASIL, 2012), por parte dos órgãos gestores, especialmente nas sub-bacias que apresentam fatores que corroboram para a degradação dos solos e recursos hídricos (TONIOLO *et al.*, 2022), visto que maiores declividades somada ao tipo de uso e cobertura da terra afetam consideravelmente a velocidade do escoamento superficial, reduzindo a infiltração da água no solo, potencializando a ocorrência de enchentes e erosão do solo (TONELLO *et al.*, 2006; BORRELLI *et al.*, 2017). Por conseguinte, tem-se redução na fertilidade do solo por lixiviação, assoreamento dos cursos d'água, afetando a capacidade de armazenamento dos reservatórios, levando a intensificação da degradação do ambiente (SANTOS *et al.*, 2007; VAEZI *et al.*, 2017; SIMONETTI *et al.*, 2022).

Outro ponto a ser destacado refere-se as características (solos e geologia) da área de estudo que favorecem a infiltração da água da chuva (SILVA *et al.*, 2018; MIRANDA, 2019), logo, necessitando de cuidados relacionados a sua preservação, já que os poluentes de atividades agrícolas e urbanas podem percolar mais facilmente no subsolo, agravando a degradação do ambiente (NERY *et al.*, 2020). Ainda, no tange ao tipo de solo predominante na BHCP, estes apresentam baixa fertilidade natural e acidez elevada, por conseguinte, exigem a aplicação de corretivos e adubos, com o intuito de aumentar a fertilidade do solo, contribuindo ainda mais para a contaminação dos mananciais.

Perante o exposto, evidencia-se a necessidade no estabelecimento de medidas e ações para a preservação dos recursos hídricos das sub-bacias, já que segundo o Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento de Água Subterrânea no Estado do Maranhão, disponibilizado pelo

Serviço Geológico do Brasil (CPRM), boa parte do abastecimento de água dos municípios que abrangem a BHCP é efetivado por meio da captação subterrânea.

A sub-bacia do Mosquito por apresentar o maior número de canais de 1ª ordem tem uma elevada importância na manutenção e desenvolvimento do curso d'água principal, porém as atividades antrópicas existentes, que promovem a alteração da paisagem, podem influenciar diretamente no futuro próximo na sub-bacia do baixo Pequiá que possui estrutura de formação do rio mais antiga, requerendo maior atenção quanto a gestão dessas áreas.

Ainda, nesse sentido uma maior atenção deve ser dada a sub-bacia do baixo Pequiá, visto que ela recebe o aporte dos afluentes que estão nas sub-bacias do Brejão e Médio Pequiá, ambos no município de São Francisco do Brejão. Grande parte dos efluentes gerados nessas sub-bacias são carreados para o baixo Pequiá, que se encontra no município de Açailândia, devendo ser observada a possibilidade de convênios intermunicipais para controle e manutenção da qualidade da água.

Diante da importância das sub-bacias do Córrego Pequiá, inserida nos domínios da Bacia Hidrográfica do Rio Mearim (BHRM), é de grande importância o estabelecimento de um programa que vise ações voltadas a participação da sociedade civil no processo de gestão dos recursos hídricos da BHCP, para incentivar o uso racional e a proteção dos recursos hídricos, buscando uma participação mais ativa dessas pessoas no comitê da BHRM. Ainda, sugere-se a criação de um plano de recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Córrego Pequiá, para ser utilizado como instrumento para o gerenciamento dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos da BHCP, com seus usos múltiplos perante o desenvolvimento sustentável.

Por fim, os índices morfométricos configuram-se como um instrumento fundamental para o planejamento e gestão territorial de bacias hidrográficas, como é o caso da BHCP, uma vez que possibilita compreender a dinâmica entre as ocorrências de enchentes e precipitação, identificar as sub-bacias com características favoráveis ao desencadeamento de processos erosivos, bem como as áreas de aptidão para a agricultura. Assim, possibilita-se o estabelecimento de diretrizes que auxiliem no manejo adequado do uso do solo e na gestão dos espaços, corroborando com menor degradação dessas áreas.

### **Considerações finais**

O estudo morfométrico foi realizado para as cinco sub-bacias hidrográficas do Córrego pequiá, considerando uma série características da paisagem, geometria e rede de drenagem, por meio de ferramentas de geoprocessamento. Logo, tem-se como resultado das características geométricas um indicativo de que as sub-bacias analisadas sob condições naturais não são propensas a ocorrência de inundações, todavia, o uso e ocupação do solo de forma desordenada em conjunto com outros fatores podem corroborar com a ocorrência de enchentes, classificando-as como pouco susceptível ao evento.

