



INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
PERNAMBUCO Campus Recife

Departamento de Ambiente, Saúde e Segurança- DASS

Licenciatura em Geografia

JOÃO VINÍCIUS SANTOS VERAS

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO ESPAÇO TEMPORAL DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A  
FORMAÇÃO DE VOÇOROCAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
JABOATÃO- PE**

Recife - PE

2024

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO ESPAÇO TEMPORAL DE  
ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A FORMAÇÃO DE VOÇOROCAS  
NA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JABOATÃO-PE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Licenciatura em Geografia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, campus Recife, como requisito para obtenção do título de Licenciado em Geografia.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Manuella Vieira Barbosa Neto

Recife - PE

2024

V476e  
2024

Veras, João Vinícius Santos

Análise da evolução espaço temporal de áreas susceptíveis a formação de voçorocas na Bacia hidrográfica do Rio Jaboatão - PE. / João Vinícius Santos Veras.  
--- Recife: O autor, 2024.  
49f. il. Color.

Trabalho de Conclusão (Curso Superior Licenciatura em Geografia) – Instituto Federal de Pernambuco, Recife, 2024.

Inclui Referências.

Orientadora: Profª. Drª. Manuella Vieira Barbosa Neto.

Geografia. 2. Degradação do Solo. 3. Erosão Linear. 4. Geoprocessamento. I. Título. II. Neto, Manuella Vieira Barbosa (orientadora). III. Instituto Federal de Pernambuco.

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO ESPAÇO TEMPORAL DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A  
FORMAÇÃO DE VOÇOROCAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
JABOATÃO- PE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e \_\_\_\_\_ em 10 de Outubro  
de 2024, pela Banca Examinadora:

---

Professora Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Manuella Vieira Barbosa Neto - Presidente  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – IFPE

---

Prof<sup>a</sup>.Msc. Cristiane Barbosa da Silva - Examinadora externa  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

---

Prof. Msc. Joazadaque Lucena de Souza - Examinador Interno  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – IFPE

Recife - PE

2024

## AGRADECIMENTO

Dedico esse trabalho aos meus pais Alba Cristina e Fernando Veras, em segundo lugar a todos os professores que estiveram comigo nesse percurso, em especial a professora Manuella Vieira Barbosa Neto.

Deus adiante, paz e guia.

Encomendo-me a Deus e a Virgem Maria, minha mãe, Os 12 apóstolos, meus irmãos. Andarei neste dia e nesta noite com meu corpo cercado, vigiado e protegido pelas armas de São Jorge.

São Jorge sentou praça na cavalaria, eu estou feliz, porque eu também sou da sua companhia, eu estou vestido com as roupas e as armas de Jorge

Para que meus inimigos tenham pés e não me alcancem, tenham mãos e não me peguem, não me toquem, tenham olhos e não me enxerguem e nem pensamento eles possam ter para me fazer mal.

Armas de fogo o meu corpo não alcançará, facas e lanças se quebrem se o meu corpo tocar, cordas e correntes se arrebentem sem o meu corpo amarrar, pois eu estou vestido com as roupas e as armas de Jorge

Jorge é da Capadócia  
Salve, Jorge

## RESUMO

A degradação do solo é um fenômeno que vem se intensificando em várias regiões do mundo, sendo o processo erosivo um dos maiores responsáveis pelas alterações que vêm sendo promovidas na paisagem ao longo do tempo. A voçoroca representa o processo mais avançado da erosão linear, causando grandes prejuízos sociais, ambientais e econômicos. Nesse sentido, esse trabalho teve por objetivo caracterizar a evolução espaço-temporal das áreas susceptíveis à formação de voçorocas na bacia hidrográfica do rio Jaboatão – PE (BHRJ). Para realização da análise foram avaliados os seguintes atributos ambientais: solos, geologia, uso da terra, declividade, formas das vertentes e erosividade, com a utilização de ferramentas de Geoprocessamento. Todos esses fatores condicionantes foram programados em conjunto com dados de uso da terra dos anos de 1986, 2004 e 2018, e foram gerados três mapas de suscetibilidade a erosão. Os resultados indicam predominância de solos da ordem dos Argissolos, representando 14,89% da área, que apresentam uma suscetibilidade erosiva elevada. Predominam na área unidades geológicas consideradas medianamente estáveis. A declividade mostrou-se de grande importância, pois foi verificado que 79,93% da área da BHRJ possui declividades com potencial alto para formação de voçorocas, pela predominância de relevos ondulados. Em relação a forma das vertentes, 58,57% da área da BHRJ apresenta morfologia com aspectos de convergência hídrica e, portanto, com maior potencial para a formação de erosão linear. Cerca de 74,98% da bacia possui níveis de erosividade que a concerne uma suscetibilidade muito alta. Em relação ao uso da terra se destacam atividades como pastagem, que em 30 anos aumentou 5,05% e áreas urbanas, que se projetaram de 7,39% para 13,42% no período de análise (1986-2018). Com a análise integrada dos parâmetros, a área da BHRJ apresenta potencial para formação de voçorocas variando de médio a alto. Assim como, identificou-se uma predominância das maiores suscetibilidades no alto curso, mas com pontos significativos no baixo e médio curso. Os resultados apresentados são um forte indicativo da necessidade de políticas públicas que busquem alternativas para mitigar os problemas socioeconômicos e ambientais relacionados com formação de voçorocas na BHRJ.

**Palavras-Chave:** Degradação do Solo; Erosão linear; Geoprocessamento.

## ABSTRACT

Soil degradation is a phenomenon that has been intensifying in several regions of the world, with the erosion process being one of the biggest responsible for the changes that have been promoted in the landscape over time. The gully represents the most advanced process of linear erosion, causing great social, environmental and economic damage. In this sense, this work aimed to characterize the spatio-temporal evolution of areas susceptible to the formation of gullies in the Jaboatão river basin – PE (BHRJ). To carry out the analysis, the following environmental attributes were evaluated: soils, geology, land use, slope, slope shapes and erosivity, using Geoprocessing tools. All of these conditioning factors were programmed together with land use data from 1986, 2004 and 2018, and three erosion susceptibility maps were generated. The results indicate a predominance of soils of the Argisol order, representing 14.89% of the area, which have a high erosion susceptibility. Geological units considered moderately stable predominate in the area. The slope proved to be of great importance, as it was found that 79.93% of the BHRJ area has slopes with high potential for the formation of gullies, due to the predominance of undulating reliefs. In relation to the shape of the slopes, 58.57% of the BHRJ area presents a morphology with aspects of water convergence and, therefore, with greater potential for the formation of linear erosion. Around 74.98% of the basin has levels of erosivity that concern very high susceptibility. In relation to land use, activities such as pasture, which increased by 5.05% in 30 years, and urban areas stand out, which rose from 7.39% to 13.42% in the period of analysis (1986-2018). With the integrated analysis of the parameters, the BHRJ area presents potential for the formation of gullies ranging from medium to high. Likewise, a predominance of the greatest susceptibilities was identified in the upper course, but with significant points in the low and medium course. The results presented are a strong indication of the need for public policies that seek alternatives to mitigate socioeconomic and environmental problems related to the formation of gullies in BHRJ.

