

## GEOSPATIAL MODELING OF ENVIRONMENTAL SUSCEPTIBILITY TO WATER EROSION: A CASE STUDY OF ILHA DE ITAMARACÁ - PE

A. G. PESSOA NETO\*, K. P. V. LAFAYETTE, J. S. BEZERRA, L. C. L. SILVA, R. G. P. SILVA  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6320-8066>  
agpn@poli.br\*

Submetido 29/05/2023 - Aceito 23/12/2024  
DOI: 10.15628/holos.2024.15561

### ABSTRACT

The use of geospatial modeling in the identification of vulnerability to water erosion is configured as a resource that enables the understanding in the recovery of degraded areas. The present work aimed to establish the vulnerability to water erosion of the Jaguaribe, Maceió and Paripe river basins, considering the relationship between slope, rainfall, pedology and water erosion, land

use and occupation, through Geographic Information System (GIS) technology and the application of the AHP (Analytic Hierarchy Process). Thus, it appears that the area most susceptible to water erosion is the Maceió river basin, because it is in a highly urbanized river. Thus, the mapping of vulnerability to erosion can assist in public policies, enabling adequate environmental planning.

**KEYWORDS:** Degraded Areas, Analytic Hierarchy Process, Geographic Information System

## MODELAGEM GEOESPACIAL DA SUSCETIBILIDADE AMBIENTAL À EROSÃO HÍDRICA: ESTUDO DE CASO DA ILHA DE ITAMARACÁ - PE

### RESUMO

A utilização de modelagens geoespaciais na identificação da suscetibilidade à erosão hídrica se configura como um recurso que possibilita a compreensão na recuperação das áreas degradadas. O presente trabalho visou estabelecer a suscetibilidade da erosão hídrica das bacias dos rios Jaguaribe, Maceió e Paripe, considerando a relação entre os fatores declividade, precipitação pluvial, pedologia e uso e ocupação do solo, pela tecnologia de

Sistema de Informações Geográficas (SIG) e a aplicação do AHP (Processo Analítico Hierárquico). Verificou-se que a área mais suscetível à erosão hídrica é a da bacia hidrográfica do Rio Maceió, por compreender uma região bastante urbanizada. Assim, o mapeamento da suscetibilidade à erosão hídrica pode auxiliar em políticas públicas, possibilitando um planejamento ambiental adequado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Áreas Degradadas, Processo Analítico Hierárquico, Sistema de Informações Geográficas.

## 1. INTRODUÇÃO

A erosão é um fenômeno preocupante e de grande ameaça aos recursos do solo, à produtividade agropecuária, à biodiversidade, sendo ainda responsável, parcialmente, por impactos negativos no setor alimentício, qualidade da água, assoreamento de rios, equilíbrio de ecossistemas, pois afeta o ciclo hidrológico, causando degradação ambiental em larga escala, contribuindo para a pobreza em muitas partes do mundo (Chao et al., 2023; Oliveira et al., 2023).

Esse processo desperta grande interesse de muitos pesquisadores no que se refere às causas que levam a sua origem, evolução e controle, em razão de atingir e inutilizar extensas áreas de terras, provocando diversos impactos ambientais verificados em padrões espaço-temporais (Francisco et al., 2023). Pelos cenários de uso e cobertura do solo, foi constatada a retirada de, aproximadamente, 71 milhões de ha de vegetação nativa no Brasil, sendo o setor do agronegócio o principal responsável (Santos 2020). No cerrado, foi verificada consequências ambientais, com o bioma marcado pelas práticas agropastoris, devido ao desmatamento de, aproximadamente, 24,7 milhões de ha. (Alencar et al. 2020; Maciel et al. 2020). Essa degradação acelerada dos recursos naturais tem interferido severamente nas modificações da superfície terrestre (Chalise et al., 2019), de tal forma que a exploração em algumas regiões se apresenta sem controle e consciência de que parte dos recursos naturais são finitos ou de árdua recuperação (Riekhof et al., 2019).

Para Sartori et al. (2019), a erosão provoca perdas econômicas na escala de 40 a 490 bilhões de dólares variando de país. Telles et al. (2011) complementam que nos Estados Unidos o impacto econômico negativo promovido pela erosão do solo é de cerca de 44 bilhões de dólares/ano, enquanto nos países da União Europeia gira em torno 45,4 bilhões de dólares/ano e no Brasil, apenas no estado do Paraná, o prejuízo é contabilizado em 245 milhões de dólares/ano.

No entanto, essas informações nunca foram integradas para entender os esforços em uma modelagem geoespacial na erosão do solo, com a elaboração de mapas e a identificação da vulnerabilidade ambiental. Para a implantação de políticas ambientais, não seria possível considerar a erosão do solo se não houvesse ferramentas acessíveis para a modelagem e o mapeamento em grande escala, já que este cenário está associado ao conflito dos interesses políticos e econômicos com a forma de exploração, geralmente não sustentável (Alewel et al., 2019; Jian et al. 2022; Soares et al., 2023).

Nesse sentido, as tecnologias geoespaciais (Sensoriamento Remoto, Sistema de Informação Geográfica - SIG, técnicas de geoprocessamento, sistema de navegação por satélite, entre outros), apesar de vistos como procedimentos que levam tempo e custos para serem realizados (Martins et al., 2019; Pagan et al., 2020; Bohn et al., 2021), representam importantes recursos para analisar processos erosivos, mapeando as áreas mais vulneráveis, a fim de auxiliar no processo de prevenção e/ou recuperação de áreas degradadas (Alves et al., 2021), além de integrar as informações nos processos de modelagem para estimar as perdas de solo, estabelecendo informações qualitativas em processos de modelagem para estimar perdas de solo em bacias hidrográficas, (Martinez et al., 2003; Arabameri et al., 2020; Pal et al., 2020).

O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) tem sido aplicado em diversas áreas do conhecimento, especificamente quando se trata de questões ambientais, como geotecnologia, geomorfologia, planejamento urbano e entre outras, na determinação de áreas de vulnerabilidade ambiental, social, mapeamento de áreas suscetibilidade do solo à erosão e deslizamentos de terra. Tal método tenta reduzir a subjetividade dos mapas de suscetibilidade e perigo elaborados a partir de métodos heurísticos, e também auxilia na análise e ponderação dos parâmetros mais relevantes que podem condicionar a ocorrência de movimentos de massa (Santana, 2020; Franco et al., 2021).

Orozco et al. (2020) descrevem que o termo vulnerabilidade pode ser utilizado como indicador, que analisa os riscos à exposição e capacidade de resposta de uma área, quando relacionadas aos setores socioambiental e econômica, sob os efeitos provocados por fatores antrópicos e/ou naturais. As ações antrópicas promovem áreas vulneráveis a processos erosivos, resultando em uma fragilidade ambiental, acarretando restrições do uso do solo (Peixoto et al., 2018).

O município de ilha de Itamaracá-PE, assim como outros municípios litorâneos da região Nordeste do Brasil, passou por intervenções urbanas desordenadas a partir do final do século XX, sem a devida fiscalização do Poder Público, acarretando áreas densamente povoadas e impróprias para ocupação (Pereira & Ferreira, 2013). Além disso, o município apresenta características físico-naturais que o condicionam fortemente à ocorrência de erosões hídricas. Diante desse contexto, este trabalho busca utilizar a tecnologia do SIG em conjunto com o método AHP para desenvolver um mapa de suscetibilidade que identifique as áreas mais propensas à erosão hídrica em bacias hidrográficas do município de Ilha de Itamaracá, em Pernambuco.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO

O município de Ilha de Itamaracá está situado na Mesorregião Metropolitana e na Microrregião Itamaracá do estado de Pernambuco, restringindo-se a norte com Goiana, a sul com Igarassu, a Leste com Oceano Atlântico e a oeste com Itapissuma. A Ilha está localizada no litoral norte de Pernambuco, a 50 km do Recife, capital do estado, entre as latitudes 7° 35' S e 7° 55' S e longitudes 34° 48' W, 34° 52' W, cujo acesso é feito pelas BR-101 e PE-035 (França & Severi, 2022).

O clima da ilha é o mesmo encontrado ao longo do litoral, influenciado, constantemente, pelo fluxo do ar "caallariano". As precipitações dominantes acontecem no inverno, principalmente, pelas emissões da Frente Polar Ártica - FPA, enquanto os suprimentos do outono derivam das oscilações da Convergência Intertropical - CIT. A taxa de evaporação está abaixo da precipitação, resultando um balanço anual positivo e contribuindo para uma intensa decomposição das rochas, gerando solos agricultáveis (Bezerra, 2022). A posição geográfica da Ilha de Itamaracá garante um clima tropical típico, com temperaturas altas e umidade constante. Conforme a classificação de Köppen, o clima na ilha é do tipo As' e Am's: A temperatura média é de 27°C e a amplitude térmica em torno dos 5°C, sendo atenuada nos meses mais quentes, setembro - novembro, pelos alísios de Sudeste, estação seca no verão e chuvas frequentes no outono e no inverno (Noriega et al., 2022).

Geologicamente, a Ilha de Itamaracá está inserida na Província Borborema, formada pelos litotipos do Complexo Salgadinho, Formação Beberibe, Formação Itamaracá, Formação Gramane, Formação Maria Farinha, do Grupo Barreiras e dos Depósitos Flúvio-marinhos (Bezerra, 2022). As

suas características mais marcantes na Ilha de Itamaracá são as areias quartzo-feldspáticas claras, incoerentes, de granulação fina a média, intercaladas a argilas cinza-esverdeadas. Da base para o topo da Ilha, são encontrados: a) arenito conglomerático com estratificação cruzada acanalada, cor amarela; b) argila variegada esverdeada preenchendo fundo de canal e c) arenito médio vermelho maciço. É comum, em alguns pontos, a presença de fraturas e falhas de pequeno rejeito. Em Itamaracá, há um afloramento deste tipo, na estrada que leva à Coroa do Avião.

A vegetação do município está relacionada, principalmente, às condições de solo e clima e ação das marés. No litoral, desenvolve-se a vegetação de mangue, o que também pode ser encontrado nos cursos hídricos (Moura et al., 2022). Na praia do Sossego e na Enseada dos Golfinhos, faixa correspondente aos terraços Marinheiros Pleistocênicos, apresenta uma vegetação bastante representativa de restinga, apesar de algumas áreas estarem em degradação pela ação antrópica (Albuquerque, 2009). Nas áreas de tabuleiros da Formação Barreiras, encontram-se testemunhos da Mata Atlântica.