No que diz respeito as características de rede de drenagem, a BHCP apresentou grau cinco de ramificação, sendo os rios de 1ª ordem predominantes nas sub-bacias, com densidade de drenagem (Dd) média, indicando que a área não apresenta condições que favorecem o escoamento superficial. Sendo o maior valor de Dd encontrado na sub-bacia Mosquito, o qual pode estar associado a menor capacidade de infiltração da água no solo, justificada pelo tipo de geologia e topografia presente na área de estudo.

Com relação ao parâmetro razão de bifurcação (Rb), todas as sub-bacias apresentaram um valor médio de 4,9, demonstrando que os padrões estruturais geológicos das sub-bacias não afetam a rede de drenagem. O Cm indicou que a sub-bacia do Alto do Pequiá requer maior área para a manutenção de um metro de canal.

Por fim, analisando o relevo, nota-se que a sub-bacia do Mosquito apresentou maior elevação em relação às demais, logo, estando mais condicionada ao desencadeamento de processos erosivos, que pode ser intensificado quando somado aos maiores valores de índice de

rugosidade, resultando em maiores restrições do uso do solo nessas áreas em função das suas características.

Os dados obtidos neste estudo fornecem informações relevantes para a gestão da bacia hidrográfica do córrego Pequiá para os municípios de Açailândia e São Francisco do Brejão, quanto a prioridade de intervenção nas sub-bacias. As variáveis geomorfométricas são potencialmente úteis para a elucidação, compreensão e planejamento integrado do uso e ocupação dos espaços rurais e urbanos da área de estudo.

### Referências

- AÇAILÂNDIA. Prefeitura municipal de Açailândia. **Relatório final da política local de saneamento básico e do plano municipal de saneamento básico**. Açailândia, MA. 2017. 135p.
- ABDETA, G.C. *et al.* Morphometric analysis for prioritizing sub-watersheds and management planning and practices in Gidabo Basin, Southern Rift Valley of Ethiopia. **Applied Water Science**, v. 10, n. 158, 2020.
- ALAM A.; AHMED, B.; SAMMONDS, P. Avaliação de suscetibilidade de inundação flash usando os parâmetros de morfometria da bacia de drenagem em SE Bangladesh. **Quaternary International**, v. 575, p. 295-307, 2021.
- ALMEIDA, L.S.; COTA, A. L. S.; RODRIGUES, D. F. Saneamento, Arboviroses e Determinantes Ambientais: impactos na saúde urbana. **Revista Ciência & Saúde Coletiva**, v; 25, n. 10, p.3857-3868, 2020.
- ANDRADE, E. L. *et al.* Conflitos de uso do solo em áreas de preservação permanente na bacia do rio Pirapora, Salto de Pirapora/SP: influência na qualidade das águas. **Estudos Geográficos**, v. 19, p. 150-168, 2021.
- AZEVEDO, P.V. *et al.* Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu: trecho do estado do Rio Grande do Norte. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.2, p.434-444, 2020.
- BORRELLI, P. *et al.* An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. **Nature Communications**, 2017.
- BRASIL. Lei n; 12.651, de 25 de maio de 2012. **Código Florestal Brasileiro**. Brasília - DF, 2012.  
Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm).  
Acesso em: 9 de junho de 2022.
- CARVALHO, K. F.; NETO, R. M. Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Córrego Humaitá (juiz de fora, mg) como subsídio à investigação de riscos a inundações: resultados preliminares. **Revista Geonorte**, v.2, n.4, p.138 – 149, 2012.
- CASTRO, R. A.; SANTOS, O. C. Atividades econômicas e alterações no uso e ocupação do solo na bacia do córrego água branca, Açailândia (MA). **Caminhos de Geografia**, v. 17, n. 57, p. 212-221, 2016.
- CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícias Geomorfológicas**, Campinas, v. 18, n. 9, p. 35-64, 1969.

COLIADO, P. H. S.; SIMONETTI, V. C.; SILVA, D. C. C. Avaliação das características físicas da bacia hidrográfica do rio Pariquera-Açu no Baixo Ribeira de Iguape (SP). **Holos Environment (Online)**, v. 20, p. 320-334, 2020.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Carta geológica folha Açailândia - SB.23-V-A. Escala1: 250.000 - Anexo I.** Serviço Geológico do Brasil, 1999. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil Carta Geológica).

DEGRANDE, E. J. S.; FIRMINO, G. V. Análise morfométrica e do uso da terra da bacia hidrográfica do córrego da onça, Presidente Prudente- SP. **Revista Geonorte**, v. 11, n. 38, p. 125-145, 2020.

DORNELLAS, P. C. *et al.* Análise morfométrica da bacia do alto rio paraíba, região semiárida do estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 3, 2020.

