

# **CARACTERIZAÇÃO FISIOGRAFICA DE BACIA URBANA COM USOS DE DADOS LIDAR: caminhos para concretização dos Objetivos Para o Desenvolvimento Sustentável**

## **Physiographical characterization of an urban basin using LiDAR data: ways to achieve the Sustainable Development Goals**

Juliana Patrícia Fernandes Guedes Barros  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

### **RESUMO**

Eventos hidrológicos críticos são cada vez mais rotineiros em bacias hidrográficas urbanas, as alterações provenientes das diferentes formas de uso e ocupação do solo nos interflúvios resultam em modificações ao ciclo hidrológico natural, das quais se originam enchentes e inundações. Estratégias de planejamento e gestão de longo prazo são possibilidades de resolução do conjunto de problemáticas apresentadas, sobretudo se aliadas às metas da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), que inclui indicadores para o desenvolvimento sustentável. Visto que a bacia hidrográfica do rio Jaboatão possui diferentes problemáticas ambientais e hidrológicas, ligados a má gestão e ocupação desordenada do médio e baixo curso, a caracterização fisiográfica se apresenta como ferramenta para o entendimento das características geométricas, de relevo e drenagem, informações relevantes para o planejamento sustentável da bacia. Para obter informações hídricas que possibilitem a compreensão das características morfométricas da bacia do Rio Jaboatão, foram utilizados os modelos digitais de elevação (MDE) do projeto Pernambuco tridimensional (PE3D). Em ambiente SIG foram processados os dados empregando a ferramenta Hydrology, com objetivo de realizar a caracterização fisiográfica da bacia e discutir seus resultados com as metas para o desenvolvimento sustentável.

**Palavras-chave:** gestão de bacias; ODS; PE3D; recursos hídricos

### **ABSTRACT**

Critical hydrological events are increasingly routine in watersheds, whether in urban areas or not, the changes arising from different forms of land use and occupation in the interfluves of basins result in changes to the natural hydrological cycle, from which floods and floods originate. Long-term planning and management strategies are possibilities for solving the set of problems presented, especially if combined with the goals of the 2030 goals of the United Nations (UN), which includes indicators for sustainable development. Since the Jaboatão river basin has different environmental and hydrological problems, linked to poor management and disorderly occupation of the medium and lower course, the physiographic characterization is presented as a tool for understanding the geometric, relief and drainage characteristics, relevant information for sustainable planning of the basin. In order to obtain water information that enables the understanding of the morphometric characteristics of the Jaboatão River basin, digital elevation models (DEM) of the three-dimensional Pernambuco project (PE3D) were used. In a GIS environment, the data were processed using the Hydrology tool, with the objective of performing the physiographic characterization of the basin and discuss its results with the Sustainable Development Goals.

**Keywords:** basin management; GOALS; PE3D; water resources

## 1 INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas são unidades de planejamento político, hídrico e social estabelecidas, no Brasil, pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, política criada visando melhorar a gestão dos recursos hídricos nacionais, com propósito de assegurar padrões de qualidade d'água, segurança hídrica e prevenção de eventos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado das bacias hidrográficas. Mesmo diante de tal disposição legal, as bacias hidrográficas brasileiras enfrentam graves adversidades devido à má gestão e ocupação irregular das áreas de contribuição, como a exemplo: a crise hídrica atrelada ao desmatamento e as mudanças climáticas e a poluição dos corpos hídricos que compromete a garantia de segurança hídrica.

Geograficamente o Brasil detém 20% da reserva de água doce mundial, o que representa abundância de recursos hídricos no país. Entretanto, há dificuldades no gerenciamento efetivo da água, condição que tende a acentuar-se devido ao crescimento da demanda por água, acirrando as desigualdades no acesso e escassez dos recursos hídricos (UN-Water, 2021a; UN-Water, 2021b). As ações antrópicas se configuram como o principal vetor para tais problemas. Os impactos ao ciclo hidrológico natural afetam a capacidade de utilização da água como recurso e tornam cada vez mais ordinários eventos de cheia e inundação, além dos problemas gerados em consequência do comprometimento da capacidade de infiltração, drenagem, escoamento superficial e subsuperficial, entre outros componentes da dinâmica natural das bacias hidrográficas.

O Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco (1998) divide o Estado em 29 Unidades de Planejamento, que caracterizam a divisão hidrográfica estadual. Na região Metropolitana os grupos de bacias de pequenos rios litorâneas (GLs), que têm inteira ou parcialmente seus cursos inseridos na região mais densamente populosa do estado, sofrem com danos cotidianamente, culminando em impactos socioeconômicos a população residente nas áreas de interflúvio das bacias. De acordo com a Coordenadoria de defesa civil do Estado de Pernambuco (CODECIPE), por meio de dados divulgados ao veículo de imprensa G1, 128 mortes foram registradas em decorrência de deslizamento de barreiras e enchentes no último evento de chuvas em maio de 2022, que atingiu Pernambuco; dado estarrecedor e que tende a se repetir com maior frequência devido às mudanças climáticas que se somam a má gestão das bacias hidrográficas urbanas do Estado. Na bacia do Rio Jaboatão, inserida no Grupo de Bacias de Pequenos Rios Litorâneos 2 (GL2), há um longo histórico de eventos de inundação que acometeram a bacia, todos relacionados à má gestão. (CPRM, 1979; DIAS; ELLDORF; SANTOS, 2019).

Tendo em vista que as questões ambientais perpassam o progresso econômico brasileiro e mundial, ações com incentivo a promoção do desenvolvimento sustentável vêm sendo tomadas desde o começo do século XXI, mais recente a conferência mundial Rio+20, realizada em 2015 no Rio de Janeiro, teve como resultado o comprometimento dos 193 membros das nações unidas com 17 objetivos globais para o desenvolvimento sustentável (ODS), que versam sobre diferentes questões de interferência na sociedade, economia e meio ambiente, de modo integrado e indivisível (IPEA, 2019). O objetivo, que diz respeito diretamente aos recursos hídricos, é o ODS 6, que busca "Garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos". Foram elencadas oito metas para o cumprimento do ODS, a serem executadas até 2030, levando em consideração ações alinhadas com o objetivo geral (IPEA, 2019).

6.1 Até 2030, alcançar o acesso universal e equitativo à água potável, segura e acessível para todos;

6.2 Até 2030, alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos, e acabar com a defecação a céu aberto, com especial atenção para as necessidades das mulheres e meninas e daqueles em situação de vulnerabilidade;

6.3 Até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas, e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente;

6.4 Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água;

6.5 Até 2030, implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis, inclusive via cooperação transfronteiriça, conforme apropriado;

6.6 Até 2020, proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos;

6.a Até 2030, ampliar a cooperação internacional e o apoio ao desenvolvimento de capacidades para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados a água e ao saneamento, incluindo a coleta de água, a dessalinização, a eficiência no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reuso;

6.b apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento (IPEA, 2019).

Os órgãos nacionais e empresas públicas já possuem ações interligadas às metas da Agenda 2030, parte do compromisso acordado pelo Brasil na conferência internacional. A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), a exemplo, publica desde de 2009 Relatórios de Conjuntura dos Recursos Hídricos, estabelecidos como apoio para avaliar o grau de implementação do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e da Política Nacional de Recursos Hídricos, mais atualmente, parte do documento é destinado a discutir como as metas para o desenvolvimento sustentável se inserem na realidade dos recursos hídricos brasileiros e sobre ações possíveis para o cumprimento do acordo firmado com a Organização das Nações Unidas (ONU).

Tendo em vista as preocupações mundiais e nacionais pela preservação dos recursos hídricos e da relação intrínseca entre as problemáticas que afligem bacias hidrográficas brasileiras e as metas da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU) para o desenvolvimento sustentável, se origina o foco do presente trabalho. Diante de tal conjuntura alarmante, é imprescindível desenvolver pesquisas que tenham como foco o entendimento das características hídricas de bacias hidrográficas inseridas em áreas urbanas, que sofrem de maneira pronunciada com a degradação e mal gerenciamento. A caracterização fisiográfica, desse modo, se apresenta como uma ferramenta para o entendimento das características geométricas, de relevo e drenagem de bacias hidrográficas. Em diferentes escalas, os dados obtidos na caracterização podem ser extraídos de mapas, imagens de satélite e fotografias aéreas. Em suma, são valores de declividade, altitude, direção de fluxo, área de drenagem, ordem dos canais determinados através do SIG ou índices adotados na análise das bacias. Seu uso fornece entendimento da bacia e dos

condicionantes hidrológicos que interferem sobre a dinâmica natural da água, auxiliando na identificação dos impactos que as mudanças no uso do solo e a ação antrópica em áreas urbanas possuem sobre os corpos hídricos (TUCCI, 2002; TUCCI; BERTONI, 2003; TUCCI, 2004).