A hidrografia da região possui dois principais rios: Jaguaribe e Paripe (Figura 1). A principal bacia hidrográfica é a do rio Jaguaribe, com cerca de 730 km<sup>2</sup>, aproximadamente, a 9 km de extensão e 212 ha de área estuarina. O rio segue a direção Sudoeste-Nordeste com um fluxo permanente ao longo do ano. O padrão de drenagem da bacia é dendrítico e cursos d'água de extensão reduzida.

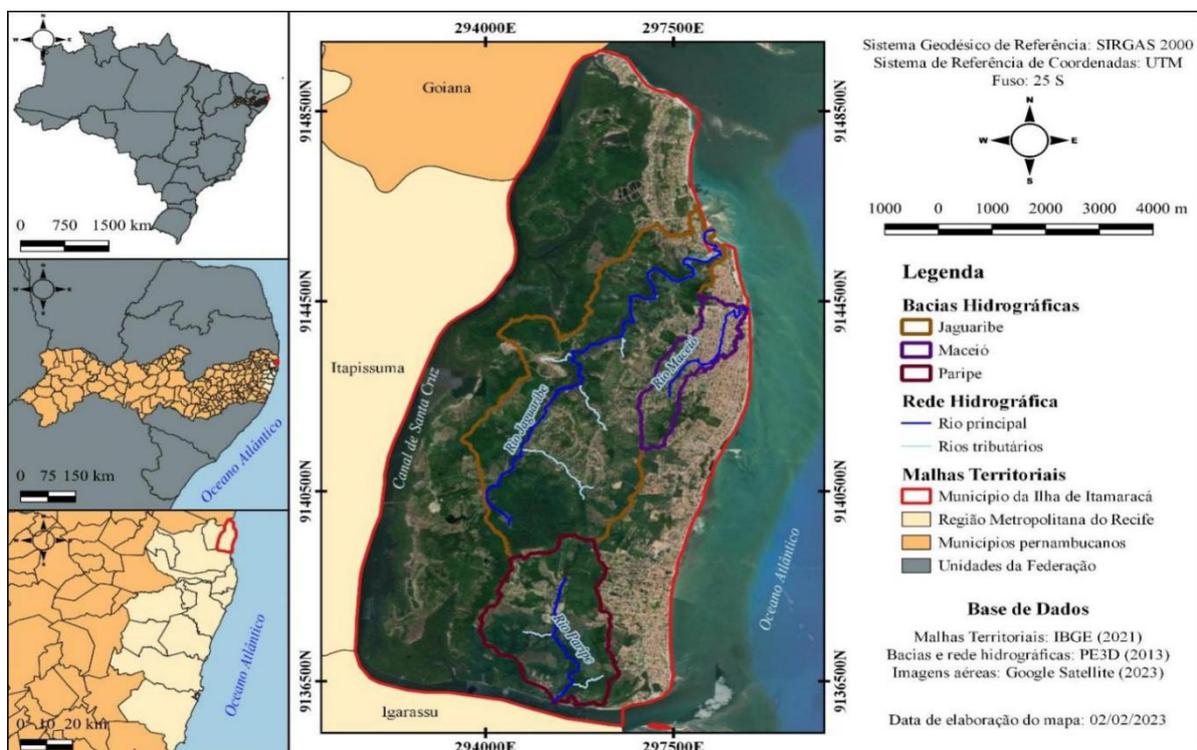


Figura 1: Localização bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe, Maceió e Paripe. Fonte: Elaborado pelos autores

O Rio Paripe está localizado ao Sul da ilha, possuindo 4 km de extensão e um estuário abrangendo uma área de 37,3 ha, dos quais 79% correspondem uma área de mangue (Moura et al., 2022). O principal corpo de acumulação é a Lagoa Pai Tomé. A rede de drenagem fluvial da Ilha de Itamaracá, no inverno, contribui com uma descarga média total de 55,9 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e no verão de 0,8 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. A Ilha é banhada em parte do seu entorno pelo Oceano Atlântico. Contornando a outra

parte ilha, separando-a do continente, encontra-se o Canal de Santa Cruz, braço de mar de 22 km de extensão, aproximadamente, largura máxima de 1,5 km e com uma área estuarina de cerca de 5,292 ha.

A hidrogeologia da região é composta por aquíferos enquadrados nos domínios da Bacia Sedimentar Paraíba e do Embasamento Cristalino. A Bacia Paraíba, no estado de Pernambuco, localiza-se na parte norte da zona costeira, estendendo-se do município de Olinda em direção ao estado da Paraíba (Maia, 2022). A sua extensão está na ordem de 750 km<sup>2</sup>.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia aplicada no desenvolvimento deste estudo pode ser visualizada na Figura 2. O mapa de suscetibilidade à erosão hídrica foi elaborado a partir dos condicionantes a este tipo de fenômeno, os quais foram selecionados por meio da recorrência em estudos semelhantes. Em seguida, foram atribuídas notas aos fatores, de acordo com o nível de suscetibilidade à erosão hídrica, para que o AHP pudesse ser aplicado. Por fim, foi realizado o processo de álgebra de mapas, resultando no mapa de suscetibilidade à erosão hídrica.

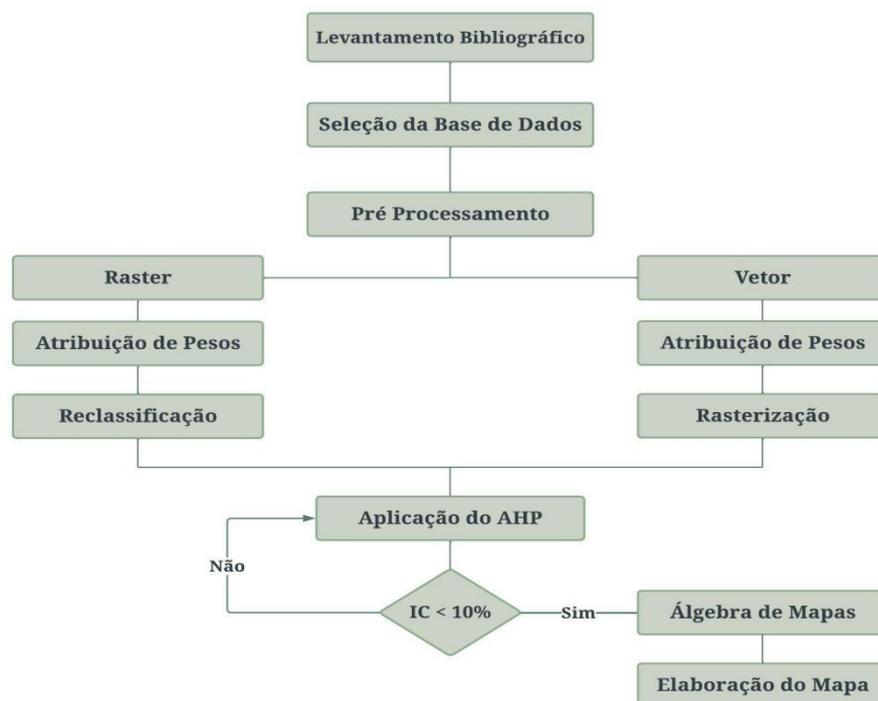


Figura 2: Sintetização dos procedimentos metodológicos. Fonte: Elaborado pelos autores

#### 3.1 Seleção dos fatores condicionantes à suscetibilidade à erosão hídrica

Buscando alcançar o objetivo proposto neste estudo, inicialmente, foi realizada uma seleção de fatores que condicionam uma bacia hidrográfica à erosão hídrica. Essa análise levou em consideração quinze estudos semelhantes provenientes do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) que utilizaram, sobretudo, a tecnologia do

SIG para a identificação das áreas suscetíveis a esses tipos de fenômenos. O Quadro 1 apresenta os estudos analisados, relacionando os autores aos fatores utilizados.

**Quadro 1: Fatores utilizados em estudos semelhantes sobre mapeamento de áreas suscetíveis à erosão hídrica**

Autores	Fatores										
	Declividade	Geologia	Geomorfologia	Hipsometria	Índices de Vegetação (NDVI)	Litologia	Parâmetros Morfométricos	Práticas Conservacionistas	Precipitação Pluvial	Pedologia	Uso e Ocupação do Solo
Aoufa et al. (2022)	X							X	X	X	X
Bensekhria e Bouhata (2022)	X							X	X	X	X
Costa et al. (2022)	X					X				X	
Ferreira et al. (2022)	X								X	X	X
França e Silva Neto (2022)	X									X	X
Bolleli et al. (2021)	X									X	X
Gomes et al. (2021)	X								X	X	X
Martins et al. (2021)	X				X				X	X	X
Neji et al. (2021)	X				X	X			X		X
Arabameri et al. (2020)							X				
Nehai et al. (2020)	X				X	X			X		
Santos e Nascimento (2020)	X			X					X	X	
Soares Júnior (2020)		X	X						X	X	X
Bedoui (2019)	X							X	X	X	X
Caldas et al. (2019)	X		X						X	X	X
<b>Total</b>	<b>13</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>11</b>

Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de revisão bibliográfica

Por essa análise, foi constatado que os fatores declividade, precipitação pluvial, pedologia e uso e ocupação do solo foram os mais recorrentes, utilizados numa diversa quantidade de estudos. Devido a essa reincidência, esses fatores também foram empregados nesse trabalho. Alguns outros fatores também foram considerados nos estudos semelhantes analisados, porém não apresentaram uma grande recorrência, como a geologia, a geomorfologia, a hipsometria, o NDVI, a litologia, os parâmetros morfométricos e as práticas conservacionistas. Portanto, esses fatores não foram utilizados neste estudo, por não apresentarem uma relevância significativa na análise.

### 3.2 Coleta e tratamento dos dados espaciais para a elaboração dos mapas temáticos

Nesta etapa, os dados espaciais empregados na elaboração dos mapas temáticos dos fatores condicionantes à suscetibilidade à erosão hídrica foram obtidos nas plataformas virtuais de órgãos oficiais. Os métodos como esses mapas foram produzidos estão descritos no Quadro 2. Todos os dados espaciais foram processados no *software* QGIS (versão 3.10.9), em coordenadas UTM e no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS).