**Keywords:** Soil Degradation; Linear erosion; Geoprocessing.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 01 - Localização geográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão, no Litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco                                  | 22 |
| Figura 2 - Mapa das Unidades de Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão, no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco                               | 28 |
| Figura 3 - Mapa das unidades geológicas da Bacia hidrográfica do Rio Jaboatão, no Litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco                             | 30 |
| Figura 4 - Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão, no Litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco.                                     | 31 |
| Figura 5 - Mapa do Perfil e Plano de Curvatura da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão, no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco.                     | 32 |
| Figura 6 - Mapa de Forma das Vertentes da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão, no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco.                             | 33 |
| Figura 7 - Mapa de Erosividade da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão, no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco.                                     | 34 |
| Figura 8 - Mapa de Uso da Terra (1986) da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão, no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco.                             | 37 |
| Figura 9 - Mapa do uso da terra (2004) da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão, no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco.                             | 38 |
| Figura 10 - Mapa de Uso da Terra (2018) da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão, no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco                             | 39 |
| Figura 11 - Mapa de suscetibilidade à formação de voçorocas (1986) da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão, no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco. | 41 |
| Figura 12 - Mapa de suscetibilidade à formação de voçorocas (2004) da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão, no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco. | 42 |

|                                                                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 13 - Mapa de suscetibilidade à formação de voçorocas (2018) da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão, no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco                           | 43 |
| Figura 14 - Corte de barreira, com declividade de ondulada a forte ondulada na região de Santo Aleixo na região norte de Jaboatão dos Guararapes - PE e Imagem do Contorno da BHRJ | 44 |
| Figura 15 - Região com presença do relevo ondulado e forte ondulado, ravinas aparentes, forte erosão e afloramentos rochosos e Imagem do contorno da BHRJ.                         | 45 |

## LISTA DE QUADROS

|                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Quadro 01</b> – Classes dos atributos analisados, com seus respectivos pesos de susceptibilidade a formação de voçorocas, da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, Litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco | 24 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 01</b> - Descrição da área e peso de vulnerabilidade à erosão linear de cada classe de uso da terra presente na bacia hidrográfica do Rio Jaboatão entre os anos de análise | 37 |
| <b>Tabela 02</b> - Descrição da área e peso de suscetibilidade à formação de voçoroca na bacia hidrográfica do Rio Jaboatão entre os anos estudados                                   | 41 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

BHRJ – Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão

CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente

CTR – Centro de Tratamento de Resíduos

Sólidos

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

MDE – Modelo Digital de Elevação

SIG- Sistema de Informações Geográficas

ZAPE – Zoneamento Agroecológico de Pernambuco

## SUMÁRIO

|                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                                | <b>12</b> |
| <b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>                                      | <b>14</b> |
| • 2.1 Erosão .....                                                       | 14        |
| • 2.2 Erosão Linear.....                                                 | 15        |
| • 2.3 Geoprocessamento aplicado aos estudos ambientais.....              | 20        |
| <b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>                                       | <b>22</b> |
| 3.1 Área de estudo.....                                                  | 22        |
| 3.2 Metodologia.....                                                     | 23        |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>                                     | <b>28</b> |
| 4.1 Solo e Geologia .....                                                | 30        |
| 4.2 Declividade e Forma das Vertentes .....                              | 34        |
| 4.3 Erosividade.....                                                     | 35        |
| 4.4 Análise Espaço Temporal do Uso da Terra.....                         | 36        |
| 4.5 Suscetibilidade Espaço Temporal a Formação de Voçorocas na BHRJ..... | 40        |
| <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                                       | <b>47</b> |
| <b>6 REFERÊNCIAS.....</b>                                                | <b>49</b> |

## INTRODUÇÃO

O processo de erosão do solo é dividido em três etapas: decomposição do sedimento, migração e deposição. As principais fontes de energia que levam ao evento são de ordem física, como vento e água; gravidade; reações químicas; e interferência humana (Poesen, 2018; Lal, 2001). Apesar das diferentes origens dos fatores de desenvolvimento dos processos erosivos, a má gestão do solo, incluindo a manutenção insuficiente da cobertura vegetal, tem sido apontada como a principal razão para o avanço dos processos de desgaste, o que acelerou o desenvolvimento de características lineares avançadas como ravinas e voçorocas (Salleh e Mousazadeh, 2011; Torri e Poesen, 2014).

Quando se remete aos termos ravinas e voçorocas não existe uma uniformidade na classificação dessas feições na literatura (Marchioro et al., 2016). Segundo os mesmos autores, existem os critérios dimensionais, para os fins agrícolas e os que levam em consideração o contato com o lençol freático. De acordo com Guerra (2011), que segue a classificação adotada pelo Glossário de Ciências dos Solos dos Estados Unidos (1987), voçorocas possuem mais de 0,5 m de largura e profundidade, sendo assim, abaixo dessas dimensões estão as feições lineares denominadas ravinas. O autor destaca que essa classificação é muito utilizada no âmbito nacional e internacional. Portanto, será a adotada nesta pesquisa.

Compreender a dinâmica dos processos erosivos e os fatores reguladores é importante para um planejamento e gestão ambiental eficaz, pois entender a origem e a extensão desses fenômenos é fundamental para mitigar as perdas materiais e humanas que eles produzem (Loureiro e Ferreira, 2013). Nesse sentido, a aplicação de modelos que indiquem as áreas mais favoráveis para tais eventos pode contribuir para um melhor planejamento do uso e ocupação do solo.

A aplicação do Geoprocessamento contribui com o trabalho profissional na realização de mapeamentos, pois com essa ferramenta é possível obter um diagnóstico muito próximo da realidade. Além disso, constituem importantes instrumentos que permitem a coleta, o armazenamento, o tratamento e a análise dos dados (Florenzano, 2008). Essa tecnologia está sendo empregada na elaboração do mapeamento da Bacia

Hidrográfica do Rio Jaboatão (BHRJ) para captar informações do meio físico do local.