A resolução do MDE é uma característica de grande influência na caracterização fisiográfica de bacias, a disponibilidade de dados topográficos de alta resolução possibilita análises fidedignas e mais próximas da realidade em estudos hídricos, como abordado diferentes autores a respeito das características do coeficiente de rugosidade em dados de alta resolução que resultam em modelos hidrológicos mais sensíveis e detalhados (BROWN; SPENCER; MOELLER, 2007; FEWTRELL *et al.*, 2010; GALLEGOS, SCHUBERT; SANDERS, 2009; MASON *et al.*, 2007; OZDEMIR *et al.*, 2013; SAMPSON *et al.*, 2012; TSUBAKI; FUJITA, 2010). Pernambuco conta com modelos digitais de elevação (MDE) de alta resolução, advindos do imageamento do projeto Pernambuco Tridimensional (PE3D), imageado com auxílio do sensor LiDAR. O mapeamento aéreo fotogramétrico do território estadual tem seus dados subdivididos em folhas articuladas com aproximadamente 8 Km<sup>2</sup>, segmentadas em cinco lotes para cobertura do perfilamento a laser. Cada folha tem como produto Modelo Digital de Terreno (MDT), Modelo Digital de Elevação (MDE) e ortofotos ambos com resoluções variantes de acordo com a área e tipo de dado. O levantamento de dados com resolução de até 12 centímetros foi realizado nas principais sedes municipais do estado de Pernambuco, enquanto as demais áreas do território possuem resolução de até 50 centímetros (CIRILO *et al.*, 2014).

Diversos trabalhos utilizando dados LiDAR vêm sendo desenvolvidos no estado de Pernambuco para caracterização fisiográfica de bacias (BARROS; GALVÍNIO, 2022; PESSOA NETO *et al.*, 2021; SOARES; GALVÍNIO, 2020), contribuições valiosas podem ser extraídas das análises realizadas pelos autores e corroboram com a importância do entendimento total das características de bacias hidrográficas, informações fundamentais ao planejamento e direcionamento de ações a áreas mais suscetíveis ou onde a soma de fatores cause danos em grande ou pequena escala sobre a dinâmica de fluxo e escoamento naturais (TSUBAKI; FUJITA, 2010). Frente as modificações no uso do solo e maior recorrência de eventos hidroclimáticos críticos que afetam a região em questão o objetivo da pesquisa é realizar a caracterização fisiográfica da bacia do rio Jaboatão processando os modelos digitais de elevação LiDAR em ambiente SIG, com emprego da ferramenta Hydrology; visando compreender as características geométricas, de relevo e drenagem da bacia e impactos da ação antrópica sobre a dinâmica natural. E, por fim discutir os resultados da caracterização com os Objetivos Para o Desenvolvimento Sustentável que se relacionam com o gerenciamento e conservação dos recursos hídricos.

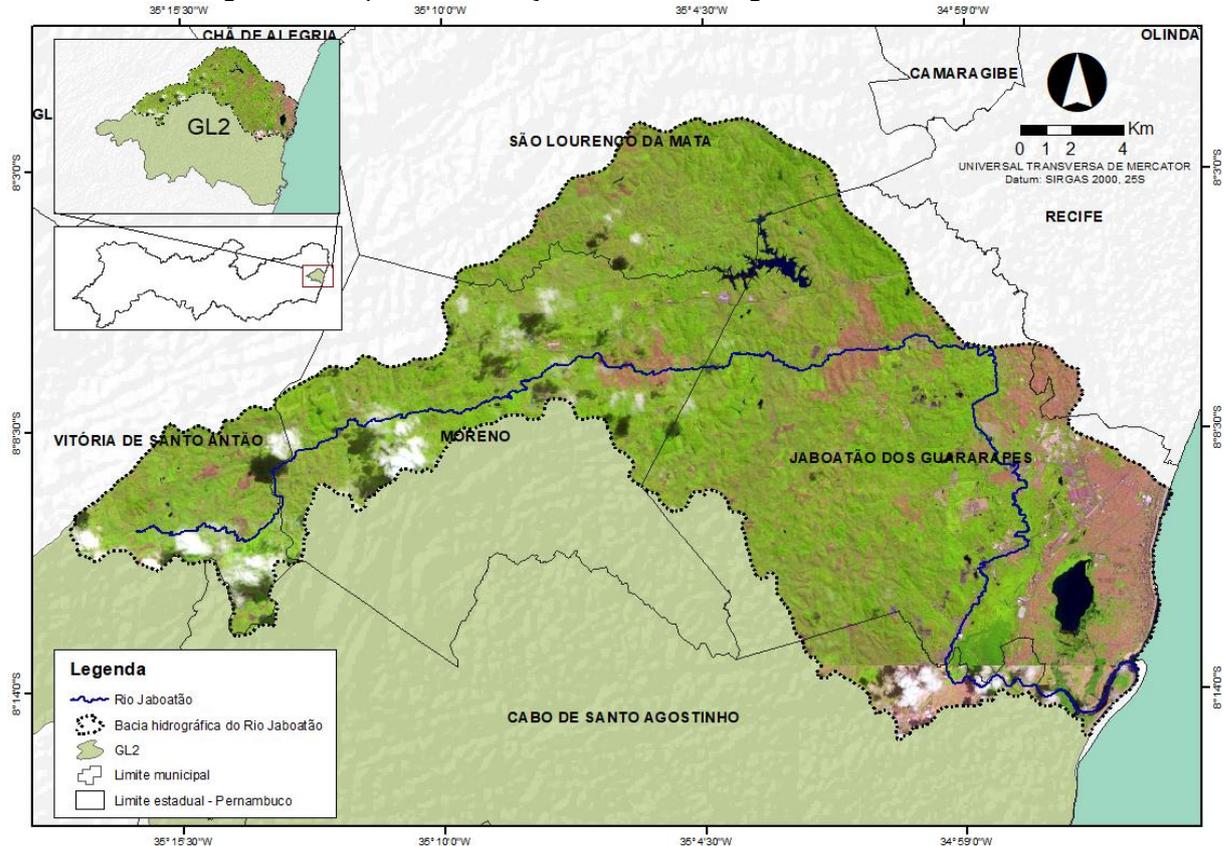
## **2 MATERIAL E MÉTODO**

### **2.1 Área de estudo**

A bacia hidrográfica do rio Jaboatão está localizada na Zona da Mata Sul de Pernambuco, nas coordenadas 08° 03' 0" e 08° 14' 0" de latitudes sul e 34° 59' 0" e 35° 15' 30" de longitude oeste. Seis municípios estão inseridos na área de abrangência da bacia: Vitória de Santo Antão, Moreno, Jaboatão dos Guararapes, São Lourenço da Mata, Cabo de Santo Agostinho e Recife (figura 1). Conforme a divisão hidrográfica do Estado de Pernambuco os Rios Jaboatão e Pirapama compõem a rede hidrológica principal, juntamente com seus afluentes, do Grupo de Bacias de Pequenos Rios Litorâneos 2 (GL2), as regiões Noroeste e Sudoeste comportam os estuários dos rios Tejiú e dos rios Massangana e Tatuoca, respectivamente. O rio Jaboatão é o sistema

hídrico mais importante do grupo de bacias, tendo como principal afluente o Rio Duas Unas na margem esquerda, onde está localizado o manancial de mesmo nome, responsável por abastecer parte da Região Metropolitana do Recife (APAC, 2022; EMBRAPA, 2021).

Figura 1 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Jaboatão



Fonte: A autora (2022).

O território da bacia é de 434 km<sup>2</sup>, possuindo o rio Jaboatão extensão de 87 quilômetros de rede de drenagem principal, com padrão de escoamento do tipo exorreico e dendrítico, isto é, as águas da bacia desaguam no mar e confluem lembrando galhos de uma árvore. A nascente do rio é localizada no município de Vitória de Santo Antão e seu exutório na planície fluvio-marinha litorânea de Barra de Jangada, bairro do município de Jaboatão dos Guararapes. O somatório de habitantes dos municípios inseridos na bacia é de aproximadamente 2.902.235 habitantes, levando em consideração os municípios com sede ou parcialmente inseridos nos limites da região. O município mais populoso com sede na bacia é Jaboatão dos Guararapes, com cerca de 711.330 habitantes. Quanto ao uso do solo da bacia, a ocupação urbana e industrial representa a maior fração, seguidas por áreas cultivadas com cana de açúcar e policultura (IBGE, 2010; PEREIRA; SOUSA, 2020). Segundo o relatório de bacias hidrográficas da Agência Estadual de Meio Ambiente CPRH (PEREIRA; SOUSA, 2020), 70% carga de poluição orgânica que chega ao rio é de origem doméstica, ou seja, maior parte da bacia é contaminada devido a área urbana inserida nos limites de médio e baixo curso do rio.

Quanto aos fatores climáticos que influem sobre o regime de precipitação na bacia, a região é sazonalmente sucumbida a eventos de precipitação extremos, característicos da região litorânea e da zona da mata pernambucana, decorrentes da

ação de sistemas climáticos variados. De acordo com a classificação de Köppen o clima da bacia é do tipo AS', isto é, quente e úmido com chuvas de outono-inverno (GOMES, 2005). A Massa Tropical Atlântica (MTA), de característica quente e úmida, que se origina sobre o Atlântico Sul, a partir da célula de alta pressão subtropical, age a maior parte do ano sobre a faixa costeira oriental do Nordeste brasileiro alcançando as vertentes do planalto da Borborema, resultando em precipitações. Perturbações secundárias também atuam sobre o clima, são causa do deslocamento da Zona de Convergência Intertropical, Vórtices ciclônicos (VC) de alta troposfera, avanços da Frente Polar e os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs), todos causam índices pluviométricos elevados. De maio a julho concentram-se os maiores índices de precipitação, são os meses mais críticos para região (GIRÃO; CORRÊA; GUERRA, 2006), a abundância de chuvas culmina em enchentes, inundações e deslizamentos, decorrentes diretos da ocupação irregular de áreas de risco que potencializam processos naturais e afetam os componentes do ciclo hidrológico das bacias hidrográficas.