**Quadro 2: Fontes de obtenção dos dados espaciais e métodos para a elaboração dos mapas temáticos**

Mapa	Fonte dos dados e métodos
Declividade	Elaborado no formato matricial ( <i>raster</i> ), a partir de Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução espacial de 1 metro proveniente do programa Pernambuco Tridimensional (PE3D), o qual foi produzido por perfilamento a laser aerotransportado (PE3D, 2013). As declividades apresentadas no mapa foram representadas na forma de porcentagem e agrupadas em seis categorias, a saber: 0 - 3% (plano), 3% - 8% (suavemente ondulado), 8% - 20% (ondulado), 20% - 45% (fortemente ondulado), 45% - 75% (montanhoso) e >75% (escarpado), as quais estão de acordo com a classificação proposta pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (1979).
Variabilidade espacial de precipitação	Produzida a partir de dados históricos de chuva oriundos de quatro estações pluviométricas disponíveis na plataforma da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). Esses dados correspondem a uma série histórica de 21 anos, compreendida entre o período de 1º de janeiro de 2002 a 31 de dezembro de 2022 (APAC, 2023). Diante dessas informações, foi constatado que algumas estações pluviométricas não apresentavam dados completos, ou seja, traziam algumas lacunas. Para o complementar a ausência dessas informações, foi adotado o método da regressão linear simples. Nesse método, os dados de chuva na estação com falhas são correlacionados estatisticamente com os dados de uma estação vizinha que estejam completos. Após o tratamento dos dados pluviométricos, foi utilizado o método Aritmético para a obtenção da precipitação média anual de cada estação. Em seguida, essas estações foram georreferenciadas no QGIS (versão 3.10.9) e, logo após, foi utilizada a ferramenta “Interpolação IDW” para elaboração do mapa da variabilidade espacial da precipitação da região do estudo.
Pedológico	Adquirido pela plataforma virtual da EMBRAPA no formato vetorial ( <i>shapefile</i> ) e na escala 1:100.000 (EMBRAPA, 2018). Em seguida, foi feito o recorte nessa camada, que representava os tipos de solo do estado de Pernambuco, sob o polígono da região de estudo.
Uso e ocupação do solo	Obtido pela plataforma virtual do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomias) (2023), o arquivo foi proveniente da Coleção 6, no formato matricial e com resolução espacial de 30 metros.

Fonte: Elaborado pelos autores

### 3.3 Reclassificação dos fatores quanto à suscetibilidade à erosão hídrica

Para essa etapa, os dados espaciais relativos aos fatores condicionantes à erosão hídrica foram reclassificados conforme um processo de atribuição de notas, as quais variaram numa escala de valores compreendidos entre 1 e 5, de modo que o valor 1 equivale aos critérios menos suscetíveis, ou seja, isentos a erosão hídrica e 5, aos mais suscetíveis.

Os critérios (classes) dos fatores reclassificados quanto às notas atribuídas às condições de suscetibilidade à erosão hídrica na região de estudo estão apresentados no Quadro 3. Para realizar essa reclassificação, foi utilizada, para os arquivos matriciais, a ferramenta “Reclassificar por tabela” da caixa de ferramentas do QGIS (versão 3.10.9). Já os dados espaciais de representação vetorial foram convertidos para a matricial, para que fosse possível realizar esse tipo de procedimento.

**Quadro 3: Reclassificação dos critérios dos fatores, conforme a suscetibilidade à erosão hídrica**

Mapa	Classes	Nota	Mapa	Classes	Nota
Declividade (%)	0 - 3	1	Pedologia	Solos de Mangue	1
	3 - 8	2		Argissolos	2
	8 - 20	3		Espodossolos	2
	20 - 45	4		Gleissolos	3
	45 - 75	5		Neossolos	3
	> 75	5		Área Urbana	4
Precipitação pluvial (mm)	1650 - 1675	1	Uso e ocupação do solo	Rio	5
	1675 - 1700	2		Áreas Vegetadas	1
	1700 - 1725	3		Agropecuária	3
	1725 - 1750	4		Solo Exposto	4
	1750 - 1775	5		Áreas Artificiais	4
			Corpos Hídricos	5	

Fonte: Elaborado pelos autores

### 3.4 Aplicação do AHP

O método proposto para a identificação das áreas suscetíveis às erosões hídricas se baseou na aplicação do Processo Analítico Hierárquico (AHP), cujo desenvolvimento ocorreu em meados da década de 1970, por Thomas L. Saaty. Essa metodologia abrange um procedimento voltado à tomada de decisões sobre questões complexas e que envolvem múltiplos critérios, os quais são hierarquizados e organizados em níveis de detalhamento, possibilitando ao tomador de decisões estabelecer prioridades, alcançando a melhor escolha (Gómez Romero et al., 2020; Moreira-Franco & Ortega-Ordóñez, 2021; Rodríguez-Peral et al., 2022).

Aplicando o AHP, foi estabelecida uma escala de importância pelos pesos atribuídos aos fatores avaliados, visto que cada fator representa uma determinada relevância no tocante à suscetibilidade à erosão hídrica. Dessa forma, os fatores foram dispostos numa Matriz de Comparação Pareada (Quadro 4), em que os seus pesos foram atribuídos segundo os critérios de importância da Escala Fundamental de Saaty, apresentada no Quadro 5, cujos valores variam de um a nove.

**Quadro 4: Matriz de Comparação Pareada**

Fator	Fator 1	...	Fator p	...	Fator n
Fator 1	1	...	$a_{1p}$	...	$a_{1n}$
...	...	...	...	...	...
Fator p	$a_{p1}$	...	1	...	$a_{pn}$
...	...	...	...	...	...
Fator n	$a_{n1}$	...	$a_{np}$	...	1

Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de Saaty (1977)

**Quadro 5: Escala de julgamento de importância do AHP**

Valores	Descrição da importância	Justificativa
1	Igual	Ambos os fatores contribuem equitativamente.
3	Moderada	O fator comparado é um pouco mais importante que o outro.

Valores	Descrição da importância	Justificativa
5	Essencial ou forte	Julgamento favorecendo fortemente um fator sobre o outro.
7	Muito forte	Um fator é fortemente favorecido, com demonstração na prática.
9	Extrema	O fator comparado apresenta uma importância maior do que o outro em maior nível possível.
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários	Quando há uma condição intermediária entre duas definições.

Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de Saaty (1977)

Após a Matriz de Comparação Pareada ser preenchida, foi determinado o vetor de pesos relacionado a essa matriz, de acordo com o Quadro 6, em que cada elemento do referido vetor representa a importância relativa de cada fator, quando comparado aos demais.

**Quadro 6: Vetor de pesos associado à Matriz de Comparação Pareada**

Fator	Fator 1	Fator p	Fator n	Autovetor	Pesos
Fator 1	1	$a_{1p}$	$a_{1n}$	$\bar{g}_1 = \sqrt[n]{a_{11} \times \dots \times a_{1p} \times \dots \times a_{1n}}$	$\omega_1 = \frac{\bar{g}_1}{S}$
Fator p	$a_{p1}$	1	$a_{pn}$	$\bar{g}_p = \sqrt[n]{a_{p1} \times \dots \times a_{pp} \times \dots \times a_{pn}}$	$\omega_p = \frac{\bar{g}_p}{S}$
Fator n	$a_{n1}$	$a_{np}$	1	$\bar{g}_n = \sqrt[n]{a_{n1} \times \dots \times a_{np} \times \dots \times a_{nn}}$	$\omega_n = \frac{\bar{g}_n}{S}$
Soma ( $\omega S$ )	$\sum_{p=1}^n a_{p1}$	$\sum_{p=1}^n a_{pp}$	$\sum_{p=1}^n a_{pn}$	$S = \sum_{p=1}^n \bar{g}_p$	1

Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de Saaty (1977)

Posteriormente, conforme determina Saaty (1977), foi necessário verificar a consistência dos resultados gerados. Esse procedimento foi realizado a partir do cálculo do Índice de Consistência (IC) e da Razão de Consistência (RC). A obtenção do IC foi realizada pela Equação 1.

$$IC = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \tag{1}$$

Em que n é a quantidade de fatores elencados na Matriz de Comparação Pareada e  $\lambda_{m\acute{a}x}$  é o Autovalor máximo, obtido pela Equação 2.

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{p=1}^n \frac{\omega S_p}{\omega_p} \tag{2}$$

Em que  $\sum_{p=1}^n \frac{\omega S_p}{\omega_p}$  representa o Vetor Coerência (C),  $\omega_p$ , o Coeficiente de Ponderação (peso) e  $\omega S_p$ , o Vetor Soma - todos obtidos segundo o Quadro 6.

Em seguida, foi realizado o cálculo da RC, segundo a Equação 3. Para a obtenção desse parâmetro, foram relacionados os valores do IC e do Índice Randômico (IR), que variam conforme a quantidade “n” de fatores elencados na Matriz de Comparação Pareada. Saaty (1987) propôs uma



tabela com os IR's de matrizes de ordem 1 a 10, demonstrados em laboratório, como apresenta a Tabela 1. Para este estudo, que foram aplicados 4 fatores, o valor correspondente ao IR foi de 0,90.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (3)$$

Em que IC é o Índice de Consistência e IR é o Índice Randômico.

Tabela 1: Índices Randômicos (IR)

m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty (1987).

De acordo com Saaty (1987), se a RC resultar em um valor menor ou igual a 10%, os julgamentos obtidos são consistentes.

### 3.5 Aplicação da álgebra de mapas e verificação da eficiência do mapa de suscetibilidade à erosão hídrica

Para utilização da álgebra de mapas foi utilizada a função "Calculadora Raster", encontrada no QGIS (versão 3.10.9). Para isso, os dados espaciais reclassificados dos fatores condicionantes à suscetibilidade à erosão hídrica foram relacionados aos pesos definidos pelo AHP. Como subsídio para utilização da referida função, foi aplicado o modelo matemático exibido na Equação 4.

$$M = \omega_D \times D + \omega_P \times P + \omega_S \times S + \omega_U \times U \quad (4)$$

Em que M representa o mapa de suscetibilidade à erosão hídrica, D é a declividade, P é a variabilidade espacial da precipitação, S é a pedologia, U é o uso e ocupação do solo e  $\omega$  é o peso do respectivo fator (determinado pelo AHP).

Por fim, o mapa produzido pela álgebra de mapas foi reclassificado, de modo que os pixels que detinham valores compreendidos entre zero e um, um e dois, dois e três, três e quatro e quatro e cinco representavam, respectivamente, as áreas de suscetibilidade à ocorrência de erosão hídrica consideradas como muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.