DOMINGUES, G. F. *et al.* Caracterização Morfométrica e Comportamento Hidrológico da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo. **Ifes Ciência**, v. 6, n. 2, p. 03-16, 2020.

FERREIRA, R.; MOURA, M.; CASTRO, F. Uso de plataforma SIG na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Pancas – Brasil. **Nativa**, v. 3, n. 3, p. 210-216, 2015.

FELDE, J. T. *et al.* Identificação das áreas de risco à enchente do Município de Rio Azul-PR com base no estudo da sub-Bacia urbana do Rio Faxinal. **Brazilian Journals**, v. 6, n. 6, 2020.

FRAGA, M. S. *et al.* Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Catolé Grande, Bahia, Brasil. **Nativa**, v. 2, p. 214-218, 2014.

HAOKIP, P. *et al.* Identification of erosion-prone areas using morphometric parameters, land use land cover and multi-criteria decision-making method: geo-informatics approach. **Environment, Development and Sustainability**, v. 24, p. 527–557, 2022.

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

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas de Saneamento, Manejo de águas pluviais (IBGE,2011) apresenta a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico.** Brasília - DF: 2021. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv53096\\_cap10.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv53096_cap10.pdf). Acesso em: 11 jun. 2022.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades: Maranhão: Açailândia: infográficos: evolução populacional e pirâmide etária.** Brasília - DF: 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/acailandia/panorama> Acesso em: 17 set. 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades: Maranhão: São Francisco do Brejão: infográficos: evolução populacional e pirâmide etária.** Brasília - DF: 2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/sao-francisco-do-brejao/panorama>. Acesso em: 10 abr. 2021.

KUMAR, N.; SINGH, J. Evaluation of morphometric characteristics of Betwa drainage basin. **International Peer-Reviewed Journal**. v. 67, n. 3, p. 248-262, 2021.

LACERDA, G. L. B. *et al.* Caracterização morfométrica: estudo de caso da bacia hidrográfica do Riacho dos Grossos, Paraíba, Brasil. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n.2, p.362-376, 2019.

LOREZON, A. S. *et al.* Influência das características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Benevente nas enchentes no município de Alfredo Chaves-ES. **Ambiente e Água**, v.10, n.1, p.195-206, 2015.

MAIDMENT, D. **ArcHydro GIS for Water Resources**. ESRI Press, Redlands, CA. 2002.

MARÇAL, M. S. *et al.* Solos e Feições Erosivas em Açailândia – Maranhão. **Sociedade & Natureza**, v. 13, n. 25, p. 141-152, 2001.

MIRANDA, A. C. D. S. **Erosões urbanas para percepção de risco: o caso das voçorocas na cidade de Açailândia-MA. Dissertação (Mestrado em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia)** – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 111 f. 2019.

MELTON, M. A. An analysis of the relations among elements of climate, surface properties, and geomorphology. **Technical Report**, n. 11, Department of Geology, Columbia University, New York, 1957.

NERY, L. M. *et al.* Geotecnologias aplicadas na análise do risco de contaminação de poços de água no município de Sorocaba, SP. **Holos Environment**, v. 20, p. 214-230, 2020.

OLIVEIRA, L.N.; AQUINO, C. M. S. Dinâmica Temporal do uso e cobertura da terra na fronteira agrícola do MATOPIBA: Análise na sub-bacia hidrográfica do rio Gurguéia-Piauí. **Revista Equador**, v. 9, n. 1, p. 317-333, 2020.

PRADEEP, G. S.; NINU KRISHNAN, M. V; VIJITH, H. **Identification of critical soil erosion prone areas and annual average soil loss in an upland agricultural watershed of Western Ghats, using analytical hierarchy process (AHP) and RUSLE techniques**. 2014.

QUEIROZ, P. H. B.; CRISPIM, A. B.; SILVA, J. M. O. Atributos Morfométricos de um Segmento do Médio Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Pacoti, Ceará-Brasil. **Perspectiva Geográfica**, v. 12, n. 16, p. 33-41, 2017.

RIZZO, F.A. **Níveis de metais no solo e na água da microbacia do distrito Industrial do Pequiá, município de Açailândia, MA**. 2015. 98 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública e Meio Ambiente) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2015.

ROCHA, R.M. *et al.* Caracterização morfométrica da sub-bacia do rio Poxim-Açu, Sergipe, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 2, p. 276-287, 2014.