A geomorfologia e geologia da bacia também é propulsora das problemáticas que afetam a população residente em seus limites, a suscetibilidade natural à ocorrência de risco é acentuada pela interferência antrópica na paisagem e processos naturais. Rochas do embasamento cristalino pré-cambriano compõem em maior fração a bacia, seguidas por sedimentos terciários da Formação Barreiras. Geomorfologicamente a bacia está dividida em duas unidades principais: a superfície pliocênica e a planície costeira. A área de pediplano da Borborema, com altitudes mais elevadas na área de abrangência da bacia, constitui a paisagem característica da Zona da Mata Sul, com regiões muito dissecadas devido a ação da rede hidrológica do rio Jaboatão. A região costeira, com cotas altimétricas menores, é resultado das variações do nível do mar desde o final do Terciário. Transgressões e regressões marinhas acumularam pouco a pouco sedimentos de origem fluviomarina e cordões litorâneos na costa (GOMES, 2005).

## **2.2 Procedimentos metodológicos**

Para caracterização fisiográfica da bacia do rio Jaboatão foram utilizados os rasters do projeto Pernambuco tridimensional (PE3D), derivados do imageamento do sensor remoto de varredura a laser Light Detection and Ranging (LiDAR) para o Estado de Pernambuco. Os dados foram cedidos ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (SERGEO), associado ao departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco, pelo Governo do Estado de Pernambuco.

A resolução espacial dos MDEs utilizados para caracterização é de 2 metros para toda bacia. Em ambiente SIG foi modelado o fluxo de água em superfície com emprego da ferramenta Hydrology, a partir de seu uso foi possível obter dados de direção de fluxo, acúmulo de escoamento, ordem da rede de drenagem e comprimento de fluxo, além dos demais valores necessários para cálculo dos índices adotados. Para obtenção dos dados de declividade da bacia a ferramenta de terreno Surface foi empregada utilizando os MDEs LiDAR.

Os atributos fisiográficos adotados para caracterização foram divididos em três parâmetros: geometria, relevo e rede de drenagem, adaptando a metodologia de Tonello (2005). Os dados processados são base para cálculo dos índices fisiográficos adotados; a síntese dos atributos utilizados, bem como equações e metodologias empregadas para cada coeficiente, esta apresentada na tabela 1.

Tabela 1 – Tabela de atributos fisiográficos adotados para análise da bacia do rio Jaboaão

<b>Atributos fisiográficos adotados</b>			
<b>Parâmetros</b>	<b>Índices adotados</b>	<b>Equação</b>	<b>Metodologia</b>
Geométricos	Área da bacia	Determinado pelo SIG	Tonello (2005)
	Perímetro da bacia	Determinado pelo SIG	Tonello (2005)
	Comprimento axial	Determinado pelo SIG	Tonello (2005)
	Coefficiente de compacidade	$Kc = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$	Villela e Mattos (1975)
	Fator de forma	$Kf = \frac{A}{L_{axial}^2}$	Villela e Mattos (1975)
	Circularidade	$Ic = \frac{12,57.A}{P^2}$	Tonello (2005)
Relevo	Declividade mínima	Determinado pelo SIG	EMBRAPA (2018)
	Declividade máxima	Determinado pelo SIG	EMBRAPA (2018)
	Declividade do curso d'água principal	$S = \frac{(H_{máx} - H_{mín})}{L_p}$	Villela e Matos (1975)
	Altitude mínima	Determinado pelo SIG	-
	Altitude máxima	Determinado pelo SIG	-
	Altitude da Nascente	Determinado pelo SIG	-
	Altitude da Foz	Determinado pelo SIG	-
	Amplitude altimétrica	$H_m = H_{max} - H_{min}$	Strahler (1952)
Relação de Relevo	$Rr = \frac{H_m}{L_p}$	Christofoletti (1969)	
Rede de drenagem	Ordem dos canais	Determinado pelo SIG	Strahler (1957)
	Densidade de drenagem	$Dd = \frac{L_t}{A}$	Cardoso <i>et al.</i> (2006)
	Sinuosidade do curso d'água	$Sin = \frac{L_p}{L_{axial}}$	Stipp <i>et al.</i> (2010)
	Comprimento do curso d'água principal	Determinado pelo SIG	-
	Comprimento total do curso d'água	Determinado pelo SIG	-
	Extensão média do escoamento Superficial	$Lm = \frac{A}{4.L_p}$	Villela e Mattos (1975)

*A= área total; P = Perímetro total; L<sub>axial</sub> = comprimento axial; Kc = Coeficiente de compacidade; K<sub>f</sub> = Fator de forma; Ic=circularidade; I<sub>mín.</sub> = Declividade mínima; I<sub>max.</sub> = Declividade máxima; S = Declividade do curso d'água principal; H<sub>máx.</sub> = Altitude máxima; H<sub>mín</sub> = Altitude mínima; H<sub>nasc</sub>= Altitude Nascente; H<sub>foz</sub> = Altitude foz; H<sub>m</sub>= Amplitude altimétrica; Rr=Relação de relevo; Gc= Gradiente de canais; Oc= Ordem dos canais; Dd = Densidade de drenagem; Sin = Sinuosidade do curso d'água; L<sub>p</sub> = Comprimento do curso d'água principal; L<sub>t</sub> = Comprimento total do curso d'água; L<sub>m</sub>=Extensão média do escoamento superficial.*

Fonte: A autora (2022).

Para a análise geométrica, os índices expressam a relação indissociável entre a forma da bacia hidrográfica, o padrão de drenagem e o escoamento de água. Para

cálculo do parâmetro geométrico foram determinados pelo SIG área, perímetro e comprimento axial. As equações foram utilizadas para cálculo do coeficiente de compacidade, fator de forma e circularidade da bacia. O Coeficiente de Compacidade (Kc) expressa a relação entre perímetro da bacia e a circunferência de um círculo. O resultado do coeficiente é um valor adimensional que varia conforme o grau de regularidade da bacia, o coeficiente mínimo é uma unidade que representa bacias circulares, enquanto bacias alongadas possuem valores de Kc maior (TEODORO *et al.*, 2007; VILLELA; MATTOS, 1975). O cálculo do coeficiente foi obtido pela seguinte equação, onde P é o perímetro e A área total da bacia:

$$Kc = 0,28 \times P/\sqrt{A} \quad (1)$$

O Fator de Forma (Kf) expressa a relação entre comprimento axial e a área da bacia hidrográfica. Assim como Kc o resultado de Kf é um valor adimensional, quando menor o fator de forma menos sujeita a enchentes é a bacia, valores próximos ou iguais a uma unidade indicam alto grau de sujeição a enchentes (TEODORO *et al.*, 2007; VILLELA; MATTOS, 1975). O cálculo de Kf é obtido pela seguinte equação, onde A é área e L\_axial o comprimento axial da bacia:

$$Kf = A/(L_{axial}^2) \quad (2)$$

O Índice de Circularidade (Ic) se assemelha ao Coeficiente de Compacidade, resultados que tendem a unidade aproximam de formas circulares, à medida que o resultado diminui a forma da bacia tende a ser alongada (TONELLO, 2005). O cálculo de Ic é obtido pela seguinte equação, onde A é área e p o perímetro da bacia:

$$Ic = (12,57.A)/P^2 \quad (3)$$

Para a análise do relevo, os índices expressam a relação entre topografia e padrão de escoamento. Os índices selecionados buscam entender os condicionantes topográficos a qual estão submetidos a bacia em questão, tendo em vista investigar as particularidades do relevo e suas relações com a drenagem. Para cálculo do parâmetro, os valores referentes as declividades e altitudes foram determinados pelo SIG. Para Declividade do curso d'água principal, Amplitude altimétrica e Relação de Relevo foram utilizadas equações. A Amplitude Altimétrica (Hm) é resultado da subtração entre as altitudes máximas e mínimas presentes na bacia (STRAHLER, 1952). O cálculo de Amplitude altimétrica é obtido pela seguinte equação, onde H<sub>máx</sub> é altitude máxima e H<sub>min</sub> a altitude mínima:

$$Hm = H_{máx} - H_{min} \quad (4)$$

A Declividade do curso d'água principal (S) é a razão entre as cotas máximas e mínimas do relevo e o comprimento do curso de água principal. Na medida em que o valor de S da bacia cresce, aumentará o desnível entre a nascente e sua foz (SCHUMM, 1956; VILLELA; MATOS, 1975). Para calculo do índice foi utilizada a seguinte equação, onde H<sub>máx</sub> é a cota máxima, H<sub>min</sub> a cota mínima da bacia e Lp o comprimento do curso de água principal:

$$S = (H_{máx} - H_{min})/Lp \quad (5)$$

A Relação de Relevo (Rr) expressa a relação entre Amplitude altimétrica e comprimento do canal principal. O valor representa o desnível entre a nascente e foz da bacia, à medida que o valor de Rr cresce o desnível aumentará (CHRISTOFOLETTI, 1969; SCHUMM, 1956). O cálculo de Rr é obtido pela seguinte equação, onde  $H_m$  é amplitude altimétrica e  $L_p$  o comprimento do canal principal:

$$Rr = H_m/L_p \quad (6)$$

O último parâmetro utilizado para caracterização é rede de drenagem, que representa a condição dos fluxos na bacia e mensura sua dimensão. Para cálculo dos índices foi determinado em ambiente SIG o comprimento total e principal do curso de água na bacia hidrográfica. Os índices de Densidade Drenagem, Sinuosidade do curso de água principal e Extensão média do escoamento Superficial foram obtidos através de equações. A Densidade de Drenagem (Dd) demonstra o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem da bacia, formado pelo rio principal e seus tributários, indicando a eficiência da drenagem. Dd expressa a relação entre comprimento total do curso de água e a área da bacia (CARDOSO *et al.*, 2006). Para cálculo foi utilizada a seguinte equação, onde  $L_t$  é comprimento total do curso de água e  $A$  a área da bacia:

$$Dd = L_t/A \quad (7)$$

A Sinuosidade do curso de água (Sin) expressa a relação entre comprimento do canal principal e comprimento axial da bacia, classificando a rede de drenagem como sinuoso ou retilínea de acordo com o valor resultante (ALVES; CASTRO, 2003; STIPP *et al.*, 2010;). Seu cálculo é obtido a partir da seguinte equação, onde  $L_p$  é comprimento do curso de água principal e  $L_{axial}$  o comprimento axial da bacia:

$$Sin = L_p/L_{axial} \quad (8)$$

A Extensão média do escoamento Superficial ( $L_m$ ) se expressa pela relação entre área da bacia e comprimento do curso de água principal. A equação considera a possibilidade de representar a relação entre o escoamento e a precipitação de uma bacia (VILLELA; MATTOS, 1975). O cálculo do índice é obtido a partir da seguinte equação, onde  $A$  é a área da bacia e  $L_p$  o comprimento do curso de água principal:

$$L_m = A/(4.L_p) \quad (9)$$

Os parâmetros fisiográficos adotados são indissociáveis e se complementam no entendimento dos padrões hídricos da bacia, compreender tais características é de suma importância para o manejo e gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos de bacias hidrográficas urbanas.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tabelas 2, 3 e 4 apresentam os valores oriundos da caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, obtidos com emprego das ferramentas em ambiente SIG e índices adotados na caracterização da bacia, e elucidam os padrões hídricos da região. Conforme salientam Barros e Galvêncio (2022), a análise sistêmica dos fatores atuantes sobre o recorte espacial de uma bacia hidrográfica permite dimensionar o comportamento hídrico natural das bacias e

compreender a variabilidade da ocorrência de eventos hidrológicos críticos e os impactos da ação antropogênica, a caracterização é um procedimento que pode elucidar as várias questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional se alinhado a dados climáticos, geomorfológicos, pedológicos, ambientais, socioeconômicos e políticos, contribuindo com a gestão e planejamento de bacias. Teodoro *et al.* (2007), corroboram neste sentido com Barros e Galvêncio (2022), os autores salientam que o entendimento das características físicas de uma bacia é de grande importância na avaliação hidrológica e estabelecem dados para conhecer e dimensionar a dinâmica local.

A bacia do rio Jaboaão possui 434,34 Km<sup>2</sup> de área e 137,11 km de perímetro, com média dimensão, a bacia comporta diferentes condicionantes da sua rede de drenagem, que são decisivos no formato alongado do alto curso, e de maior circularidade no médio e baixo curso. O escoamento fluvial da bacia é do tipo exorreico e padrão de drenagem dendrítico, ou seja, a água precipitada em seus limites segue seu fluxo até o oceano Atlântico Sul e a configuração de seus canais se aproxima de galhos de uma árvore configurando o padrão de drenagem dendrítico. O parâmetro geométrico, expresso pelos índices apresentados na tabela 2, está relacionado a condicionantes da forma da bacia, parâmetro essencial para entender seu grau de circularidade e suscetibilidade a enchentes e inundações. Tonello (2005) e Villela e Mattos (1975) discutem que a forma mais alongada ou circular de bacias hidrográficas está relacionada a fatores geológicos, que têm influência decisiva sobre processos hidrológicos ou no comportamento hídrico de bacias. Kubota *et al.* (2020), corroboram com os autores e afirma que o controle litoestrutural das rochas reflete sobre os processos geológicos e geomorfológicos da paisagem, e conseqüentemente sobre o controle de fluxo de escoamento em bacias hidrográficas.

Tabela 2 – Resultados dos parâmetros geométricos aplicados para a bacia do Rio Jaboaão

<b>Parâmetros Geométricos</b>	
<b>Índices adotados</b>	<b>Resultados</b>
Área da bacia	434,34 Km <sup>2</sup>
Perímetro da bacia	137,11 Km
Comprimento axial	39,94 Km
Coeficiente de compacidade	1,842096
Fator de forma	0,272279
Índice de circularidade	0,2904

Fonte: A autora (2022).

A forma da bacia, representada pelos coeficientes de compacidade, fator de forma e índice de circularidade, tem influência direta sobre a suscetibilidade a ocorrência de eventos de inundação. A bacia Jaboaão apresenta Kc de 1,842096 e Kf de 0,27279 o que indica formato alongado não sujeito a grandes eventos de enchentes e inundações em condições normais de precipitação, isto é, quando o tempo decorrido entre a ocorrência da precipitação e o escoamento da água até o exutório for suficiente para que a água seja drenada com eficiência. Kc e Kf são valores adimensionais que variam de acordo com o formato da bacia, para bacias alongadas menos suscetíveis às enchentes o coeficiente de Kc é significativamente superior a 1, para o fator de forma, que relaciona a forma de uma bacia a um retângulo, valores de Kf baixos indicam menor sujeição a enchente (CARDOSO *et al.*, 2006; VILLELA; MATTOS, 1975). O índice de circularidade baixo também corrobora com os

resultados de Kc e Kf em determinar a menor possibilidade de ocorrência de eventos hidrológicos extremos.

Nos trabalhos realizados por Silva e Girão (2020) e Pessoa Neto *et al.* (2021) resultados semelhantes foram encontrados para a bacia do rio Jaboatão, Silva e Girão (2020) obtiveram valor de coeficiente de compacidade de 2,6, e, Pessoa Neto *et al.* (2021) obtiveram valor de 2,83 para Kc e 0,25 para Kf, que indicam, assim como observável na tabela 1, baixa tendência de eventos de inundação na área da bacia. Mesmo com tais resultados de baixa ocorrência é importante salientar que eventos hidrológicos críticos são cada vez mais recorrentes na bacia do Rio Jaboatão, decorrentes de alterações a superfície de escoamento da bacia, ocupada por grandes núcleos urbanos, que degradam a vegetação e impermeabilizam as superfícies de infiltração. As mudanças climáticas também são fatores de influência no acontecimento de eventos hidrológicos críticos, que configuram danos socioeconômicos graves a vida dos residentes na bacia. Nobrega e Farias (2016) analisam a ocorrência de eventos extremos pluviais do município de Jaboatão, especificamente as reverberações da atuação de Distúrbio ondulatório de Leste (DOL) ocorrido em 2005 e concluem

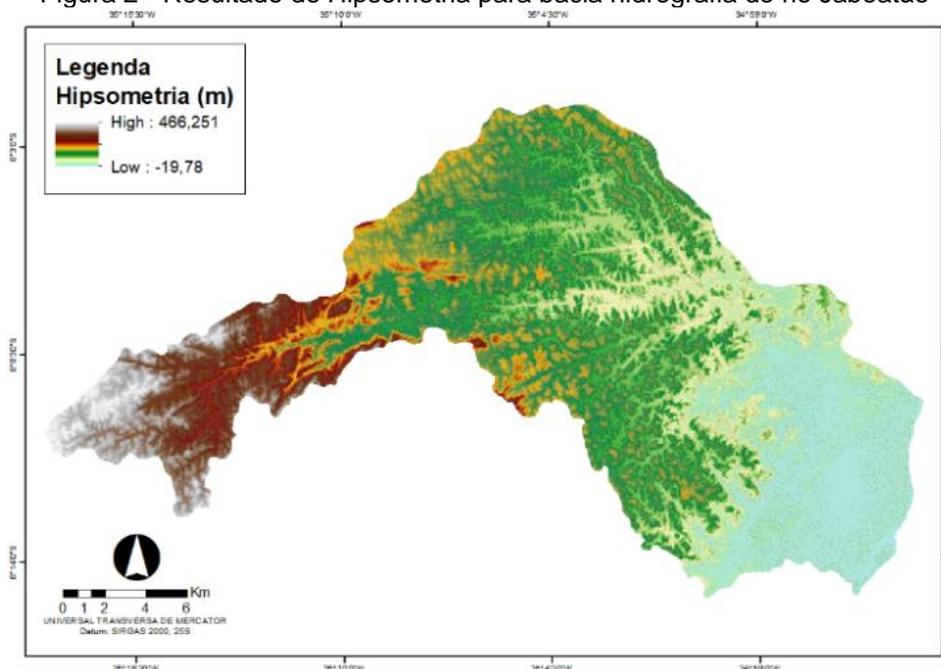
De fato, a relação morfologia urbana e transformações espaciais em conjunto com eventos extremos de precipitação torna-se uma ameaça à vida humana, na medida em que áreas sujeitas a alagamentos e enchentes colocam em risco a população que ocupa áreas indevidas. A dinâmica do crescimento urbano de Jaboatão dos Guararapes favorece situações caóticas e preocupantes durante o período de chuva, causadas por impactos meteóricos do campo pluviométrico. O conhecimento da climatologia de eventos extremos vem, então, somar com as informações hidrogeográficas, morfológicas e da dinâmica urbana, subsidiando tomadas de decisões dos atores públicos, comunitários. (NOBREGA; FARIAS, 2016, p. 81).