Estudos realizados na bacia hidrográfica do rio Jaboatão, identificaram uma mudança considerável no uso da terra, com a redução da densidade da cobertura vegetal ao longo de 30 anos (Souza, 2019). Assim como, Oliveira (2019) identificou áreas susceptíveis a erosão e que apresentam intensa ocupação sem aparente planejamento. Nesse sentido, verifica-se a necessidade de ampliar os estudos sobre os processos erosivos que ocorrem nessa área, na busca de compreender as suas naturezas e estágios de evolução, para assim indicar áreas com maior potencial à ocorrência de eventos erosivos de alta complexidade e magnitude.

A BHRJ integra o grupo 2 das pequenas bacias litorâneas (GL-2) (PERH-PE, 1998). Localizada na porção central da zona da mata pernambucana, apresenta aliciadoras características para uma inquirição sobre erosão linear. Tais atributos podem ser destacados como, o considerável índice pluviométrico e até mesmo o vultoso desmatamento da vegetação nativa na região (Souza, 2019). O local também abriga uma vasta gama populacional e todos esses fatores em conjunto norteiam a criação de processos de desgaste do solo (CPRH, 2016).

Diante disso, esse trabalho tem por objetivo identificar e caracterizar áreas com potencial de ocorrência de voçorocas na bacia hidrográfica do rio Jaboatão – PE. Para isso foram desenvolvidos os seguintes objetivos específicos: analisar as características ambientais condicionadoras da formação de voçorocas na área de estudo (convergência de fluxos hídricos, declividade, uso da terra, erosividade, solos e geologia); sistematizar as informações dos fatores ambientais condicionadores e elaborar um mapeamento do potencial de ocorrência de voçorocas; analisar a evolução espaço – temporal de áreas susceptíveis a formação de voçorocas na bacia hidrográfica do rio Jaboatão – PE.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO

### 2.1 Erosão

A erosão é essencialmente um processo de desgaste da superfície e/ou arrastamento das partículas do solo por agentes, tais como a água das chuvas (hídrica), ventos (eólica), gelo (mudanças de temperatura), ou outro agente geológico, incluindo processos como o arraste gravitacional. A erosão é um processo natural e contínuo que tem impactos significativos no ambiente. Como destacado por Montgomery (2007), "A erosão do solo é uma ameaça persistente à produtividade agrícola e à qualidade da água em todo o mundo." A perda de solo devido à erosão pode resultar na diminuição da fertilidade do solo e na degradação dos recursos hídricos.

A erosão hídrica é um dos processos naturais de mais impacto no que diz respeito ao desgaste do solo. Resultado da ação direta da água das chuvas e do escoamento superficial, provocando a remoção e o transporte de partículas do solo, o que pode levar a degradações significativas tanto em áreas agrícolas quanto em ambientes naturais. De acordo com Poesen et al. (2021), a erosão hídrica é a principal responsável pela perda de solo em regiões suscetíveis, representando um dos maiores desafios para a sustentabilidade ambiental e agrícola global.

Este é um tipo de erosão em que finas camadas de solo são removidas de toda a área, visualmente, é a menos notada. Isso pode ser visto pela exposição das raízes de plantas perenes. Para Hudson (1995) os sulcos são uma forma de erosão causada por escoamento concentrado em algumas partes do terreno, atinge volume e velocidade suficientes para formar um sulco mais ou menos profundo. Na fase inicial, os sulcos podem se desfazer com tratamento formal do solo, mas em estágios mais avançados, pode atingir camadas profundas do manto de intemperismo.

O escoamento superficial da água da chuva nas encostas é um dos primeiros fatores que influenciam a formação de incisões no solo e ocorre principalmente quando ele se torna saturado, ou seja, quando a capacidade de infiltração de sua superfície é excedida e não consegue mais absorver água (Molinari, 2007). A erosão do solo piora a degradação do solo e o contrário é verdadeiro. Em alguns casos, a erosão é precedida



pela deterioração da qualidade do solo, especialmente a deterioração das unidades estruturais.

A bacia hidrográfica é uma unidade espacial na Geografia Física desde o fim dos anos 60. Essa unidade foi incorporada aos estudos por diversos profissionais, pois permite conhecer e avaliar os diversos componentes da paisagem através de uma visão sistêmica e integrada (Botelho e Silva, 2011). Ainda segundo esses autores, os estudos sobre erosão, manejo e conservação do solo e da água e planejamento ambiental são os que mais tem utilizado a bacia hidrográfica como unidade de análise. Desse modo, a utilização da bacia hidrográfica como unidade de estudo contribui para uma análise ambiental integrada.

A preocupação acerca da perda do solo é crescente, pois o processo erosivo é um dos efeitos mais danosos causadores de degradação ambiental. Para Goudie (1990), o principal e mais sério impacto causado pela ação humana sobre o meio ambiente é a erosão dos solos. Apesar dos muitos estudos já realizados sobre a temática, o problema ainda persiste, pois ainda são muitas as notícias que relatam a perda de fertilidade dos solos promovida pelo processo erosivo nas áreas rurais, assim como, os vários eventos de erosão hídrica que ocorrem em áreas de encosta, principalmente nas áreas urbanas, onde se observam desastres catastróficos, principalmente nos países em emergentes.

## **2.2 Erosão Linear**

A erosão linear, em particular, é um fenômeno importante a ser considerado. De acordo com uma pesquisa recente de Foster et al. (2019), "a erosão linear, também conhecida como ravinas e sulcos, pode causar a rápida remoção de grandes volumes de solo, resultando em perdas substanciais de nutrientes e na destruição de habitats naturais." A erosão linear também desempenha um papel crítico na modificação da paisagem. Conforme indicado por Trimble e Crosson (2000), "a erosão linear tem o potencial de alterar profundamente a topografia de uma área, criando características geológicas únicas que podem ter implicações significativas para a geomorfologia."

A erosão pode causar um declínio na qualidade do solo e desencadear uma tendência de decomposição. De fato, a erosão do solo pode ser um indicador de degradação do solo porque envolve a remoção física do solo vertical e/ou



horizontalmente e, assim, diminuindo a qualidade do solo. As atividades antrópicas desempenham um papel significativo na degradação da qualidade do solo, principalmente por meio do desmatamento, práticas agrícolas intensivas e urbanização descontrolada. Essas ações removem a cobertura vegetal natural, expondo o solo à erosão, compactação e perda de nutrientes. O manejo inadequado da terra e o uso excessivo de insumos químicos podem levar ao empobrecimento da estrutura do solo e à diminuição da sua capacidade de retenção de água e carbono, resultando em sérias consequências para a saúde dos mantos de intemperismo de maneira geral (Lal, 2020)

Ainda sobre o mesmo autor, existem três fatores que corroboram para a diminuição da resistência do solo, que são:

- Descamação: É o colapso da moreia do solo.
- Compactação: indica um aumento na densidade aparente ou grau de uniformidade.
- Crosta: compreende a formação de uma camada fina, densa, estratificada e relativamente impermeável na superfície terrestre.