A fim de verificar a eficiência do método empregado, o mapa de suscetibilidade à erosão hídrica foi confrontado com registros fotográficos de episódios desse tipo de fenômeno ocorrido na região estudada. Esses registros foram levantados por visitas in loco, no período compreendido entre 25 de fevereiro e 1º de março de 2023, e georreferenciados, sendo possível verificar se as evidências estão situadas em locais de alta a muito alta suscetibilidade à erosão hídrica, conforme o AHP.

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da utilização do SIG, foram estabelecidos os mapas que configuram os fatores: declividade (A), índices pluviométricos (B), pedologia (C) e uso e ocupação do solo (D) que influenciam na suscetibilidade à erosão hídrica, e que foram selecionados, nas bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe, Paripe e Maceió, como apresenta a Figura 3 e a Tabela 2.

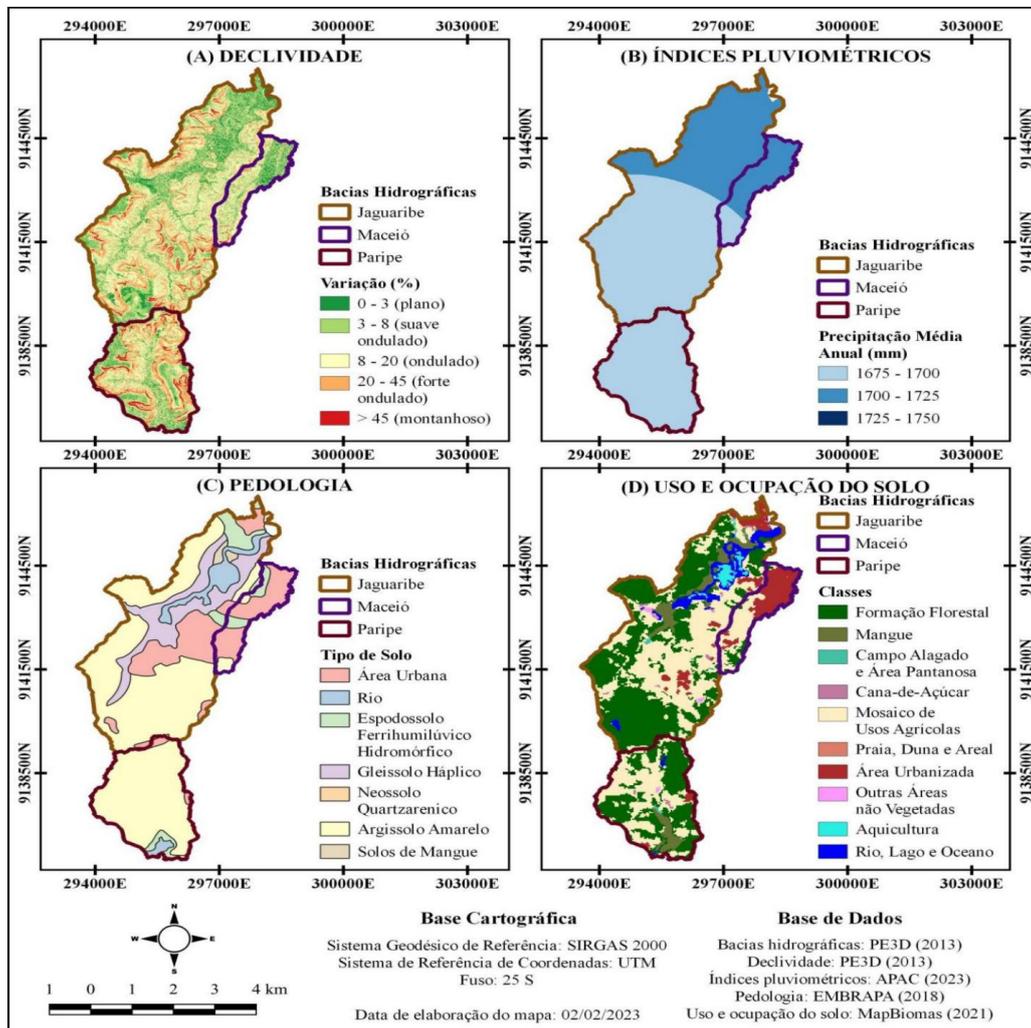


Figura 3: Representação dos fatores que influenciam na suscetibilidade à erosão hídrica elencados para este estudo  
Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 2: Taxas das declividades das bacias hidrográficas dos rios (BHR) Jaguaribe, Paripe e Maceió

Variação (%)	BHR Jaguaribe		BHR Maceió		BHR Paripe	
	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa (%)
0 - 3	2,71	16,19	0,35	15,20	1,20	20,11
3 - 8	4,89	29,25	0,48	20,82	1,30	21,77
8 - 20	4,37	26,13	0,61	26,44	1,40	23,44
20 - 45	4,10	24,52	0,83	36,09	1,56	26,01
> 45	0,65	3,91	0,03	1,44	0,52	8,66

Variação (%)	BHR Jaguaribe		BHR Maceió		BHR Paripe	
	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa (%)
<b>Total</b>	<b>16,71</b>	<b>100,00</b>	<b>2,30</b>	<b>100,00</b>	<b>5,98</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Elaborado pelos autores

Analisando as informações identificadas, é possível constatar que quanto à topografia, há uma distribuição equitativa entre as declividades consideradas como baixas e altas na bacia do rio Maceió, abrangendo, respectivamente, 36,02% e 37,53% da sua área total. Para as bacias dos rios Jaguaribe e Paripe, há um predomínio de regiões consideradas planas e suavemente onduladas, ou seja, com declividades compreendidas entre zero e 8%, que quando somadas as áreas dessas regiões, conferem 45,44% e 41,88% das suas superfícies.

O fator declividade influencia significativamente a suscetibilidade à erosão hídrica por meio de vários mecanismos, incluindo deslocamento de partículas, erodibilidade do solo e dinâmica hidrológica (Beczek et al., 2024; Soniari et al., 2024). Encostas mais íngremes tendem a aumentar a velocidade do escoamento da água, o que pode levar ao aumento das taxas de erosão (Jain et al., 2024).

Acerca da variabilidade da precipitação média anual, o intervalo dos índices pluviométricos compreendido entre 1.675 mm e 1.700 mm é o mais incidente na região estudada, abrangendo 61,64%, 24,35% e 100,00% das áreas das bacias do Rio Jaguaribe, do Rio Maceió e do Rio Paripe, respectivamente (Tabela 3). Os índices compreendidos entre 1.700 mm e 1.725 mm, que conferem média suscetibilidade à erosão hídrica, estão presentes numa porção de 38,30% da bacia do Rio Jaguaribe e em 75,65% da bacia do Rio Maceió.

**Tabela 3: Taxas dos índices pluviométricos das bacias hidrográficas dos rios (BHR) Jaguaribe, Paripe e Maceió**

Índices Pluviométricos (mm)	BHR Jaguaribe		BHR Maceió		BHR Paripe	
	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa (%)
1.675 - 1.700	10,30	61,64	0,56	24,35	5,98	100,00
1.700 - 1.725	6,40	38,30	1,74	75,65	0,00	0,00
1.725 - 1.750	0,01	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Total</b>	<b>16,71</b>	<b>100,00</b>	<b>2,30</b>	<b>100,00</b>	<b>5,98</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Elaborado pelos autores

A intensidade e disponibilidade de precipitação também influenciam no potencial de erosão e assoreamento dos rios. Quanto maior a disponibilidade de chuvas, maior será a intensidade da precipitação, o que acelera o processo de saturação do solo. A partir do momento em que o solo atinge sua capacidade de campo, inicia-se o processo de escoamento, redução da sua resistência, aumento do transporte de sedimentos e nutrientes do solo (Panagos et al., 2015; Oliveira et al., 2020).

Em relação à pedologia, pode ser verificado na Tabela 4 que a área urbana somada aos rios é identificada em grande quantidade na bacia do Rio Maceió, com 74,35% da sua área total. No

entanto, nas bacias dos rios Jaguaribe e Paripe, essas classes, que configuram alta suscetibilidade à erosão hídrica, não apresentam tanta representatividade, contemplando 22,38% e 5,52% das suas regiões, respectivamente.

**Tabela 4: Taxas da pedologia das bacias hidrográficas dos rios (BHR) Jaguaribe, Paripe e Maceió**

Tipos de solo	BHR Jaguaribe		BHR Maceió		BHR Paripe	
	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa (%)
Área Urbana	2,68	16,04	1,71	74,35	0,15	2,51
Rio	1,06	6,34	0,00	0,00	0,18	3,01
Espodossolo						
Ferrihumilúvico	0,79	4,73	0,34	14,78	0,24	4,01
Hidromórfico						
Gleissolo Háptico	2,92	17,47	0,01	0,43	0,00	0,00
Neossolo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,17
Quartzarênico						
Argissolo Amarelo	9,08	54,34	0,24	10,43	5,40	90,30
Solos de Mangue	0,18	1,08	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Total</b>	<b>16,71</b>	<b>100,00</b>	<b>2,30</b>	<b>100,00</b>	<b>5,98</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Elaborado pelos autores

Os gleissolos e neossolos, que são solos que conferem média suscetibilidade à erosão hídrica, abrangem uma área pouco significativa da região do estudo, correspondendo a taxas de 17,47%, 0,43% e 0,17%, respectivamente, relativas às bacias dos rios Jaguaribe, Maceió e Paripe. Os solos que pouco ou não contribuem com erosões hídricas, ou seja, os espodossolos, argissolos e solos de mangue, são os mais recorrentes nas bacias dos rios Jaguaribe e Paripe, representando 60,15% e 94,31% dessas regiões, respectivamente, enquanto ocupam 25,21% da área da bacia do Rio Maceió.

A pedologia influencia significativamente a suscetibilidade à erosão hídrica por meio de várias características do solo, incluindo composição mineral, estrutura agregada e estabilidade do relevo. Solos arenosos, caracterizados por partículas maiores e menor coesão, são mais propensos à erosão, pois permitem a rápida infiltração e escoamento da água. Em contraste, solos argilosos, com suas partículas finas e maior coesão, tendem a reter melhor a água, reduzindo o escoamento superficial e o potencial de erosão (Wu et al., 2024).