Eventos hidrometeorológicos críticos ainda mais catastróficos ocorreram nos anos posteriores a 2005, a exemplo, as inundações que atingiram o estado de Pernambuco em 2010, em que 70% do volume de chuva esperado para o mês de junho foi registrado em 24h, provando enxurradas violentas ao longo das margens dos rios Una e Jaboatão, região mais afetada pelo episódio (BANCO MUNDIAL, 2012); e, as inundações causadas pela chuva em maio de 2022, que deixou inúmeros mortos e causou danos às populações residente na bacia Jaboatão. A tendência é que eventos críticos sejam acentuados devido às mudanças climáticas, intensificando os eventos de precipitação extrema que acometem periodicamente a costa Oriental do Nordeste brasileiro. Neste sentido o ODS 11 expõe a necessidade de tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis, a meta 11.5 versa objetivamente a respeito da carência de planejamento hídrico aliado às particularidades urbanas e que leve em consideração as vulnerabilidades sociais e áreas de risco. Visando atuar sobre tal lacuna a Agenda 2030 estabelece como meta ao Brasil

11.5 Até 2030, reduzir significativamente o número de mortes e o número de pessoas afetadas por desastres naturais de origem hidrometeorológica e climatológica, bem como diminuir substancialmente o número de pessoas residentes em áreas de risco e as perdas econômicas diretas causadas por esses desastres em relação ao produto interno bruto, com especial atenção na proteção de pessoas de baixa renda e em situação de vulnerabilidade (IPEA, 2019).

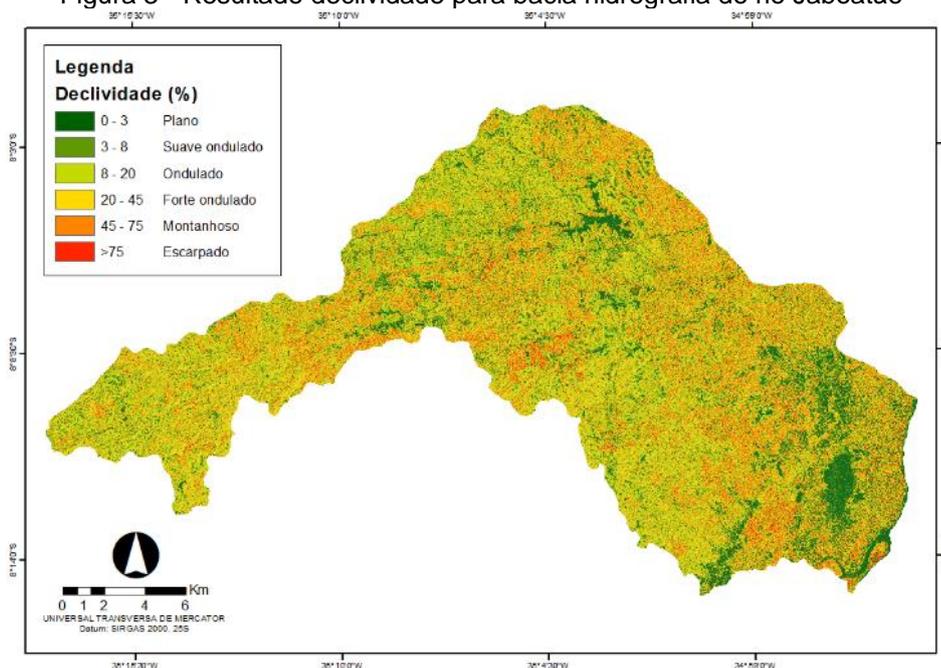
O parâmetro de relevo, expresso pelos índices apresentados na tabela 3, é de grande influência sobre os fatores hidrodinâmicos e meteorológicos, principalmente na velocidade de escoamento e na maior ou menor tendência de armazenamento da água na superfície e depressões. Em função da altitude há modificação dos elementos climáticos como temperatura, precipitação e evaporação, que regem os processos hidrológicos (PAZ, 2004; TUCCI, 2004). Para Ozdemir *et al.* (2013), na avaliação de escala da rugosidade do relevo, é de suma importância dimensionar a velocidade de escoamento superficial e as características do relevo que influem hidraulicamente sobre os processos de escoamento e infiltração, são adições valiosas em modelos de previsão de inundação e auxiliam na compreensão dos efeitos gravitacionais desempenhados pelo relevo em eventos de inundação, elucidando o aumento ou diminuição da vazão e suscetibilidade a enchentes pronunciadas que acometem as bacias. As figuras 2 e 3 exibem a hipsometria e declivada para bacia do Rio Jabotão, as altitudes máximas e médias dominam grande parte da bacia devido a geomorfologia da Formação Barreiras, que exerce influência sobre grande parte da bacia. As máximas altitudes concentram-se na região oeste, com valor máximo de 466,251 metros, enquanto os valores mínimos se limitam à região leste, que corresponde a planície flúvio-marinha, no nível do mar. A declividade máxima registrada é de 89% indicativo de relevo escarpado, em acordo com a classificação adotada pela EMBRAPA (2018) na classificação dos valores de declividade do relevo. O registro de declividades acentuadas está concentrado no limite entre a formação barreiras e a planície fluviomarinha, já no baixo curso a Leste, a área compreende aos tabuleiros sedimentares do Grupo Barreiras bastante dissecados em virtude do domínio morfoclimático próprios de climas tropicais úmidos (JATOBÁ; SILVA, 2022).

Figura 2 - Resultado de Hipsometria para bacia hidrografia do rio Jabotão



Fonte: A autora (2022).

Figura 3 - Resultado declividade para bacia hidrografia do rio Jaboatão



Fonte: A autora (2022).

Os índices de Relação de relevo (Rr) e Declividade do curso d'água principal (S) estão relacionados a características de rugosidade da bacia, influente no que se refere a fase terrestre dos componentes do ciclo hidrológico, ou seja, infiltração, escoamento, e aumento e diminuição da velocidade de vazão que são inter-relacionados a interferência de fatores antropogênicos como a impermeabilização dos interflúvios e obras de canalização de bacias. Gallegos, Schubert e Sanders (2009) em sua análise de inundações urbanas modeladas com dados de alta resolução discorrem sobre a necessidade de entender em totalidade as características topográficas de áreas de risco de inundação, relacionando avaliação de danos a fatores econômicos, sociais e ambientais. Os valores de declividade do curso de água principal e Relação de relevo possuem o mesmo resultado, 5,32 m/Km, sugerindo baixa declividade geral da bacia tanto em relação ao canal principal como em relação amplitude altimétrica. Pessoa Neto *et al.* (2021) encontraram valores semelhantes ao calcular a Relação de relevo para bacia do rio Jaboatão, corroborando com valores calculados.

Tabela 3 – Resultados dos parâmetros de relevo aplicado para a bacia do Rio Jaboatão

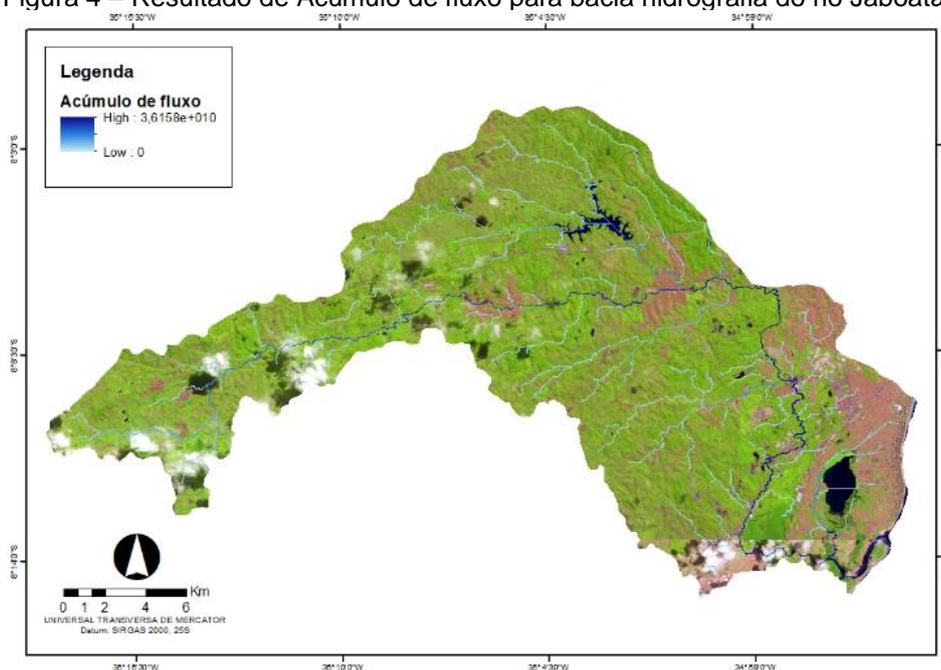
<b>Parâmetros de Relevo</b>	
<b>Índices adotados</b>	<b>Resultados</b>
Declividade mínima	0%
Declividade máxima	89%
Declividade do curso d'água principal	5,32 m/Km
Altitude mínima	0 m
Altitude máxima	466,251 m
Altitude da Nascente	388 m
Altitude da Foz	0 m
Amplitude altimétrica	466,251m
Relação de Relevo	5,32 m/Km

Fonte: A autora (2022).