Esses processos reduzem a estabilidade estrutural, reduzem a resistência do solo, aumentam a erosão e aumentam a susceptibilidade ao escoamento superficial, correntes intermediárias e transmissão de vento ou facilitam a desestruturação das partículas do solo pela gravidade.

As feições erosivas lineares, como sulcos, ravinas e voçorocas, representam estágios distintos de degradação do solo causados pelo escoamento superficial da água. Sulcos são pequenas depressões formadas pela concentração do fluxo hídrico em áreas de declive, onde a remoção superficial do solo é mais acentuada, mas ainda pode ser revertida com práticas de manejo adequadas. As ravinas, por sua vez, são canais mais profundos e largos, resultantes da erosão contínua, com uma maior remoção de solo, podendo atingir camadas subsuperficiais. Já as voçorocas representam o estágio mais avançado e irreversível do processo erosivo, caracterizadas por grandes crateras que expõem o horizonte C do solo, comprometendo drasticamente a sua estrutura e fertilidade (Merten et al., 2022). Esses processos são amplificados por práticas inadequadas de manejo do solo e pela remoção da vegetação nativa, o que acelera o escoamento superficial e intensifica a erosão.



O estudo de áreas com problemas deste tipo exige uma análise de certas particularidades, tais como: tipo de solo, propriedades do solo, características da chuva local e regional, e características do terreno. O substrato rochoso e o uso dos solos são introduzidos como variáveis de controle na análise das condições dos processos que são advindos de um longo período de intemperismo. (Kirkby & Bull, 2000; Hessel & Van Asch, 2003; Poesen et al., 2003; Moeyersons, 2003; 2005; Valentin et al., 2005).

Para Rubira (2016), existem muitos gatilhos que acentuam o processo de erosão, incluindo clima, topografia, tipo de solo, vegetação e atividade humana. Esses fatores tornam a erosão um sistema complexo e difícil de compreensão, dependendo do seu estágio de desenvolvimento. A precipitação pluviométrica em sua intensidade e duração, é considerada como fator primordial para a acentuação dos processos erosivos, nos ambientes equatoriais a desagregação física do solo é ampliada, muito graças aos altos índices de chuva nas regiões. Kinell (2008) propõe três tipos de separação e transporte de partículas na formação de processos erosivos: Separação por impacto de gotas de chuva, transporte por fluxo natural e separação por escoamento natural.

A declividade do terreno exerce uma influência decisiva na formação de processos erosivos lineares, como sulcos, ravinas e voçorocas. Terrenos com maior inclinação favorecem o aumento da velocidade e do volume do escoamento superficial, intensificando a remoção de partículas do solo. Segundo Zhou et al. (2021), à medida que a declividade aumenta, o escoamento da água torna-se mais concentrado e energético, o que facilita o aprofundamento e o alargamento dos canais erosivos, promovendo a transição de erosão laminar para erosão linear. Em áreas de declividade acentuada, a capacidade de infiltração do solo é reduzida, agravando ainda mais a formação dessas feições erosivas, especialmente quando não há cobertura vegetal adequada.

Para Knierin (2016) há uma associação de diferentes tipos de erosão relacionados à forma das encostas, onde verifica-se que as encostas convexas são dispersoras de água e as encostas côncavas são coletoras de água, sendo estas as que apresentam maior probabilidade ao desenvolvimento de voçorocas. De acordo com Bras (2001), as taxas de erosão aumentam com a acentuação da taxa de descarga em todos os ambientes. O aumento nas taxas de descarga, visando simular comprimentos de rampa maiores, aumenta o volume, profundidade e velocidade do escoamento



superficial, aumentando, portanto, a tensão cisalhante da enxurrada e a taxa de erosão, esta última, caso seja superada a tensão de cisalhamento crítica superficial do solo.

Bras (2001), afirma que a diminuição da concentração de sedimentos compensa o efeito do aumento da enxurrada, determinando taxas de erosão decrescentes. Fisicamente, supõe-se que, após a remoção das partículas mais facilmente destacáveis, o fluxo concentrado tenha atingido superfície de solo com tensão de cisalhamento elevada, ou seja, após a retirada do material menos resistente, graças ao fluxo linear preferencial, o material começa a se decompor em zonas subsuperficiais, criando sulcos e ravinas no solo.

O homem constitui-se como fator antrópico e contribui com vários efeitos dinâmicos que potencializam o desenvolvimento dos processos erosivos por meio do desmatamento das coberturas vegetais, do manuseio inadequado do solo na agricultura, da criação intensiva de animais, da abertura de valetas na contenção de estradas e loteamentos, entre outros fatores (Rubira et al., 2016). Para o mesmo autor, a condição do solo também é um fator para o surgimento de processos erosivos. As propriedades mecânicas granulométricas dos materiais desempenham um papel importante na formação do processo de erosão. As propriedades do solo e da rocha determinam a suscetibilidade de uma terra à erosão, um processo conhecido como erodibilidade.

Quando se remete aos termos ravinas e voçorocas não existe uma uniformidade na classificação dessas feições na literatura (Marchioro et al., 2016). Segundo os mesmos autores, existem os critérios dimensionais, os para fins agrícolas e os que levam em consideração o contato com o lençol freático. De acordo com Guerra (2011), que segue a classificação adotada pelo Glossário de Ciências dos Solos dos Estados Unidos (1987), voçorocas possuem mais de 0,5 m de largura e profundidade, sendo assim, abaixo dessas dimensões estão as feições lineares denominadas ravinas. O autor destaca que essa classificação é muito utilizada no âmbito nacional e internacional.

Uma voçoroca é definida como uma formação íngreme caracterizada por um perfil longitudinal escalonado, sujeita a correntes de água intermitentes e geralmente variando em largura e profundidade entre 0,5 m e 30 m, e geralmente com uma cabeceira íngreme (Guerra (2011); Salleh e Mousazadeh (2011)). A erosão linear é influenciada por diversos fatores, incluindo o uso da terra e as práticas agrícolas.



Conforme ressaltado por Montgomery e Buffington (1993), "as atividades humanas, como o desmatamento e



a agricultura intensiva, podem acelerar significativamente a erosão linear, tornando-a um problema ambiental crítico."

Nesse sentido, os processos erosivos são acompanhados por uma perda de terras aproveitáveis tanto para atividades rurais quanto urbanas (Marchioro et al., 2016). O voçorocamento em si é um processo avançado e difícil de reverter e possui vários fatores condicionantes. Nesse sentido, conhecer as causas e a escala desses fenômenos é importante para mitigar as perdas materiais e humanas que eles causam, e permite um planejamento e gestão ambiental eficazes (Loureiro e Ferreira, 2013).