Quanto ao uso e à ocupação do solo, as regiões estudadas apresentam comportamentos distintos (Tabela 5). As áreas de ocupação urbana prevalecem na bacia do Rio Maceió (48,26% da área total), sobretudo na região costeira, enquanto nas bacias dos rios Paripe (1,84%) e Jaguaribe (4,67%), esse tipo de classe apresenta pouca representatividade, por ambas serem mais afastadas da porção litorânea. Também por esse motivo, a vegetação florestal pode ser constatada na maior parte das bacias dos rios Paripe e Jaguaribe, ocupando áreas respectivas a 48,33% e 45,30% das suas regiões, entretanto, a bacia do Rio Maceió configura uma taxa de apenas 9,57% relativa a essa classe.

**Tabela 5: Taxas do uso e ocupação do solo das bacias hidrográficas dos rios (BHR) Jaguaribe, Paripe e Maceió**

Classes	BHR Jaguaribe		BHR Maceió		BHR Paripe	
	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa (%)
Formação florestal	7,57	45,30	0,22	9,57	2,89	48,33
Mangue	0,79	4,73	0,00	0,00	0,34	5,69
Campo alagado	0,08	0,48	0,00	0,00	0,02	0,33
Cana-de-açúcar	0,10	0,60	0,00	0,00	0,03	0,50
Mos. de usos agrícolas	6,09	36,45	0,96	41,74	2,55	42,64
Praia, duna e areal	0,02	0,12	0,01	0,43	0,00	0,00
Área urbanizada	0,72	4,31	1,11	48,26	0,10	1,67
Outras áreas não vegetadas	0,06	0,36	0,00	0,00	0,01	0,17
Aquicultura	0,28	1,68	0,00	0,00	0,00	0,00
Rio, lago e oceano	1,00	5,98	0,00	0,00	0,04	0,67
<b>Total</b>	<b>16,71</b>	<b>100,00</b>	<b>2,30</b>	<b>100,00</b>	<b>5,98</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Elaborado pelos autores

A agropecuária representa uma classe que abrange toda região do estudo de forma significativa, principalmente pela pastagem e pelo cultivo de cana-de-açúcar e agricultura de subsistência, contemplando 37,05%, 41,74% e 43,14% das bacias dos rios Jaguaribe, Maceió e Paripe, respectivamente. Os corpos hídricos são representados pelas redes hidrográficas das bacias. O solo exposto configura uma pequena porção da região do estudo, sendo essa classe representada, em grande parte, pelas dunas e praia emersa.

O uso intensivo do solo e seu manejo inadequado vêm potencializando o processo de erosão e modificando as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, uma vez que as formações estão envolvidas no suporte ao crescimento radicular, armazenagem e suprimento de água e nutrientes, trocas gasosas e atividade biológica (Souza et al., 2020). Alterações no uso do solo, como desmatamento, urbanização ou práticas agrícolas inadequadas, reduzem a proteção natural do solo, tornando-o mais suscetível à erosão (Oliveira et al., 2023).

A Matriz de Comparação Pareada elaborada para o mapeamento das áreas suscetíveis à erosão hídrica nas bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe, Maceió e Paripe foi desenvolvida conforme o que se apresenta no Quadro 7. Ao analisar essa matriz, pode-se verificar que, de acordo com os valores dos pesos, o fator relativo ao uso e ocupação do solo foi considerado como o mais importante e a pedologia como o menos importante. O uso e ocupação do solo configura o fator mais significativo, pois influencia diretamente na impermeabilidade e o escoamento da água. Em relação aos demais, é um fator mais dinâmico e tem um impacto mais imediato, já que pode modificar rapidamente as condições do terreno e alterar o comportamento das águas precipitadas, intensificando o risco de erosão.

**Quadro 7: Vetor de pesos associado à Matriz de Comparação Pareada dos fatores que influenciam na suscetibilidade à erosão hídrica elencados para este estudo**

Fator	A	B	C	D	Pesos
Declividade (A)	1	1	4	1	0,31
Índices pluviométricos (B)	1	1	3	1/2	0,25

<b>Pedologia (C)</b>	1/4	1/3	1	1/3	0,09
<b>Uso e ocupação do solo (D)</b>	1	2	3	1	0,35

Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de Borges et al. (2023).

Após a determinação dos pesos de cada fator na Matriz de Comparação Pareada, foi necessário verificar a consistência dos seus valores. Dessa forma, obteve-se um IC igual 0,02 e uma RC igual a 2,80%. Pelo fato de a RC ser menor que 10%, as comparações realizadas podem ser consideradas confiáveis, segundo Saaty (1987).

Por fim, foi produzido o modelo matemático  $M = 0,31D + 0,25P + 0,09S + 0,35U$  para a elaboração do mapa de suscetibilidade à erosão hídrica nas bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe, Maceió e Paripe. Esse modelo foi processado pela álgebra de mapas, gerando o mapa apresentado na Figura 4.

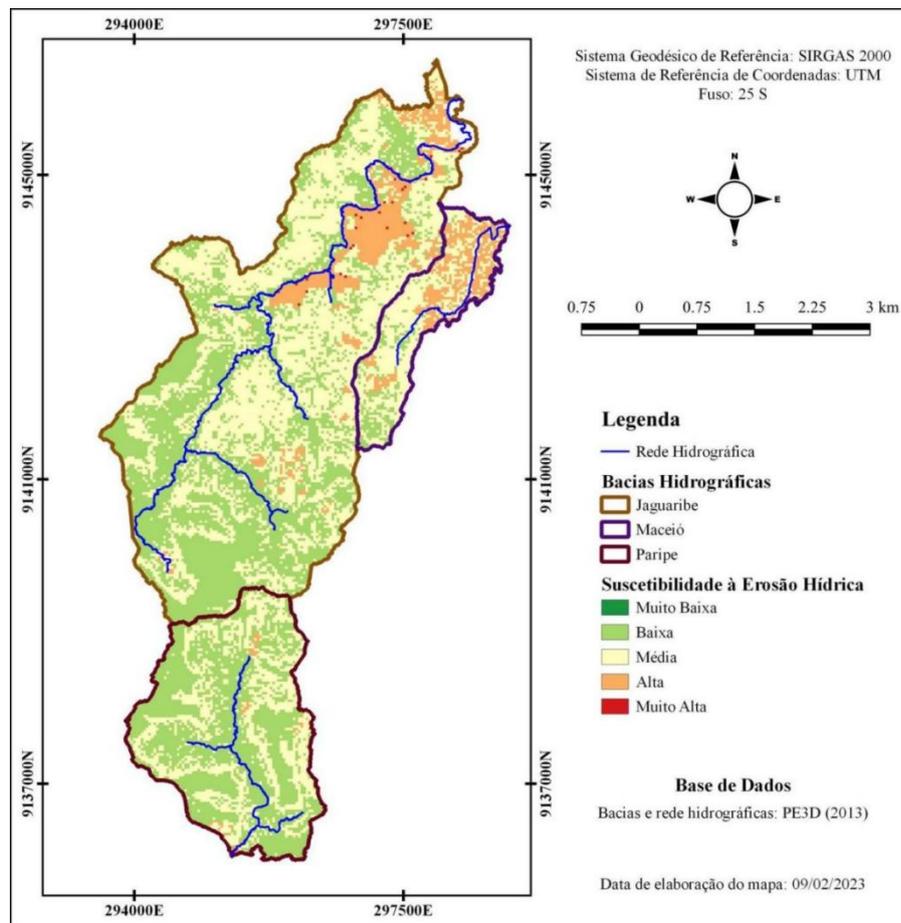


Figura 4: Mapa de suscetibilidade à erosão hídrica nas bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe, Maceió e Paripe

Pelo SIG também foi possível classificar, em taxas percentuais, a proporção das áreas suscetíveis à erosão hídrica nas bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe, Maceió e Paripe, apresentada na Tabela 6.

Tabela 6: Proporção das áreas suscetíveis à erosão hídrica das bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe, Paripe e Maceió

Suscetibilidade	Bacia do Rio Jaguaribe		Bacia do Rio Maceió		Bacia do Rio Paripe	
	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Taxa (%)
Muito Baixa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Baixa	7,35	44,01	0,32	13,92	3,76	62,83
Média	7,76	46,41	1,25	54,31	2,15	35,96
Alta	1,57	9,38	0,73	31,77	0,07	1,21
Muito Alta	0,03	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Total</b>	<b>16,71</b>	<b>100,00</b>	<b>2,30</b>	<b>100,00</b>	<b>5,98</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Elaborado pelos autores

Ao analisar a região mapeada, verifica-se que as áreas mais propensas à erosão hídrica compõem 9,58%, 31,77% e 1,21% das bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe, Maceió e Paripe, respectivamente, manifestando-se em grande parte das áreas urbanizadas, dos corpos hídricos e das regiões destinadas à prática de aquicultura. Observa-se, ainda, que a bacia do rio Maceió apresenta uma quantidade de área bastante suscetível à erosão hídrica maior que as demais bacias, por estar situada numa região de expressiva densidade urbana.