Cabe pontuar que a análise e conhecimento do relevo é essencial para o planejamento de bacias, devido à complexidade de interações entre fluxo d'água e características topográficas da bacia, sobretudo em áreas urbanas onde a microtopografia representa fator expressivo sobre o escoamento d'água. A distribuição e suscetibilidade dos atributos topográficos pode ser usada como medida da variabilidade dos processos atuantes sobre a bacia hidrográfica, bem como discutem Ozdemir *et al.* (2013) e Fewtrell *et al.* (2010), a escala de rugosidade do terreno exerce influência sobre o fluxo de água em superfície, especialmente em áreas urbanas que possuem topografias complexas. A exemplo, Dias e Vieira (2022), na avaliação de parâmetros morfométricos para entendimento da suscetibilidade e magnitude dos movimentos de massa e corrida de detritos nas bacias hidrográficas da Serra do Mar, utilizam índices do padrão de relevo para dimensionar os processos de movimento de massa, concluindo que altos índices de rugosidade e Rr indicam bacias mais propensas a deslizamentos, informações que contribuem com o conhecimento das características da bacia e mapeamento das área de riscos.

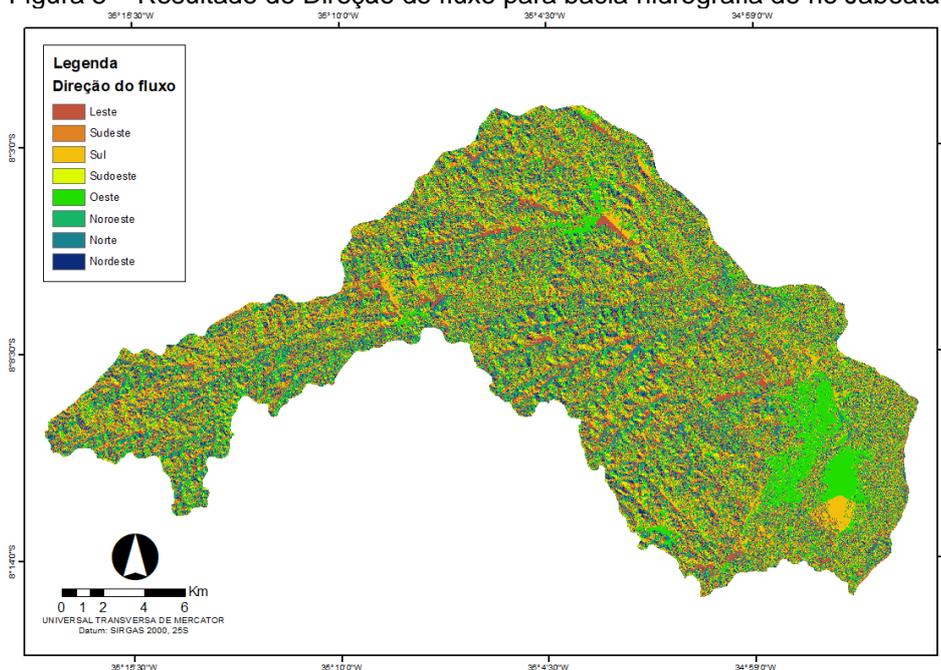
O último parâmetro fisiográfico é o de rede de drenagem, expresso pelos índices apresentados na tabela 4, apresenta as características do sistema de drenagem da bacia do rio Jaboatão. Dimensionar o tamanho da rede de drenagem total e principal de uma bacia é importante, pois seu grau de desenvolvimento vai estar atrelado a capacidade de escoamento e velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica. No dimensionamento de eventos hidrometeorológicos extremos as informações de drenagem, associadas aos parâmetros geométrico e de relevo, são essenciais na tomada de decisões e prevenção de danos socioeconômicos e ambientais. As figuras 4 e 5 exibem os resultados dos dados LiDAR processados em ambiente SIG para a bacia hidrográfica do rio Jaboatão, representam o acúmulo de fluxo e direção do fluxo da bacia em questão.

Figura 4 – Resultado de Acúmulo de fluxo para bacia hidrografia do rio Jaboatão



Fonte: A autora (2022).

Figura 5 – Resultado de Direção do fluxo para bacia hidrografia do rio Jaboatão



Fonte: A autora (2022)

O resultado dos índices fisiográfico (tabela 4) indicam que a bacia do rio Jaboatão detém grau de ramificação significativo, o rio possui canais de 6° ordem, baseado na classificação proposta por Strahler (1957) no ordenamento de canais de bacias hidrográficas, o resultado reflete no grau de ramificação e bifurcação da drenagem da bacia, com 87,61212 Km de curso d'água principal e 399,37845 Km na soma de todos os canais de drenagem. Entretanto, a melhor forma de dimensionar o grau de desenvolvimento da bacia é dado pelo índice de Densidade de Drenagem, de acordo com Villela e Mattos (1975) o índice expõe a eficiência de drenagem da bacia, ou seja, a conversão de precipitação em escoamento com caminho de fluxo até o exutório. De acordo com os autores o índice varia 0,5 Km/Km<sup>2</sup>, para bacias com drenagem pobre, a 3,5 Km/Km<sup>2</sup> para bacias excepcionalmente bem drenadas. O valor de densidade de drenagem do rio Jaboatão é de 0,91 Km/Km<sup>2</sup>, sugerindo que a densidade de drenagem possui valor mediano. Silva e Girão (2020) e Pessoa Neto et al. (2021) identificaram resultados ligeiramente mais elevados, mas ainda dentro da classificação de bacias de densidade de drenagem mediana, respectivamente os valores apresentados pelos autores são de 1,62 Km/Km<sup>2</sup> e 1,14 Km/Km<sup>2</sup> para bacia do rio Jaboatão. Quanto à sinuosidade do curso d'água, Alves e Castro (2003) classifica seus valores a partir de números adimensionais, canais retilíneos possuem valor igual ou próximos a 1, enquanto canais sinuosos possuem valores maiores que 2. O valor de sinuosidade da bacia Jaboatão é de 2,193593 indicando que o rio apresenta significativa sinuosidade na relação estabelecida entre a extensão de seu canal principal e o comprimento axial da bacia.

Tabela 4 – Resultados dos parâmetros da Rede de Drenagem aplicados para a bacia do Rio Jaboatão

Parâmetros da Rede de Drenagem	
Índices adotados	Resultados
Ordem de canais	5°
Densidade de drenagem	0,91 Km/Km <sup>2</sup>
Sinuosidade do curso d'água	2,193593

Comprimento do curso d'água principal	87,61212 Km
Comprimento total do curso d'água	399,37845 Km
Extensão média do escoamento Superficial	1,239 km

Fonte: A autora (2022)

O último índice do parâmetro de drenagem é a extensão média do escoamento superficial, o valor é definido como o tempo médio que a água da chuva teria que escoar até chegar no canal de drenagem mais próxima e seguir o caminho de fluxo da bacia, supondo que o escoamento se dá em linha reta até o ponto mais próximo do curso de água. Embora a extensão média do escoamento superficial sofra diferentes alterações, decorrente das rugosidades do terreno, o valor é uma estimativa da distância média e pode ser utilizado na previsibilidade do tempo transcorrido entre o evento de precipitação e a drenagem da água (VILLELA; MATTOS, 1975). O valor da extensão média do escoamento superficial observável na tabela 4, para a bacia do rio Jaboatão, é de 1,239 Km, valor que corrobora com os demais índices da bacia, que indicam média densidade de drenagem. Na comparação geral dos parâmetros a bacia Jaboatão apresenta forma alongada, com baixa suscetibilidade a ocorrência de enchente. As características de rede de drenagem e relevo também corroboram com a baixa tendência a eventos extremos, porém, mesmo com tais constatações, eventos críticos são registrados periodicamente. Soares e Galvêncio (2020), na caracterização fisiográfica da bacia do rio Beberibe, utilizando dados LiDAR, argumentam que apesar de todos os índices adotados não indicaram uma área propensa fisicamente a ocorrência de enchentes, há registros do acontecimento de inúmeros eventos na bacia Beberibe, incluindo a marcante cheia de 1975, que deixou Recife e sua Região Metropolitana submersa. O fator motivador para que ambas as bacias se contraponham aos resultados da caracterização fisiográfica está nos fatores antropogênicos. Beberibe e Jaboatão abarcam em seus limites grandes núcleos urbanos da Região Metropolitana do Recife, que prejudicam o funcionamento dos processos que controlam o movimento da água, isto significa comprometimento dos componentes do ciclo hidrológico natural das bacias. Nesta perspectiva, Anschau *et al.* (2018) salientam que ambientes fluviais urbanos sofrem com a progressiva impermeabilização que ocasiona aceleração da velocidade de escoamento e diminuição do tempo de concentração, elevando a vazão de pico das bacias, efeito que tende a ser acentuados com estimativas de crescimento das áreas urbanas, e a maior frequência de extremos pluviais. A meta 13.1 do ODS 13, prevê esforços para “Ampliar a resiliência e a capacidade adaptativa a riscos e impactos resultantes da mudança do clima e a desastres naturais.”, dados morfométricos relativos ao escoamento superficial e vazão das bacias são contribuições valiosas para caracterizar a realidade das bacias, resultando em melhoria no planejamento e direcionamento de ações a áreas mais suscetíveis ou onde a soma de fatores cause danos em grande ou pequena escala.