Nesse sentido, a aplicação de modelos que indiquem as áreas mais adequadas para esses tipos de eventos pode contribuir para um melhor planejamento de uso e ocupação do solo. Da mesma forma, a identificação das diversas etapas evolutivas do processo de erosão linear é fundamental, pois somente a partir do entendimento do início do processo é que se podem tomar medidas para evitar sua ocorrência (Guerra, 2007).

Para entender a suscetibilidade de uma região à ocorrência de processos erosivos específicos, é necessário analisar as características ambientais do local (Girão et al., 2007). Além disso, em estudos ambientais, a escolha de bacias hidrográficas como unidade de pesquisa contribuiu para nossa compreensão da formação e evolução de ravinas para voçorocas. Isso ocorre porque as hierarquias de canais estão correlacionadas com a dinâmica dos fluxos canalizados (Guerra, 2007). Segundo este autor, a pesquisa sugere que as voçorocas tendem a se desenvolver nas cabeceiras do vale, que possui uma rede relativamente densa de canais de drenagem.

Segundo Girão et al. (2007), os processos erosivos que ocorrem em áreas de encosta incluem dinâmicas de manejo e ocupação de taludes, mas também fatores naturais causam instabilidade.

Por exemplo:

- Solos e rochas diferentes têm diferentes resistências, portanto, características geológicas e pedológicas distintas.
- Profundidade e efeitos do lençol freático inclinação da superfície, uma vez que a inclinação afeta a taxa de escoamento superficial.
- Comprimento da rampa; isso ocorre porque quanto maior a extensão do aterro, maior a velocidade do fluxo.



- Forma do talude.
- A cobertura vegetal que favorece a estabilidade do talude aumenta e retarda a infiltração e contribui para a coesão do solo.
- Aspectos do regime de precipitação, como sua intensidade e distribuição.
- O uso da terra e fatores antropogênicos.

### **2.3 Geoprocessamento aplicado aos estudos ambientais**

Para melhor compreensão do ambiente e análise detalhada dos processos que nele ocorrem, a tecnologia é ferramenta primordial para o sucesso da inquirição na área de estudo. A sigla SIG significa Sistema de Informações Geográficas. O GIS pode ser visto como um campo geotécnico dentro da atividade de geoprocessamento. Há uma tendência de confundir o termo GIS com software simples. O SIG é um sistema estruturado e funcional (Zaidan, 2017). A diversidade de definições de SIG pode estar relacionada a diferentes campos de pesquisa e atividades que contribuíram para o seu desenvolvimento (Miranda, 2005).

A definição de SIG inclui alguns aspectos já contemplados na definição de geoprocessamento. Consiste em software e hardware fornecidos a organizações por pessoas conectadas para o mesmo fim que utilizam dados georreferenciados para possibilitar sua coleta, armazenamento, manipulação, processamento, análise e disponibilização de dados. Medir e monitorar a erosão linear é essencial para o manejo sustentável da terra. Como mencionado por Lal (2003), "a quantificação precisa da erosão linear é fundamental para o planejamento de conservação de solos e água, bem como para mitigar os impactos negativos da erosão sobre os ecossistemas."

Um sistema de informações geográficas é uma estrutura projetada especificamente para processar dados de várias fontes e, por fim, produzir inteligência sobre relações espaciais identificáveis dentro dele. Ele também afirma que o sistema deve ser capaz de mostrar a localização, extensão e relações espaciais e temporais das entidades representadas em seu banco de dados. Como resultado, apresenta a geografia da área em consideração, descreve partes da superfície da terra e realiza análises para fins de análise geral do ambiente (Zaidan, 2017).



Um Sistema de Informações Geográficas (SIG), pode ser definido como um sistema computacional, dotado de ferramentas para manipulação, transformação, armazenamento, visualização, análise e modelagem de dados georreferenciados, voltado para produção de informação, constituindo-se numa importante ferramenta de suporte à decisão. Ainda sobre o mesmo autor, o SIG é um meio de integração de dados espaciais adquiridos em diferentes momentos, em diferentes escalas e formatos. Esses autores também observam que os usuários de SIG geralmente executam quatro atividades principais: levantamento dos dados que serão utilizados, mapeamento em si, monitoramento do local e modelagem (Star e Estes, 1990)

O avanço da pesquisa científica e o desenvolvimento de tecnologias de sensoriamento remoto têm facilitado a identificação e o acompanhamento da erosão linear. Como destacado por Julien et al. (2005), "O uso de técnicas modernas de sensoriamento remoto, como imagens de satélite e modelagem computacional, permite uma avaliação precisa da distribuição e intensidade da erosão linear em paisagens variadas."