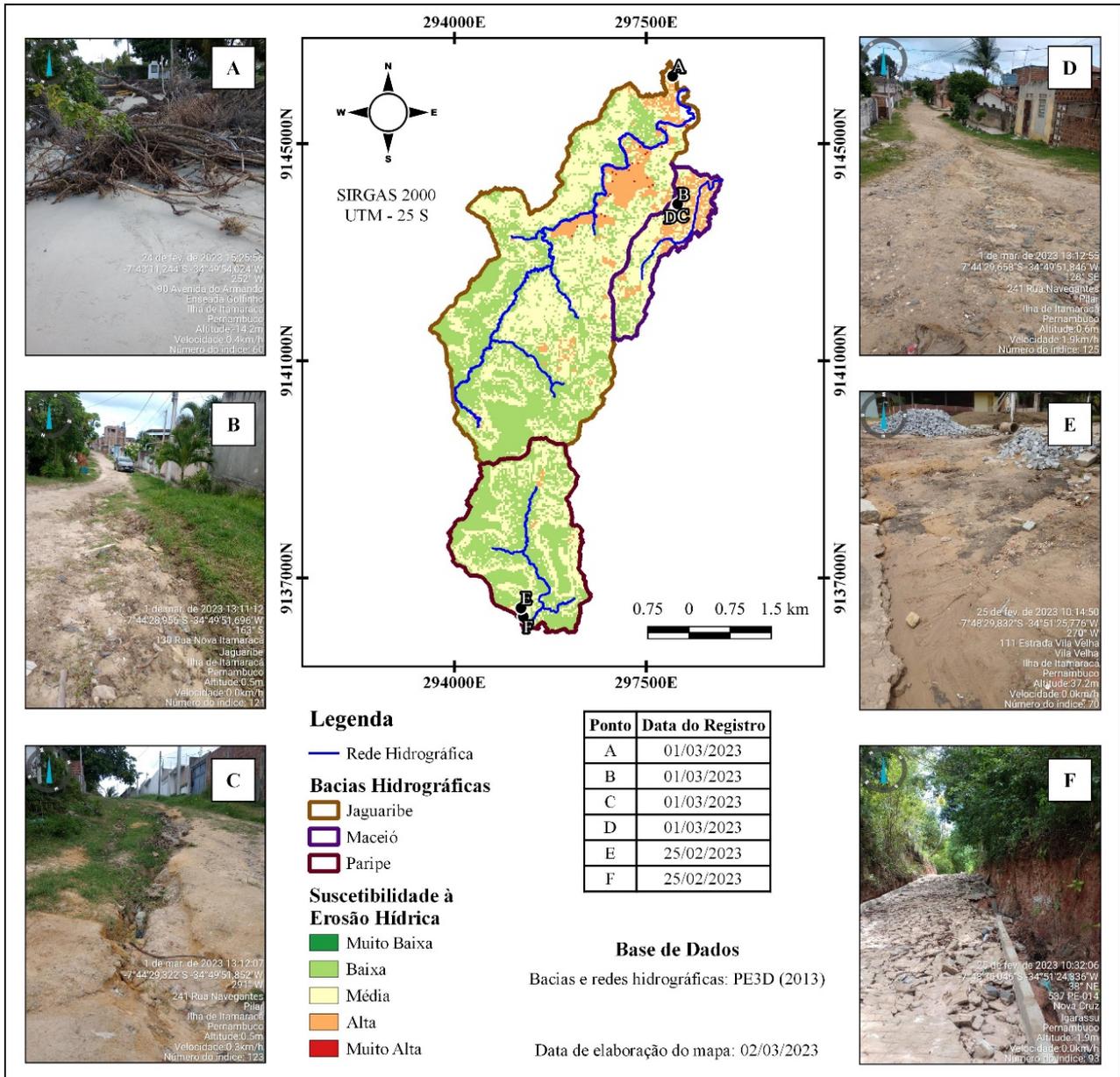
Também pôde ser constatado que as áreas de menor suscetibilidade à erosão hídrica representam, respectivamente, 44,01%, 13,92% e 62,83% das bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe, Maceió e Paripe, e estão localizadas, sobretudo, nas porções constituídas pela formação florestal e pelo uso agrícola. Essas áreas também são caracterizadas por compreender um solo mais argiloso que, conforme ressaltam Silveira et al. (2014), possuem alto risco de deslizamento, mas baixo para erosão.

A combinação de elevada declividade e uso do solo, como verificado em locais da região de estudo, influencia significativamente a suscetibilidade à erosão do solo, pois ambos os fatores afetam as propriedades do solo e os processos hidrológicos. Terrenos íngremes aumentam as forças gravitacionais no solo, enquanto diferentes usos alteram a estrutura do solo e a cobertura vegetal, impactando ainda mais as taxas de erosão (Šiljeg et al., 2024).

Em trabalhos similares foi possível encontrar resultados semelhantes aos deste estudo, como Santos e Nascimento (2020), que constataram que para a porção da bacia hidrográfica do rio São Francisco que abrange o estado de Sergipe, há uma predominância das áreas classificadas com muito baixo a moderado risco à erosão hídrica, principalmente nas regiões de baixos índices pluviométricos e declividades, cotas altimétricas elevadas, apresentando solos com textura argilosa. De maneira análoga, Basílio et al. (2019) verificaram que as regiões mais propensas à erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio Claro, em São Paulo, são as que se encontram em áreas urbanizadas, que já se estão consolidadas no local.

Buscando endossar as constatações verificadas no mapeamento neste estudo, foi realizado um levantamento de ocorrências de erosão hídrica bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe, Maceió e Paripe por visitas *in loco*, realizadas no período compreendido entre 15 e 21 de janeiro de 2023. Ao todo, foram levantados seis registros fotográficos, conforme apresentados na Figura 5, representando situações de erosão hídrica nas áreas mais propensas, de acordo com o mapeamento

produzido neste estudo. Essas verificações asseveram o nível de precisão do AHP, demonstrando a eficácia do método.



**Figura 5: Registros fotográficos de ocorrências de erosão hídrica nas bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe, Maceió e Paripe. Fonte: Elaborado pelos autores**

Conforme Ferreira et al. (2020), outro método que permite validar um mapeamento de áreas suscetíveis à erosão hídrica é o modelo *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE), que é baseado na interação entre a erosividade da chuva, a erodibilidade do solo, as influências do relevo e o uso e ocupação do solo em um ambiente SIG. Nessa perspectiva, Thomas et al. (2018) identificaram as áreas de risco de erosão hídrica da bacia hidrográfica do rio Muthirapuzha, na Índia, pelos AHP e modelo RUSLE e, pela comparação dos resultados, verificaram que a intensidade de erosão hídrica na região apresenta uma significativa concordância.

De modo geral, o mapeamento da suscetibilidade à erosão hídrica em uma região apresenta implicações práticas significativas para a gestão ambiental, pois permite intervenções direcionadas para mitigar os riscos de erosão e melhorar a sustentabilidade da terra (Ou et al., 2024). Ao identificar áreas mais propensas, os órgãos competentes podem priorizar recursos e implementar estratégias de gerenciamento eficazes (Nguyen et al., 2024).

## 5. CONCLUSÕES

A ocupação urbana desordenada margeando as bacias da Ilha de Itamaracá tem contribuído para que a região apresente suscetibilidade a erosão hídrica significativa em determinados trechos. Na bacia do Rio Maceió, em que a urbanização contempla 74,35 % da sua área total, a suscetibilidade a erosão hídrica é alta, o que pode sinalizar problemas para os habitantes da região. Tal suscetibilidade foi endossada pela declividade alta (37,53% da área total), compreendendo, ainda, um índice pluviométrico que garante a bacia um ambiente favorável a erosões hídricas.

A bacia do Rio Jaguaribe também demonstra uma suscetibilidade a erosão hídrica em função do processo de urbanização, mesmo que não tão expressivas em relação à sua área (suscetibilidade compreendendo 9,58% da bacia). A princípio, os dados podem ser de menor representação, no entanto, indicam um potencial processo de degradação na área se não houver um plano urbanístico apropriado.

Das principais bacias do município, a do Rio Paripe foi a que apresentou menor suscetibilidade a erosão hídrica na maior parte da sua área (62,83%), contrapondo-se, principalmente, por possuir uma maior área de floresta, contribuindo fortemente em demonstrar que o aumento na suscetibilidade está atrelado à ocupação urbana.

Diante disso, percebe-se que a falta de legislações específicas, bem como a efetiva aplicação das existentes em nível nacional e estadual, pode colaborar para o agravamento dos processos erosivos no município. As ações antrópicas têm sido um dos principais responsáveis pelas formas degradantes de uso dos recursos naturais, portanto, cabe aos gestores a responsabilidades de desenvolver intervenções, de modo sustentável.

E para que isso ocorra é necessário envolvê-las em um processo de planejamento ambiental, que contribua para o estabelecimento de medidas efetivas de preservação, conservação e recuperação, evitando assim estas áreas sejam degradadas em virtude da expansão urbana desordenada.

## REFERÊNCIAS

- Albuquerque, J. L. (2009). *Caracterização morfodinâmica e vulnerabilidade à erosão do litoral leste da Ilha de Itamaracá - PE*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. Recife.
- Alencar, A., Shimbo, J. Z., Lenti, F., Marques, C. B., Zimbres, B., Rosa, M., Arruda, V., Castro, I., Ribeiro, J. F. M., Varela, V. (2020). Mapping three decades of changes in the Brazilian Savanna native vegetation using landsat data processed in the Google Earth Engine Platform. *Remote Sensing*, 12(6), 924. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/rs12060924>

- Alves, W. S., Martins, A. P., Pôssa, E. M., Moura, D. M. B., Morais, W. A., Ferreira, R. S., Santos, L. N. S. (2021). Geotechnologies applied in the analysis of land use and land cover (LULC) transition in a hydrographic basin in the Brazilian Cerrado. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 22, 100495. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100495>
- Alewel, C., Borelli, P., Meusburger, K., Panagos, P. (2019). Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling. *International soil and water conservation research*, 7(3), 203-225. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.004>
- APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. *Monitoramento Pluviométrico*. (2023). Recuperado de <http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>.
- Aoufa, M., Baghdad, B., Hadi, H. E., Chakiri, S., Hamoud, A., Zoraa, N., Zerdeb, M. A., Moussa, K. (2022). Quantification and Evaluation of Water Erosion by RUSLE/GIS Approach in the Ykem Watershed (Western Morocco). *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23(5), 42-53. Recuperado de <https://doi.org/10.12912/27197050/151631>
- Arabameri, A., Tiefenbacher, J. P., Blaschke, T., Pradhan, B., Bui, D. T. Morphometric Analysis for Soil Erosion Susceptibility Mapping Using Novel GIS-Based Ensemble Model. *Remote Sensing*, 12(5), 874, 2020. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/rs12050874>
- Basilio, T. C. C., Fujimoto, J. T., Lopes, T., Ascitti, G. A. M., Lorandi, R., Lollo, J. A. (2019). Influência da Forma das Encostas na Suscetibilidade à Erosão na Bacia Hidrográfica do Rio Claro (Santa Rita do Passa Quatro, SP). *Revista Brasileira de Cartografia*, 71(1), 233-252. Recuperado de <https://doi.org/10.14393/rbcv71n1-2172>
- Beczek, M., Mazur, R., Beczek, T., Ryśak, M., Sochan, A., Gibała, K., Polakowski, C., Bieganowski, A. (2024). The effect of slope incline on the characteristics of particles ejected during the soil splash phenomenon. *Geoderma*, 441, 116757. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116757>
- Bedoui, C. (2019). Predicting water erosion in arid lands using the GIS-based RUSLE model: a case study of bedour catchment, central tunisia. *Journal Of Water And Land Development*, 40(1), 59-66. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.2478/jwld-2019-0006>
- Bensekhria, A., Bouhata, R. (2022). Assessment and Mapping Soil Water Erosion Using RUSLE Approach and GIS Tools: case of oued el-hai watershed, aurès west, northeastern of algeria. *International Journal Of Geo-Information*, 11(2), 84. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/ijgi11020084>
- Bezerra, J. S. (2022). *Análise do processo erosivo de uma encosta no bairro de Bom Jesus - Ilha de Itamaracá/PE*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Bolleli, T. M., Santana, D. B., Mauad, F. F., Andrade, M. L., Andrade, A. C. (2021). Variação Temporal da suscetibilidade erosiva no município de Boa Esperança, Sul de Minas Gerais. *Caderno de Geografia*, 31(2), 248-261. Recuperado de <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2021v31nesp2p248>