Há vastas discussões sobre o papel desempenhado pela caracterização fisiográfica no processo de gestão e gerenciamento das bacias hidrográficas, diferentes autores discorrem sobre a importância de compreender os processos naturais em totalidade e elucidar como bacias urbanas, mesmo com índices que indicam baixa suscetibilidade a ocorrência de intempéries hidrológicas, apresentam episódios de enchentes e inundações periódicos associados a inputs de precipitação elevados, como afirmam Barros e Galvêncio (2022) e Soares e Galvêncio (2020) é essencial subsidiar o manejo e ocupação de bacias hidrográficas, com

reconhecimento das áreas de maior impacto e fragilidade a partir do conhecimento morfométrico das unidades. A Lei nº 9.433, nesse sentido, é um marco importante para governança e gerenciamento dos recursos hídricos brasileiros, compreender a bacia hidrográfica como unidade de planejamento permite avançar nos estudos e dimensionar com maior facilidade as problemáticas ambientais emergentes na atualidade. Carvalho (2014), usando como parâmetro o Plano de Recursos Hídricos (PRH) e o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), reflete sobre a necessidade de avaliar de forma integrada o ambiente fluvial, incorporando a construção do planejamento fatores naturais, socioeconômicos, culturais e políticos no dimensionamento de problemáticas e construção de planos de ação para os recursos hídricos. O autor salienta que muitas vezes os planejamentos estão desvinculados da Lei de Uso e Ocupação do Solo, o que pode representar graves problemas de gestão, visto que os tipos de ocupação do território da bacia influem significativamente sobre a dinâmica hidrológica, alterando a capacidade natural de escoamento e infiltração das áreas de interflúvios, em particular em ambientes urbanos, onde o desordenamento construtivo impacta o funcionamento natural dos corpos hídricos. Atualmente, em detrimento do acordo firmado durante a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável em setembro de 2015, o Brasil possui um sistema de análise dos indicadores, o ODS 6 tem monitoramento realizado pela ANA em parceria com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), além das contribuições do Ministério da Saúde (MS), o Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) e o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) no monitoramento dos indicadores (ANA, 2022). Há uma evolução notória nos rumos da gestão dos recursos hídricos no Brasil com o alinhamento aos ODSs, mas, o caminho para sua concretização exige ações interligadas e pesquisa para entendimento das problemáticas que afligem as bacias hidrográficas em diferentes escalas.

O Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) 2022-2040, em atual processo de construção, segue as boas experiências obtidas durante a implementação do plano anterior, seguindo como premissa a avaliação de fatores relevantes em relação aos usos dos recursos hídricos e as problemáticas enfrentadas. O plano tem caráter orientador e permite a divisão de atribuições entre as diferentes escalas de ação, permitindo aos planos de bacias hidrográficas, a nível estadual, se aprofundar em temas e questões expressivas em suas escalas espaciais (ANA, 2021), ou seja, o entendimento total das características de fisiográficas de bacias hidrográficas, nesse sentido, fornece informações essenciais no processo decisório, e na prevenção e mitigação dos efeitos de eventos hidrometeorológicos críticos e na valorização da água como recurso socioambiental relevante. Os resultados da análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Jaboatão permitem identificar características relevantes para evolução da gestão, fornecendo dados e informações sobre as características hídricas da bacia.

Destaca-se, por fim, que todos os atributos fisiográficos adotados para caracterização da bacia do Rio Jaboatão defrontam-se com adversidades que influem sobre a dinâmica de escoamento da bacia, culminando na ocorrência de desastres hidrológicos e hidroclimáticos que afetam a região de estudo. Assim como, na análise dos parâmetros morfométricos as metas do Objetivo Para o Desenvolvimento Sustentável são indissociáveis e necessitam de ações integradas para alcançar sua concretização na prevenção e mitigação dos danos causados por tais adversidades.

### **3.1 Como educação e ODSs se alinham no gerenciamento de bacias hidrográficas**

A gestão efetiva de bacias hidrográficas não depende apenas do entendimento de características de relevo e drenagem, a mobilização e engajamento social é exercício da cidadania e favorece a construção de planos de ação dos recursos hídricos aliados aos interesses e bem estar de toda a sociedade. Não há mudança verdadeira sem sensibilização e empoderamento da sociedade quanto aos problemas hidrológicos e ambientais que circundam cotidianamente os indivíduos nas áreas urbanas e rurais. A Bacia do Rio Jaboatão possui comitê de bacia ativo, o Comitê de Bacia Metropolitana Sul, que dá voz a integrantes da sociedade civil, líderes comunitários e representantes de movimentos sociais e ambientais na tomada de decisões e discussões sobre o rumo do gerenciamento da bacia. Entretanto, é necessário maiores esforços para integrar ao gerenciamento de bacias a sociedade como um todo; exemplos como o “Diálogo Interbacias de Educação Ambiental em Recursos Hídricos”, estratégia de educação ambiental formulada pelo governo de São Paulo, são de extrema relevância no fortalecimento de ações de gestão dos recursos hídricos, e permite que a população entre em contato com temáticas e problemas que afligem as bacias em diferentes níveis, visando sensibilizar a população quanto às problemáticas e seus vetores.

O Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco (PERH/PE) prevê no volume I do tomo III, terceira fase de execução do plano, ações de mobilização e participação social na atualização do PERH/PE. As ações do projeto estão inter-relacionadas ao ODS 17- parcerias e meios de implementação - que busca fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável. Entre as estratégias adotadas PERH/PE na promoção de participação social está a educação ambiental. Desde o final da década de 1990, com a ascensão dos movimentos ambientalistas a Educação Ambiental ganha força e exerce papel decisivo na mobilização social e sensibilização sobre as questões ambientais emergentes naquele momento. É somente 1999 que é sancionado o PNEA, legislação que trata exclusivamente da Educação Ambiental, e de sua promoção social, de extrema relevância posto o cenário de emergência das questões ambientais, climática e de garantia de segurança hídrica. A criação do Plano Nacional de Educação Ambiental é um marco para educação e meio ambiente, e ocupa até hoje grande importância na formulação de planos de ação ambiental com enfoque em diferentes âmbitos de ação. Educar para sustentabilidade é essencial, seja a nível de educação formal, com ações desenvolvidas nas instituições de ensino básico, ou a nível de educação popular/comunitária em diferentes âmbitos e espaços, na busca por uma democracia participativa. Desse modo, projetos com enfoque popular ou educacional, podem ser desenvolvidos na interface entre educação ambiental e gestão dos recursos hídricos, objetivando sensibilizar a maior parte possível da sociedade sobre as questões que envolvem as bacias hidrográficas brasileira e o papel que a ação humana representa na degradação e prejuízos a dinâmica natural. É papel do Estado estimular a participação social na construção dos planos de ação e comitês de gerenciamento das bacias, a fim de garantir o direito a água e segurança hídrica (SORRENTINO; MENDONÇA; FERRARO JUNIOR, 2005).

Sendo a água um direito humano a gestão sustentável e integrada das bacias hidrográficas perpassa a mobilização social e garantia da democracia participativa. A adição de ações de educomicação socioambiental no âmbito do Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco, tendo em vista que grande parcela da sociedade possui acesso as redes sociais e canais de informal digital, a utilização de ferramentas disponíveis para produção de conteúdo significativo e com reponsabilidade social, pode contribuir significativamente com os objetivos para disseminação da Educação

Ambiental previsto no PNEA. Experiências semelhantes foram desenvolvidas de modo interdisciplinar por Battaini (2016) para bacia hidrográfica do rio Corumbataí, a autora obteve resultados positivos no desenvolvimento de pensamento crítico quanto as questões de conservação dos recursos naturais.

A divulgação científica e engajamento social por meio do uso da educomunicação socioambiental como estratégia, permite a promoção e disseminação das questões ambientais e de sustentabilidade. Sulaiman (2010) destaca o papel dos meios de comunicação na difusão do conhecimento científico, tal processo se dá pelo contato com a informação e conhecimento científico a partir de tais meios, a ação crítica e reflexiva parte da obtenção de informação e posterior debate e apropriação das questões ambientais e de sustentabilidade, emergentes na atualidade.