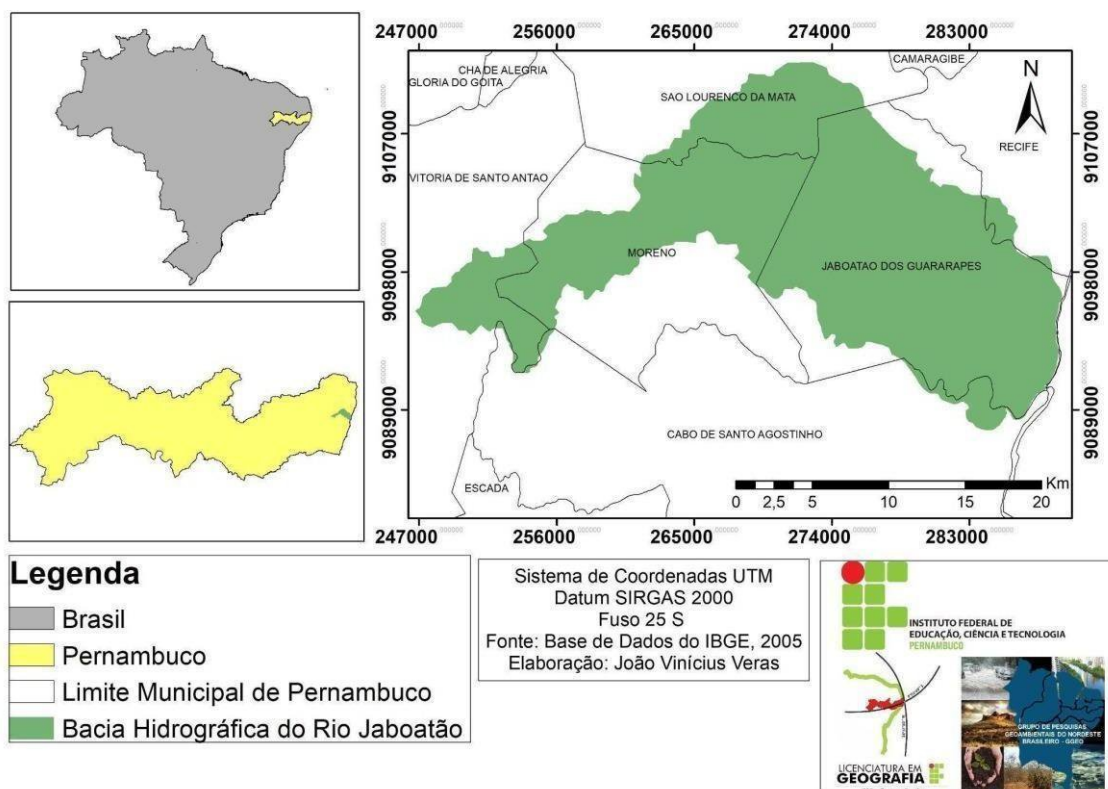
Loureiro e Ferreira (2013) afirmam que na busca por minimizar os impactos decorrentes dos processos erosivos, são cada vez mais comuns estudos que utilizam as geotecnologias, pois assim pode-se identificar áreas vulneráveis à ocorrência desses eventos e mapear temporalmente as áreas atingidas por eles. Os mesmos autores alertam que existe uma grande disponibilidade de sensores remotos, proporcionando uma maior gama de opções para os usuários do Sistema de informações Geográficas, no entanto, é preciso considerar que a base de dados utilizada seja a mais adequada para o estudo pretendido. Assim como, é importante respeitar a compatibilidade da escala do dado com o objetivo do estudo, o que contribui para uma maior confiabilidade do mapeamento.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Jaboatão se localiza na porção meridional da Zona da Mata pernambucana. Drena uma área de 422 Km<sup>2</sup> que abrange áreas dos seguintes municípios: Cabo de Santo Agostinho (27 Km<sup>2</sup>), Jaboatão dos Guararapes (225 Km<sup>2</sup>), Moreno (98 Km<sup>2</sup>), Recife (4 Km<sup>2</sup>), São Lourenço da Mata (46 Km<sup>2</sup>) e Vitória de Santo Antão (42 Km<sup>2</sup>) (Figura 1). Estima-se uma população em torno de 450.000 habitantes que residem em maior parte em áreas urbanas (CPRH, 2016). Segundo Moreira (2007), apresenta áreas densamente povoadas, principalmente no município de Jaboatão dos Guararapes, que corresponde a 50,9% da área da bacia, onde são ocupadas áreas de encosta ao longo da BR – 101 e BR – 232.

Figura 1 - Localização geográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão, no Litoral e Zona da Mata Meridional de Pernambuco (2024)



Fonte: Base de Dados do IBGE, modificado pelo autor (2024).



### 3.2 Metodologia

Para análise espaço temporal das áreas susceptíveis a formação de voçorocas na área de estudo, foi realizado um levantamento do acervo teórico sobre a temática, através de acesso às plataformas oficiais de pesquisa. Foram utilizados como referenciais metodológicos os procedimentos descritos nos estudos de: Silva e Vieira (2020); Padilha et al. (2019) e Batista et al. (2019).

Para identificação e caracterização de áreas com maior potencial de ocorrência de voçorocas na área de estudo, foram utilizadas imagens do radar Alos Palsar, disponíveis gratuitamente no site: <https://search.asf.alaska.edu/#/>. Segundo Silva e Vieira (2020), o radar Palsar é um sensor ativo do satélite Alos da empresa japonesa Japan Aerospace Exploration Agency – JAXA com a finalidade de mapeamento do uso e cobertura da terra.

Inicialmente foi realizado um tratamento dos dados para correção de anomalias de altitude que possam estar presentes no MDE (Modelo Digital de elevação). Depois foram mapeados os atributos declividade, forma das encostas e fluxo acumulado no software QGIS. Com a análise destas variáveis de forma integrada pode-se identificar áreas mais susceptíveis a formação de voçorocas (Padilha et al., 2019).

Para compreender a influência do uso da terra desenvolvido na área de estudo para a susceptibilidade a formação de voçorocas serão utilizados os dados produzidos por Souza (2019) que mapeou as mudanças na cobertura vegetal e uso da terra para esse mesmo local entre os anos de 1986, 2004 e 2018. Os dados de uso da terra sofreram adaptações, foram adicionados os elementos de área urbana ondulada e área urbana plana para melhor compreender a dinâmica de suscetibilidade a erosão linear nos ambientes de centro urbano com características distintas. Nesse sentido, será realizado um cruzamento das informações de susceptibilidade à formação de voçorocas a partir de dados ambientais com os dados de uso de cada ano, produzindo um mapeamento para cada ano, e desse modo, diferentes cenários de suscetibilidade.

Para o mapeamento das Unidades de Solos presentes no local foi utilizada a base de dados do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAPE) (Silva et al., 2001) que se encontra na escala de 1:100.000. A indicação da susceptibilidade de cada classe de solo presente na área de estudo foi elaborada com base no trabalho de Araújo Filho et



al. (2000). Para o mapeamento geológico foram utilizados os dados da CPRM – Serviço Geológico do Brasil (Gomes & Santos, 2001), na escala 1:500.000 (a única disponível para a área de estudo). A partir destes dados, analisou-se a resistência à denudação da mineralogia de cada classe geológica, conforme apresenta Crepani et al. (2001).

Para realização dos diagnósticos da declividade, perfil de curvatura, plano de curvatura e forma das vertentes foi utilizada a base de dados advinda do Satélite Alos Palsar com resolução espacial de 12,5 m. Para configurar os intervalos de declividade e formatar o mapeamento do perfil, plano e forma das vertentes foi utilizado como base o trabalho de Knierin et al. (2016) e Florenzano (2008).

Os dados de perfil de curvatura, plano de curvatura e, por conseguinte, de formas das vertentes, foram elaborados a partir da ferramenta Curvature, do módulo Spatial Analyst disponível no ArcMap 10.2.2. Por meio deste processo, foram obtidos dois arquivos, o primeiro referente ao perfil de curvatura e o segundo ao plano de curvatura. O perfil de curvatura foi classificado em dois grupos, as vertentes convexas e côncavas. O plano de curvatura também foi classificado em dois grupos, vertentes convergentes e divergentes. (Knierin, Tretin e Robaina, 2018; Florenzano, 2008). Com a junção dos mapas de perfil de curvatura e plano de curvatura gerou-se o mapa das formas das vertentes, sendo possível observar quatro classes: convexo-convergente, convexo-divergente, côncavo-divergente e côncavo-convergente.

Foram atribuídos pesos de susceptibilidade para cada parâmetro analisado e considerou-se que os dados ambientais não tendem a ser alterados num curto espaço de tempo, sendo a variável determinante para possíveis alterações o uso da terra (Quadro 1). Os procedimentos supracitados foram realizados no software QGIS.