- SANGMA, F.; GURU, B. Watersheds characteristics and prioritization using morphometric parameters and fuzzy analytical hierarchal process (FAHP): a part of lower Subansiri sub-basin. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 48, n. 3, p. 473-496, 2020.
- SANTOS, G. V. *et al.* Análise hidrológica e socioambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego Romão dos Reis, Viçosa – MG. **Revista Árvore**, v. 31, n.5, p.931-940, 2007.
- SANTOS, K. A. *et al.* Morphological changes in the hydrographic basin of the Córrego Barreiro throughout the urbanization process, Goiânia – GO. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 13, 2021.
- SCHUMM, S. A sinuosity of alluvial rivers on the great plains. **Bulletin of Geological Society of America**, v. 74, n. 9, 1963.
- SERVIDONI, L. E. *et al.* Atributos morfométricos e hidrológicos da Bacia Hidrográfica do Alto Sapucaí, Minas Gerais. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 41, p. e169817-e169817, 2021.
- SETHUPATHI, A. S. *et al.* Prioritization of miniwatersheds based on morphometric analysis using remote sensing and GIS techniques in a draught prone Bargur—Mathur subwatersheds, Ponnaiyar River basin, India. **International Journal of Geomatics and Geosciences**, v. 2, n. 2, p. 403–414, 2011.
- SHIVASWAMY, M.; RAVIKUMAR, A.S.; SHIVAKUMAR, B.L. Quantitative Morphometric and Hypsometric Analysis Using Remote Sensing and GIS Techniques. **International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology**, v. 10, n.4, p 1-14, 2019.
- SILVA, D. C. C. *et al.* Proposta metodológica para análise espacial de nutrientes do solo em bacias hidrográficas. **Sociedade & Natureza**, v. 30, p. 85-107, 2018.
- SILVA, D. C. C. *et al.* Uso de Indicadores Morfométricos como Ferramentas para Avaliação de Bacias Hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, p. 627-642, 2016.
- SIMONETTI, V. C. *et al.* Análise da suscetibilidade do solo a processos erosivos do Parque Natural Municipal Corredores de Biodiversidade (PNMCBIO) de Sorocaba (SP). **Revista Ra'e Ga, Espaço Geográfico em Análise**, v. 44, p. 169-180, 2018.
- SIMONETTI, V. C. *et al.* Water quality indices as a tool for evaluating water quality and effects of land use in a tropical catchment. **International Journal of River Basin Management**, v. 17, p. 1-34, 2019.
- SIMONETTI, V. C. *et al.* Reflexos ambientais da perda de nutrientes do solo por erosão hídrica na bacia hidrográfica do Pirajibu-Mirim (SP). **Caminhos da Geografia**, v. 23, p. 84-102, 2022.
- SOARES, L. *et al.* Análise morfométrica e priorização de bacias hidrográficas como instrumento de planejamento ambiental integrado. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 31, p. 82-100. 2016.

- SOUZA, N. C.; LOLLO, J. A.; FILHO, G. S. Modelo de suscetibilidade à erosão aplicado ao gerenciamento de linhas férreas. Estudo de caso: Malha paulista-SP (Bacia do tietê –Sorocaba). **Geociências**, v. 38, n. 2, p. 549 - 566, 2019.
- STRAHLER, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions American Geophysical Union**, v. 38, n. 6, p. 913–920, 1957.
- SREEDEVI, P. D. *et al.* Drainage morphometry and its influence on hydrology in a semi-arid region: Using SRTM data and GIS. **Applied Water Science**, v. 9, n.13, 2019.
- TAVARES, A.S. *et al.* Analysis of the erosion potential and sediment yield using the Intero model in an experimental watershed dominated by karst in Brazil. **Agriculture and Forestry**, v. 67 n. 2, p. 153-162, 2021.
- TONELLO, K. C. *et al.* Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães – MG. **Árvore**, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006.
- TONIOLO, B. P. *et al.* Indicadores morfométricos como instrumento de gestão da bacia hidrográfica do Rio Cotia (SP). **Holos Environment**, v. 21, p. 282-302, 2021.
- TONIOLO, B. P. *et al.* Identificação de áreas suscetíveis a inundações com o auxílio de geotecnologias na Unidade de Negócio Oeste - Sabesp. **Revista Dae**, v. 70, p. 167-179, 2022.
- VAEZI, A. R. Assessment of soil particle erodibility and sediment trapping using check dams in small semi-arid catchments. **Catena**, v. 175, p. 227–240, 2017.
- VERMA, N. *et al.* Watershed prioritization for soil conservation in a drought prone watershed of Eastern India: Tel River Basin, Odisha, Geology, Ecology, and Landscapes, 2022.
- VAEZI, A. R. *et al.* Assessment of soil particle erodibility and sediment trapping using check dams in small semi-arid catchments. **Catena**, v. 157, 2017.
- VIEIRA, S. D. M., TORRES, J. L. R.; BARRETO, A. C. Avaliação morfométrica e vazão da microbacia do Córrego do Inhamé, em Uberaba-MG. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, v. 3, n. 2, p. 105-114, 2019.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975. 245p.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.