- Bohn, L., Lyra, G. B., Oliveira-Júnior, J. F., Zeri, M., Cunha-ZERI, G. (2021). Desertification susceptibility over rio de janeiro, brazil, based on aridity indices and geoprocessing. *International journal of climatology*, 41, E2600-e2614. Recuperado de <https://doi.org/10.1002/joc.6869>
- Borges, A. P. de L., Lima Júnior, A. de S., Menezes, L. A. A., Silva, S. R. da, Lafayette, K. P. V. (2023). Uso da geoinformação para análise da vulnerabilidade à erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio Goiana. *Caderno de Geografia*, 33(73), 366-391. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.5752/p.2318-2962.2023v33n73p366>
- Caldas, V. I. S. P., Silva, A. S., Santos, J. P. C. (2019). Suscetibilidade a Erosão dos Solos da Bacia Hidrográfica Lagos – São João, no Estado do Rio de Janeiro – Brasil, a partir do Método AHP e Análise Multicritério. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(4), 1415-1430, 2019. Recuperado de <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.4.p1415-1430>
- Costa, A. M., Salis, H. H. C., Araújo, B. J. R. S., Moura, M. S., Silva, V. C., Oliveira, A. R. (2022). Potencial de uso conservacionista em bacias hidrográficas: estudo de caso para a bacia hidrográfica do rio Gualaxo do Norte - MG. *Revista Geografias*, 15(2), 127-147. Recuperado de <https://doi.org/10.35699/2237-549X.2019.19891>
- Chalise, D., Kumar, L., Kristiansen, P. Land degradation by soil erosion in nepal: a review. *Soil systems*, 3(1), 12, 2019. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/soilsystems3010012>
- Chao, Z., Shang, Z., Fei, C., Zhuang, Z., Zhou, M. (2023). Spatiotemporal Analysis of Urban Expansion in the Mountainous Hindu Kush Himalayas Region. *Land*, 12, 576. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/land12030576>
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (1979). *Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos*. Súmula da 10. reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2018). *Mapa de Solos do Brasil*. Recuperado de [http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Abrasil\\_solos\\_5m\\_20201104](http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Abrasil_solos_5m_20201104)
- França, V. F. C., Severi, W. (2022). Ecomorphological relations of sympatric juveniles of Clupeiformes from a Brazilian sandy beach. *Iheringia. Série Zoologia*, 112, e2022011. Recuperado de <https://doi.org/10.1590/1678-4766e2022011>
- Ferreira, N. S., Gomes, D. J. C., Ribeiro, P. S., Pimenta, L. B., Cattanio, J. H. (2022). Vulnerabilidade do solo à erosão hídrica, região hidrográfica do Guaíba-RS. *Revista Geonorte*, 13(41), 191-210. Recuperado de <https://doi.org/10.21170/geonorte.2022.V.13.N.41.191.210>
- França, C. G., Silva Neto, J. C. A. (2022). Suscetibilidade à erosão laminar na bacia hidrográfica do igarapé do Cachorro, Itacoatiara-AM. *Revista GeoAmazônia*, 10(20), 70-91. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.18542/geo.v10i20.13659>
- Francisco, M. R., de Oliveira, A. L. P., & Furegatti, S. A. (2023). Levantamento e Análise Temporal e Evolutiva das Erosões Hídricas Lineares em uma Encosta Amostral do Córrego do Leopoldo. *HOLOS*, 3(39). <https://doi.org/10.15628/holos.2023.16482>

- Gomes, D. J. C., Lima, A. M. M., Serrão, E. A. O., Rodrigues, H. J. B. (2021). Suscetibilidade à erosão hídrica do solo: bacia hidrográfica do rio Capim (MA-PA). *Ciência e Natura*, 43, e55. Recuperado de <https://doi.org/10.5902/2179460X43123>
- Gómez Romero, J. A., Soto Flores, R., Garduño Román, S. (2020). Selección de un modelo para evaluar la sostenibilidad hidroeléctrica mediante el método AHP. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 30, 117-141. Recuperado de <https://doi.org/10.46661/revmetodoscuanteconempresa.3835>
- Jain, A., Benes, B., Cordonnier, G. (2024) Efficient Debris-flow Simulation for Steep Terrain Erosion. *Acm Transactions On Graphics*, 43(4), 1-11. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1145/3658213>.
- Jian, J., Du, X., Jiao, J., Ren, X., Auerswald, K., Stewart, R. (2022). AWESOME: Archive for Water Erosion and Sediment Outflow Measurements. *Earth Syst. Sci.* [pré-impressão] Recuperado de <https://doi.org/10.5194/essd-2022-87>
- Maciel, A. M., Picoli, M. C. A., Vinhas, L.; Camara, G. (2020). Identifying land use change trajectories in Brazil's Agricultural frontier. *Land*, 9, 1-16. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/land9120506>
- Maia, G. A. M. (2022). *Caracterização faciológica dos granulados carbonáticos da plataforma continental do estado da Paraíba, Brasil*. Dissertação de Mestrado em Geociências, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- MAPBIOMAS - Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil. (2023). *Coleções MapBiomias*. Recuperado de <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>.
- Martínez, A., Dimitriadis, Y., Rubia, B., Gómez, E., Lafuente, P. (2003). Combining qualitative evaluation and social network analysis for the study of classroom social interactions. *Computers & Education*, 41(4), 353-368. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2003.06.001>
- Martins, J. J. F., Soares, A. M., Azeiteiro, U. M., Correia, M. L. T. (2019). Anthropoc action effects caused by soybean farmers in a watershed of Tocantins-Brazil and its connections with climate change. *Climate change-resilient agriculture and agroforestry*, 257-281. Recuperado de [https://doi.org/10.1007/978-3-319-75004-0\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-319-75004-0_15)
- Martins, V. E., Bergmann, M. D., Schmidt, M. A. R. (2021). Integração de SIG com técnica AHP na identificação de locais com vulnerabilidade a erosão hídrica de uma micro bacia hidrográfica em contexto de Mata Atlântica. *Revista de Geografia*, 38(3), 136-153. Recuperado de <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2021.248676>
- Moreira-Franco, L. F., Ortega-Ordóñez, C. F. (2021). Análisis jerárquico aplicado a la determinación de la fragilidad ambiental de la subcuenca del Río Carrizal. *Polo del Conocimiento*, 6(3), 15-39. Recuperado de <https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2349>
- Moura, A. N., Diniz, A. S., Amorim, C. A., Brito, J. O. F., Anunciação, R. R., Nascimento Filho, S. L. et al. (2022). Diatomáceas cêntricas (Coscinodiscophyceae e Mediophyceae) planctônicas em dois

estuários tropicais brasileiros: Levantamento florístico e novos registros. *Arq. Ciên. Mar.*, 55(1), 91-11. Recuperado de <https://doi.org/10.32360/acmar.v55i1.71927>

- Noriega, C., Medeiros, C., Varona, H. L., Rodrigues, L., Araujo, M., Monteiro, S. et al. (2022). Water Quality in a Tropical Estuarine Channel: Current Conditions, Trends, and Trophic Status (1990–2016). *Water Air Soil Pollut*, 233(9), 382. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05852-x>
- Nehai, S. A., Guettouche, M. S., Saadoud, D. (2020). Regional modeling of soil sensitivity to water erosion in JIJEL region (Algeria) using MCA and GIS. *Applied Geomatics*, 13(1), 55-70. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s12518-020-00316-5>
- Neji, N., Ayed, R. B., Abida, H. (2021). Water erosion hazard mapping using analytic hierarchy process (AHP) and fuzzy logic modeling: a case study of the chaffar watershed (southeastern tunisia). *Arabian Journal Of Geosciences*, 14(13), 1208. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07602-5>
- Nguyen, C. Q., Tran, T. T., Nguyen, T. T. T., Nguyen, T. H. T., Astarkhanova, T. S., Van Vu, L., Dau, K. T., Nguyen, H. N., Pham, G. H., Nguyen, D. D. (2023) Mapping of soil erosion susceptibility using advanced machine learning models at Nghe An, Vietnam. *Journal Of Hydroinformatics*, 26(1), 72-87. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.2166/hydro.2023.327>
- Oliveira, A. H., Silva, M. L. N., Neto, G. K. (2020). Surface runoff and soil losses in forest sub-basin, municipality of Eldorado do Sul, RS. *Brazilian Journal of Development*, 6(8), 58111-58132. Recuperado de <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-283>
- Oliveira, I. V. A. de, Souza, D. D. R. de, Barbosa Neto, M. V., Miranda, M. R. B. de. (2023). Potencial erosivo da bacia hidrográfica do rio Jaboatão - PE. *Caminhos de Geografia*, 24(91), 287-304. Recuperado de <https://doi.org/10.14393/RCG249162489>
- Oliveira, L. D., Alves, W. S., Castro, R. M., Pereira, M. A. B., Morais, W. A., Possa, E.M. (2023). Estimativa da erosão hídrica em uma bacia hidrográfica no estado de Goiás (Brasil) por meio de modelagem e inteligência geoespacial. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(1), 81-100. Recuperado de: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.1.p081-100>
- Orozco, I., Martínez, A., Ortega, V. (2020). Assessment of the water, environmental, economic and social vulnerability of a watershed to the potential effects of climate change and land use change. *Water*, 12, 1-21. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/w12061682>
- Ou, H., Mu, X., Yuan, Z., Yang, X., Liao, Y., Nguyen, K.L., Sombatpanit, S. (2024). Mapping Benggang Erosion Susceptibility: An Analysis of Environmental Influencing Factors Based on the Maxent Model. *Sustainability*, 16, 7328. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/su16177328>
- Pagán, J. I., López, I., Bañón, L., E Aragonés, L. (2020). Consequences of anthropic actions in cullera bay (spain). *Journal of marine science and engineering*, 8(4), 240. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/jmse8040240>