QUADRO 01 – Classes dos atributos analisados, com seus respectivos pesos de susceptibilidade a formação de voçorocas, da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, Litoral e Zona da Mata Meridional de Pernambuco (2024)

| Atributos                    | Classe                                                                             | Área (%) | Peso     |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|
| <b>Pedologia<sup>1</sup></b> | LA'3 - Latossolo Amarelo e Vermelho-Amarelo e Argissolo Vermelho-Amarelo (70-30 %) | 1,07     | <b>3</b> |



|  |                                                                                                                                   |       |   |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---|
|  | LA`8 - Latossolos Amarelo e Vermelho-Amarelo+ Cambissolo + Argissolo Amarelo e Vermelho-Amarelo (35- 35-30 %)                     | 0,72  | 3 |
|  | LA`9 - Latossolo Amarelo e Vermelho-Amarelo+ Argissolo Amarelo e Vermelho Amarelo+ Argissolo Amarelo e Vermelho-Amarelo (60-40 %) | 13,1  | 4 |
|  | PA_3 - Argissolo Amarelo e Vermelho-Amarelo+ Latossolo Amarelo+ Argissolo Acinzentado+ Afloramentos de rocha (40-25-20-15 %)      | 0,30  | 5 |
|  | PA_8 - Argissolo Amarelo e Vermelho-Amarelo+ Latossolo Amarelo (65-35 %)                                                          | 20,93 | 5 |
|  | PA`9 - Argissolo Amarelo e Vermelho-Amarelo (100%)                                                                                | 12,47 | 5 |
|  | PV`3 - Argissolo Vermelho-Amarelo+ Cambissolo+ Neossolo Litólico (50-25-25 %)                                                     | 3,14  | 5 |
|  | PV7 - Argissolo Vermelho-Amarelo + Argissolo Vermelho+ Neossolo Litólico (60-20-20 %)                                             | 15,89 | 5 |
|  | PV10 - Argissolo Vermelho-Amarelo+ Latossolo Amarelo e Vermelho-Amarelo + Cambissolo+ Afloramentos de rocha (35-25-25-15 %)       | 3,91  | 5 |
|  | PV11 - Argissolo Vermelho-Amarelo+ Neossolo Litólico+ Afloramentos de rocha (40-35-25 %)                                          | 6,65  | 5 |
|  | HP2 - Espodossolo (100%).                                                                                                         | 3,71  | 2 |
|  | G1 - Gleissolo + Cambissolo + Neossolo Flúvico + Argissolo Amarelo e Acinzentado (25- 25-25-25 %)                                 | 10,73 | 3 |

|                                    |                                                                                        |       |   |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------|---|
|                                    | G2 - Gleissolo + Cambissolo (40-30-30 %)                                               | 4,6   | 3 |
|                                    | AM - Neossolo quartzarênico + Espodossolo (70-30 %).                                   | 0,84  | 2 |
|                                    | R3 - Neossolo Litólico+ Argissolo Vermelho-Amarelo+ Afloramentos de rocha (35-35-30 %) | 1,94  | 4 |
| <b>Declividade (%)<sup>2</sup></b> | < 2                                                                                    | 3,37  | 1 |
|                                    | 2-5                                                                                    | 16,69 | 2 |



|                                        |                                                                                                                                                                                                      |       |   |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---|
|                                        | 5-15                                                                                                                                                                                                 | 38,58 | 3 |
|                                        | > 15                                                                                                                                                                                                 | 41,36 | 5 |
| <b>Forma das vertentes<sup>2</sup></b> | Convexo-Convergente                                                                                                                                                                                  | 26,35 | 3 |
|                                        | Convexo-Divergente                                                                                                                                                                                   | 33,19 | 1 |
|                                        | Concavo-Convergente                                                                                                                                                                                  | 32,22 | 5 |
|                                        | Concavo-Divergente                                                                                                                                                                                   | 8,24  | 3 |
| <b>Classes geológicas<sup>3</sup></b>  | <b>Ka - Formação algodoais (Mesozóico – Cretáceo)</b><br>Conglomerados polimodais oligomíticos com seixos de rochas vulcânicas                                                                       | 2,9   | 4 |
|                                        | <b>Kc - Formação cabo (Mesozóico – Cretáceo)</b> Conglomerados polimíticos de matriz arcoseana                                                                                                       | 6,8   | 4 |
|                                        | <b>MBF - Complexo Belém de São Francisco (Mesoproterozóico)</b><br>Biotita ortognaisses tonalíticos/granodioríticos, leucocráticos                                                                   | 40,62 | 3 |
|                                        | <b>NY2k - Suíte magmática (Neoproterozóico)</b> Biotita-anfibólio granitóides grossos a porfíricos                                                                                                   | 5,66  | 3 |
|                                        | <b>NY3m - Suíte magmática (Neoproterozóico)</b> Monzonitos e granodioritos com enclaves máficos.                                                                                                     | 5,46  | 2 |
|                                        | <b>NY3qd - Suítes magmáticas [Neoproterozóico]</b><br>Quartzodioritos com variações para monzodioritos, monzogranitos e biotitagranodioritos                                                         | 10,74 | 1 |
|                                        | <b>Pgm1 - Complexo gnáissico-migmatíticos indiscriminados (Paleoproterozóico)</b> Embasamento do terreno rio capibaribe-unidade mais homogênea.                                                      | 12,94 | 1 |
|                                        | <b>Qha - (Cenozoico - Quaternário)</b> Sedimentos aluvionares, arenosos, argilosos e conglomeráticos.                                                                                                | 9,60  | 5 |
|                                        | <b>Qhe - (Cenozoico - Quaternário)</b> Sedimentos eluvionares e coluvionares, areno argilosos, arenosos e conglomeráticos.                                                                           | 4,41  | 5 |
|                                        | <b>Qi - (Cenozoico - Quaternário)</b> Sedimentos turfáceos de ambiente flúvio marinho-lacustre Areias, siltes, argilas, vasas diatomáceas, sedimentos turfáceos de ambiente flúvio marinho-lacustre. | 7,45  | 5 |



|                                                 |                                                                                                            |       |   |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---|
|                                                 | <b>Tb - Grupo barreiras (Cenozóico - Terciário)</b> Arenitos pouco consolidados, às vezes conglomeráticos. | 2,46  | 4 |
| <b>Erosividade (MJ mm ha-1 h-1)<sup>4</sup></b> | Alta (7747 – 8887)                                                                                         | 21,82 | 4 |
|                                                 | Muito alta (10564 – 14167)                                                                                 | 78,17 | 5 |

Nota: <sup>\*1</sup> Dados pedológicos baseados no Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAPE) (SILVA et al., 2001); <sup>\*2</sup> Classes de declividade e das formas das vertentes baseadas no trabalho de KNIERIN et al. (2016); <sup>\*3</sup> Dados das classes Geológicas baseadas nos dados do CPRM – Serviço Geológico do Brasil (GOMES & SANTOS, 2001); <sup>\*4</sup> Dados de Erosividade baseados no trabalho de SILVA (2021);

Para analisar a influência do uso da terra da área de estudo para a formação de voçorocas, utilizou-se os dados gerados pelo trabalho de Souza (2019), e os parâmetros de suscetibilidade indicados por Crepani et al. (2001). Os dados de Erosividade foram retirados do trabalho de Silva (2021), que calculou a capacidade da chuva em promover erosão para a área dos municípios drenados pelo rio Jaboatão e seus tributários. A partir desse processamento se identificou que a Erosividade da área da BHRJ varia de Alta (7747 MJ.mm/ha.h.ano) a Muito Alta (14167 MJ.mm/ha.h.ano).