Diferentes metas da Agenda 2030, para o desenvolvimento sustentável possuem potencialidade para usos educativos em, alinhando as estratégias de educomunicação ao tratado internacional. Especificamente as metas das ODS 6, 11 e 13, que tratam respectivamente sobre a água, cidades sustentáveis e mudanças climáticas, possuem grande potencial de concretização com a inserção da educomunicação socioambiental como estratégia, fortalecendo a participação das comunidades locais na gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos, bem como a participação ativa nos comitês, importantes para governança da água. Pagnoccheschi (2016) discorre que a importância da governança dos recursos hídricos brasileiros não está relacionada apenas ao tamanho colossal das bacias hidrográficas que o Brasil detém em seus limites territoriais, é um modelo estratégico de cooperação e parceria entre os diferentes atores sociais com foco na garantia de justiça hídrica e democracia no acesso e preservação das unidades de planejamento hídrico.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os índices de Coeficiente de compacidade, Fator de Forma, Circularidade, Declividade do Curso de água Principal, Amplitude Altimétrica, Relação de Relevo, Densidade de Drenagem, Sinuosidade do Curso de Água e Extensão média do Escoamento Superficial indicam que a bacia do Rio Jaboaão possui baixa propensão a enchente em condições normais de precipitação. O aumento dos inputs de precipitação extremos e formas de uso do solo que afetem componentes do ciclo hidrológico natural da bacia são as principais causas das enchentes e inundações que afetam a região. A caracterização fisiografia se mostrou eficiente no que diz respeito a obtenção das características morfometrias da bacia do Rio Jaboaão, seus dados quando avaliados de forma sistêmica e integrada com dados de uso do solo podem contribuir com a gestão dos recursos hídricos. Quanto ao alinhamento dos resultados as metas da Agenda 2030, da ONU, pode-se concluir que o entendimento das características hídricas de bacias hidrográficas, sobretudo em áreas urbanas, fornece um panorama das alterações antrópicas sobre os recursos hídricos. O resultado pode ser utilizado de modo integrado aos planos de gestão da bacia, visando atuar sobre os agentes que causam alterações das características naturais da bacia hidrográfica.

#### **5 REFERÊNCIAS**

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **ODS 6 no Brasil** : visão da ANA sobre os indicadores / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2. ed. Brasília: ANA, 2022.

ANSCHAU, A. R.; RECKZIEGEL, T.; DA SILVEIRA, F.; MACHADO, F. M.; AMARAL, F. G. Avaliação da Expansão Urbana e seu Impacto na Dinâmica de Escoamento Superficial da Bacia Hidrográfica do Arroio Itaquarinchim de Santo Ângelo–RS. **Engevista**, v. 20, n. 5, p. 772-791, 2018.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Bacias Hidrográficas: GL-2**. 2022. Disponível: [www.apac.pe.gov.br](http://www.apac.pe.gov.br). Acesso: 13 ago. 2022.

ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análises de padrões de lineamentos. **Rev. Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 2, p. 117-1245, 2003.

BANCO MUNDIAL. **Avaliação de perdas e danos**: inundações bruscas em Pernambuco, Junho de 2010. Brasília, DF, 2012.

BARROS, J. P. F. G.; GALVÍNCIO, J. D. Caracterização fisiográfica das bacias hidrográficas do rio Una e Mundaú utilizando dados do LiDAR, Pernambuco 3D. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 05, p. 2671-2688, 2022.

BATTAINI, V. **Educomunicação socioambiental no contexto escolar e conservação da bacia hidrográfica do rio Corumbataí**. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico**, v. 2010, p. 11, 2010.

BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos, **Lei 9.433**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 8 de jan. de 1997.

BRASIL. Política Nacional de Educação Ambiental, **Lei 9.795**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 27 de abr. 1999.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p.241-248, 2006.

CARVALHO, R. G. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 36, p. 26-43, 2014.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**, 2.ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, São Paulo, 1980. 188 p.

CIRILO, J. A.; ALVES, F. H. B.; SILVA, L. D.; CAMPOS, J. H. A. L. Suporte de informações georreferenciadas de alta resolução para implantação de infraestrutura e planejamento territorial. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 4, p. 755-763, 2014.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Atlas do meio físico do município do Jaboatão dos Guararapes**. Estado de Pernambuco. 1997.

DIAS, G. P.; ELLDORF, B.; SANTOS, N. T. S. **Setorização de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa, enchentes e inundações: Jaboatão dos Guararapes-Pernambuco**. CPRM, 2019. (Relatórios Técnicos)

DIAS, V. C.; VIEIRA, B. C. Parâmetros morfométricos e corridas de detritos: índice de suscetibilidade e magnitude de bacias hidrográficas na Serra do Mar. **GEOSP espaço e tempo**, v. 26, n. 6 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018

FEWTRELL, T. J.; DUNCAN, A.; SAMPSON, C. C.; NEAL, J. C.; BATES, P. D. Benchmarking urban flood models of varying complexity and scale using high resolution terrestrial LiDAR data. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 36, n. 7-8, p. 281-291, 2011.

GALLEGOS, H. A.; SCHUBERT, J. E.; SANDERS, B. F. Two-dimensional, high-resolution modeling of urban dam-break flooding: A case study of Baldwin Hills, California. **Advances in water resources**, v. 32, n. 8, p. 1323-1335, 2009.

GIRÃO, Osvaldo; CORRÊA, A. C. de B.; GUERRA, A. J. T. Influência da climatologia rítmica sobre áreas de risco: o caso da região metropolitana do Recife para os anos de 2000 e 2001. **Revista de Geografia**, v. 23, n. 1, p. 3-40, 2006.

GOMES, S. C. **Diagnóstico ambiental do meio físico da bacia hidrográfica do rio Jaboatão-PE**. 2005. Dissertação (Mestrado em Geociências). Universidade Federal de Pernambuco. Recife – PE, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. Disponível: neste link. Acesso: 05 ago. 2022.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável**. 2019. Disponível: neste endereço. Acesso: 11 ago. 2022.

JATOBÁ, L.; SILVA, A. F. Estruturação natural de paisagens da Zona da Mata do estado de Pernambuco. **Revista Ciência Geográfica**, v. 26, n. 01, p. 09-33, 2022.

KUBOTA, N. A.; LIMA, A. M. M. DE; ROCHA, N. C. V.; LIMA, I. F. Hidrogeomorfologia da bacia hidrográfica do Rio Guamá-Amazônia Oriental-Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 4, 2020.

MASON, D. C.; HORRITT, M. S.; HUNTER, N. M.; BATES, P. D. Use of fused airborne scanning laser altimetry and digital map data for urban flood modelling. **Hydrological Processes**, v. 21, n. 11, p. 1436-1447, 2007.

NOBREGA, R. S.; FARIAS, R. F. L. de. Eventos extremos pluviais em Jaboatão dos Guararapes: climatologia e estudo de caso. **Revista do Departamento de Geografia**, Volume especial (2016), p. 70-82, 2016.

OZDEMIR, H.; SAMPSON, C. C.; ALMEIDA, G. A. M. DE; BATES, P. D. Evaluating scale and roughness effects in urban flood modelling using terrestrial LIDAR data. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 17, n. 10, p. 4015-4030, 2013.

PAGNOCCHESCHI, B. Governabilidade e governança das águas no Brasil. in: MOURA, A. M. M. (org). **Governança ambiental no Brasil: instituições, atores e políticas públicas**. Brasília : Ipea, 2016.

PEREIRA, S. C.; SOUSA, I. M. T. **Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco – 2018**. Recife: CPRH. 141p. 2020.

PESSOA NETO, A. G.; SOARES, A. E. P; SILVA, S. R.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, em Pernambuco, utilizando Modelos Digitais de Elevação provenientes de sensor LiDAR. **Journal Of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 11, p. 242-253, 2021.

SANTOS, A. C. G. D.; FERREIRA, M. A.; REIS, R. P.; SANTOS, G. K. M.; GOES, E. S. D. R.; CRUZ, K. D. P.; LINS, W. L. Determinação do impacto da urbanização sobre a geração de escoamento em uma bacia hidrográfica. **Educação Ambiental e Cidadania**, v. 1, n. 12, p. 187-201, 2021.

SCHUMM, S. A. Evolution Of Drainage Systems And Slopes In Badlands At Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society of America Bulletin**, v. 67, n. 5, 1956.

SILVA, C. S.; GIRÃO, O. Análise morfométrica e caracterização geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Jaboatão (BHRJ), Pernambuco. **Geosul**, v. 35, n. 75, p. 441-460, 2020.

SOARES, G. A. S.; GALVÍNCIO, J. D. Uso do LiDAR para avaliar os padrões hídricos de bacias em áreas urbanas: Caracterização fisiográfica da bacia do Rio Beberibe-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 07, p. 3659-3674, 2020.

SORRENTINO, M.; TRAJBER, R.; FERRARO JUNIOR, L. A. Educação ambiental como política pública. **Educação e Pesquisa**, v. 31, n. 2, p. 285-299, 2005.

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**, v. 3, n. 1, p. 105-124, 2010.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, n. 11, p. 1117-1142, 1952.

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

SULAIMAN, S. N. Educação ambiental, sustentabilidade e ciência: o papel da mídia na difusão de conhecimentos científicos. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 17, p. 645-662, 2011.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, v.20, p.137-157, 2007.

TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

TSUBAKI, R.; FUJITA, I. Unstructured grid generation using LiDAR data for urban flood inundation modelling. **Hydrological Processes**, v. 24, n. 11, p.1404-1420, 2010.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, RS. Vol. 7, n. 1, p. 5-27, 2002.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil. **Rega/Global Water Partnership South América**, v. 1, n. 1, p. 59-73, 2004.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3.ed. Porto Alegre: ABRH, 2004. 943p.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações urbanas na América do Sul**. Ed. Dos Autores, 2003.

UNESCO WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. **Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2021**: o valor da água: resumo executivo. UNESCO. 2021a.

UNESCO WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. **Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2021**: o valor da água; fatos e dados. UNESCO. 2021b.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.