- Pal, S. C., Arabameri, A., Blaschke, T., Chowdhuri, I., Saha, A., Chakraborty, R., Lee, S., Band, S. S. (2020). Ensemble of machine-learning methods for predicting gully erosion susceptibility. *Remote Sensing*, 12(22), 3675. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/rs12223675>
- Panagos, P.; Ballabio, C.; Borrelli, P.; Meusburger, K.; Klik, A.; Rousseva, S.; Tadić, M. P.; Michaelides, S.; Hrabalíková, M.; Olsen, P. (2015). Rainfall erosivity in Europe. *Science Of The Total Environment*, 511, 801-814. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.008>
- PE3D - Projeto Pernambuco Tridimensional. (2013). *Mapeamento do Território Pernambucano*. Recuperado de <http://www.pe3d.pe.gov.br/mapa.php>.
- Peixoto, C. S., Silva, C. A., Mattos, S. H. V. L., Boin, M. N. (2018). Fragilidade potencial e emergente no município de Ivinhema (MS). *Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros- Seção Três Lagoas/MS*, 27, 9-30. Recuperado de <https://periodicos.ufms.br/index.php/RevAGB/article/view/5934>
- Pereira, A., Ferreira, R. (2013). Educação ambiental e a importância da utilização dos resíduos urbanos no Município de Jaboatão dos Guararapes/PE. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, 4(2), 66-80. Recuperado de <https://doi.org/10.22292/mas.v4i2.187>
- Riekhof, M. C., Regnier, E., Quaas, M. F. (2019). Economic growth, international trade, and the depletion or conservation of renewable natural resources. *Journal of environmental economics and management*, 97, 116-133. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2018.04.008>
- Rodríguez-Peral, E. M., Gómez Franco, T. Y García Manso, A. (2022). Aplicación del Proceso Analítico Jerárquico en la comunicación digital de los organismos públicos durante la pandemia de la COVID-19. *Revista Latina de Comunicación Social*, 80, 89-117. Recuperado de <https://doi.org/10.4185/RLCS-2022-1532>
- Saaty, T. H. A scaling method from priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281, 1977. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Saaty, R. W. (1987). The Analytic Hierarchy Process - What it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3-5), 161-176. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Santos, M. S., Nascimento, P. S. R. (2021). Análise da suscetibilidade e vulnerabilidade à erosão hídrica pelo Processo Analítico Hierárquico (AHP). *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, 9(1), 1-19. Recuperado de <https://doi.org/10.9771/gesta.v9i1.37588>
- Sartori, M., Philippidis, G., Ferrari, E., Borrelli, P., Lugato, L., Montanarella, L., Panagos, P. (2019). A linkage between the biophysical and the economic: Assessing the global Market impacts of soil erosion. *Land Use Policy*, 86, 299-312. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.05.014>
- Silveira, H. L. F., Vettorazzi, C. A., Valente, R. A. (2014). Avaliação multicriterial no mapeamento da suscetibilidade de deslizamentos de terra. *Revista Árvore*, 38(6), 973-982. Recuperado de <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000600002>

- Šiljeg, A., Juričić, M., Marić, I., Domazetović, F., Radočaj, D. (2024). Soil Erosion Susceptibility Prediction Using GIS-Based Multicriteria Analysis and Worldview-3 Satellite Images. *Tehnički Glasnik*, 18(4), 513-517. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.31803/tg-20230425115933>
- Soares Júnior, C. J. R. (2020). Utilização da técnica AHP nos índices de vulnerabilidade natural a erosão na bacia hidrográfica do Igarapé São Francisco como suporte para o ordenamento territorial. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, 11(5), 694-704. Recuperado de <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0061>
- Soares, L., Wainberg Bohrer, P., Andrades Paixão, M., & de Almeida Silva, M. C. (2023). Avaliação de métodos para estimativa da erosão utilizando geoprocessamento em microbacias do rio Pará/MG. *HOLOS*, 3(39). Recuperado de <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/16380>
- Soniari, N. N., Trigunasih, N. M., Sumarniasih, M. S., Saifulloh, M. (2024) Exploring soil erodibility: integrating field surveys, laboratory analysis, and geospatial techniques in sloping agricultural terrains. *Journal Of Degraded And Mining Lands Management*, 12(1), 6533-6544. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.15243/jdmlm.2024.121.6533>
- Sousa, R. S., Maffra, C. R. B., Dewes, J. J., Pinheiro, R. J. B., Sutili, F. J. (2020) Engenharia natural: o uso e avaliação de plantas de uma perspectiva de engenharia. *Scientia Vitae*, 9(27), 1-13. Recuperado de <https://www.revistafsp.com/v9n27113.pdf>
- Souza Jr., C. M., Shimbo, J. Z., Rosa, M. R., Parente, L. L., Alencar, A. A., Rudorff, B. E. T., Hasenack, H., Matsumoto, M., Ferreira, L. G., Souza-Filho, P. W. M. (2020). Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with landsat archive and Earth Engine. *Remote Sensing*, 12(17), 2735. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/rs12172735>
- Telles, T. S., Guimarães, M. F., Dechen, S. C. F. (2011). The costs of soil erosion. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35, 287-298. Recuperado de <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200001>
- Thomas, J., Joseph, S., Thriwikramji, K. P. (2018). Assessment of soil erosion in a monsoon-dominated mountain river basin in India using RUSLE-SDR and AHP. *Hydrological Sciences Journal*, 63(4), 542-560. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/02626667.2018.1429614>
- Valença, L. M. M. (2017). *Geologia e recursos minerais da Folha Itamaracá*. Recife: Serviço Geológico do Brasil.
- Wu, X., Zhang, Z., Cai, C., Zhou, J., Zhang, W. (2024). Soil type regulates the divergent loss characteristics of sediment associated carbon and nitrogen in different size classes during rainfall erosion on cultivated lands. *Journal Of Environmental Management*, 354, 120479. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120479>

**COMO CITAR ESTE ARTIGO:**

Pessoa Neto, A. G., Lafayette, K. P. V., Bezerra, J. da S., Silva, L. C. L. da, & Silva, R. G. P. da. (2024). MODELAGEM GEOESPACIAL DA SUSCETIBILIDADE AMBIENTAL À EROSÃO HÍDRICA: ESTUDO DE CASO DA ILHA DE ITAMARACÁ - PE. *HOLOS*, 6(40). <https://doi.org/10.15628/holos.2024.15561>



**SOBRE OS AUTORES****A. G. PESSOA NETO**

Doutorando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Mestre em Engenharia Civil pela Universidade de Pernambuco (UPE), Especialista em Geoprocessamento pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC - Minas), Engenheiro Civil pelo Instituto Federal de Pernambuco (IFPE) e Técnico em Edificações pela Escola Técnica Professor Agamemnon Magalhães (ETEPAM). Atualmente trabalha na Secretaria Executiva de Gestão e Planejamento Urbano da Prefeitura Municipal de Jaboatão dos Guararapes, atuando na área de Geociências e Planejamento Urbano e Ambiental. Cumpriu Estágio de Docência nas turmas de Engenharia Civil da Escola Politécnica de Pernambuco (Poli/UPE) através da disciplina Hidrologia Aplicada. Também tem experiência nas áreas de projeto, orçamento e fiscalização de obras públicas.

E-mail: agpn@poli.br

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6320-8066>

**K. P. V. LAFAYETTE**

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Católica de Pernambuco (1991), mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (2000) e doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (2006). Atualmente é Professora Associada da Universidade de Pernambuco (UPE) e atua como docente permanente do Mestrado Acadêmico em Engenharia Civil da UPE (área: Construção Civil). Líder do Grupo de Pesquisa AMBITEC (Grupo de Pesquisa de Engenharia Aplicada ao Meio Ambiente) e membro dos grupos de pesquisa Aquapoli (Grupo de Recursos Hídricos da Escola Politécnica de Pernambuco) e AMBISOFT (Tecnologia e Gestão Ambiental - IFPE). Tem experiência na área de Geotecnia, atuando principalmente nas seguintes linhas de pesquisa: - Estabilidade de encostas, comportamento de solos e Obras de Estabilização. - Comportamento geotécnico de solos não saturados; - Estabilidade e erosão de encostas; - Obras de Estabilização / Contenção; - Ensaio de Campo e Laboratório; - Ensaio específicos para determinação da taxa de desagregação do solo e transporte de sedimentos;- Desempenho e inovação tecnológica dos Resíduos da Construção Civil (RCC);- Sustentabilidade em Áreas Urbanas.

E-mail: klafayette@poli.br

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7954-2317>

**J. S. BEZERRA**

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade de Pernambuco (2012), Mestrado em Construção Civil pela Universidade de Pernambuco (2015) e Doutorado em Geotecnia pela Universidade Federal de Pernambuco (2022), atuando principalmente nos seguintes temas: Processos erosivos em encostas, resíduo da construção e demolição, reciclagem, construção civil, estrutura de contenção, pneu, reaproveitamento e investigação geotécnica. Atualmente é professor adjunto do curso de bacharelado em engenharia civil da Escola Politécnica de Pernambuco (POLI/UPE).

E-mail: jonas.silva.doc@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3880-7614>

**L. C. L. SILVA**

Doutoranda e Mestra em Engenharia Civil pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil (PEC - POLI), Pós-Graduada em Geotecnia e Engenharia de Avaliações e Perícias pela UnIBF, Graduada em Engenharia Civil na Escola Politécnica de Pernambuco (POLI-UPE), participando de forma assídua das atividades e projetos universitário, tais como: Monitorias, Projetos de Extensão, Projeto de Iniciação Científica, Submissão e apresentação em Congressos, entre outros. Estagiou na Construtora Tenda S/A, participando de todas as etapas de obras de Construção Civil, como: infraestrutura, estrutura e acabamento.

E-mail: lcls@poli.br

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6929-9686>

**R. G. P. SILVA**

Mestra em Engenharia Civil pela Universidade de Pernambuco. Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Católica de Pernambuco (2019). Tem experiência nas áreas de Defesa Civil, projetos de encostas, estudos geotécnicos, barragens de mineração.

E-mail: rgps@poli.br

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6872-8060>

**Editora Responsável:** Francinaide de Lima Silva Nascimento

**Pareceristas Ad Hoc:** Alisson Macendo Amaral e Marinaldo Loures Ferreira



**Recebido 29 de maio de 2023**

**Aceito: 23 de dezembro de 2024**

**Publicado: 7 de junho de 2025**