Os dados dos parâmetros indicadores da suscetibilidade a formação de voçorocas foram submetidos a uma operação algébrica  $SC = G + D + S + UT + LS + FV + R / 7$ , Onde: SC = Suscetibilidade, G = Suscetibilidade para o tema Geologia, D= Suscetibilidade para o tema Declividade, S = Suscetibilidade para o tema Solo, UT = Suscetibilidade para o tema uso da terra, FH = Suscetibilidade para o tema convergência de fluxos hídricos e R= Suscetibilidade para o tema erosividade.

Esses dados foram processados na ferramenta *Plus*, presente no software ArcMap 10.2.2, onde foram anuídos todos os dados indicados para a formação dos mapas de suscetibilidade à formação de voçorocas da BHRJ para os anos de 1986, 2004 e 2018, gerando assim, 3 cenários espaço-temporais de suscetibilidade. Como apoio, foi utilizado o banco de dados georreferenciados gerado pelos trabalhos de Souza (2019) e Oliveira (2019), onde foram descritas e registradas áreas que apresentam eventos erosivos para essa mesma área de estudo.

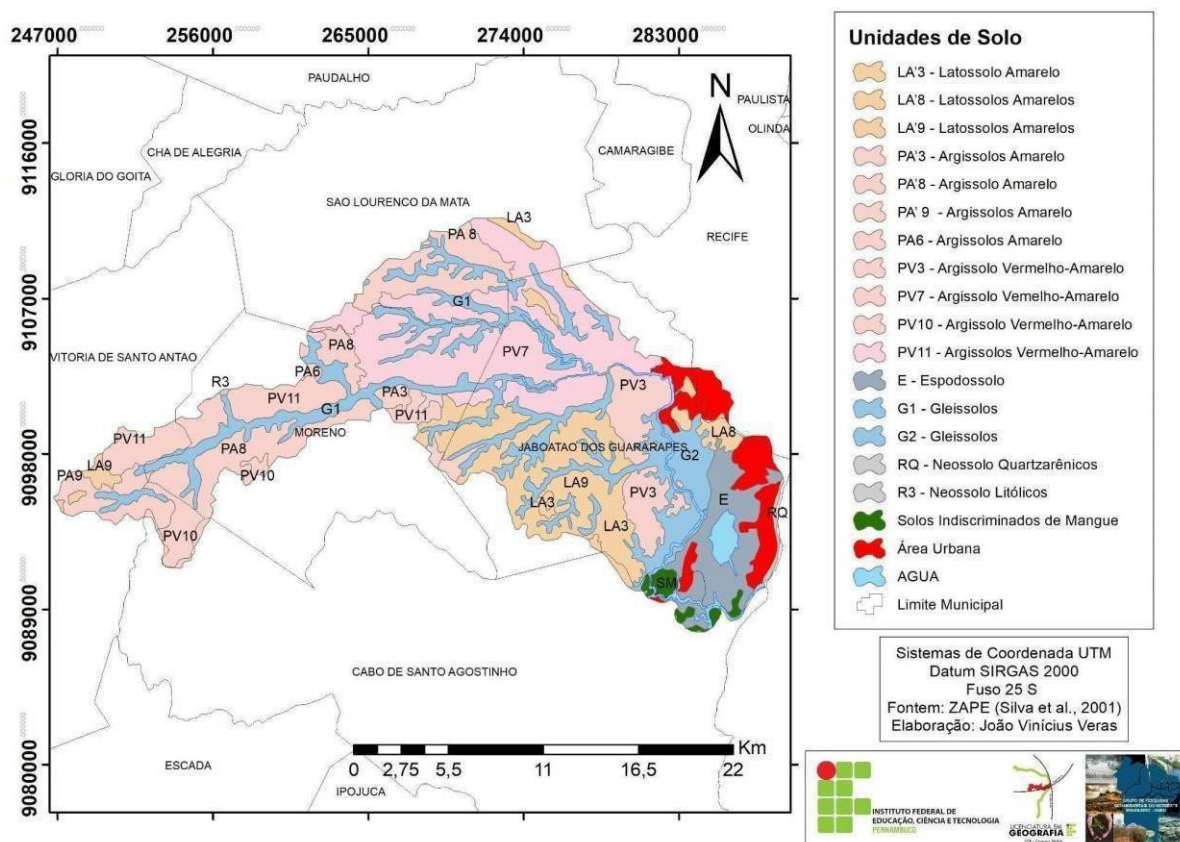


## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Solo e Geologia

Em relação às classes de solos e suas extensões territoriais na bacia (Figura 2), predominam as unidades dos Argissolos Amarelos: PA8 correspondendo a 20,93% do território da BHRJ, PA7 representando 15,89%, PA6 referente a 12,47%, essas unidades detêm grau 5 de suscetibilidade a erosão linear (Muito Alto). O Latossolo Amarelo: LA'9 com 13,1% da área, tem grau 4 (Alto) de suscetibilidade a erosão linear, a unidade de solo LA'9 detém 40% de Argissolos na sua composição, devido a isso ficou com um peso de suscetibilidade superior as outras unidades de Latossolo. As demais unidades de Latossolos (LA'8 e LA'3) somados preenchem 1,79% da bacia e têm peso de suscetibilidade à formação de voçorocas 3.

Figura 2 - Mapa das Unidades de Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão, no litoral e Zona da Mata Meridional de Pernambuco (2024)



Fonte: O autor (2024)



O Argissolo é o que apresenta maior influência em toda a bacia, com elevado grau de suscetibilidade para a formação de erosão linear nas áreas das unidades de solo demonstradas na Figura 02 e representados também no quadro dos pesos de suscetibilidades por atributos (Quadro 01). Segundo Araújo Filho et al. (2000), devido a presença do horizonte Bt (B textural), os Argissolos podem apresentar deficiência na drenagem, isso contribui para o aumento do escoamento superficial e consequentemente para o desenvolvimento de feições erosivas lineares.

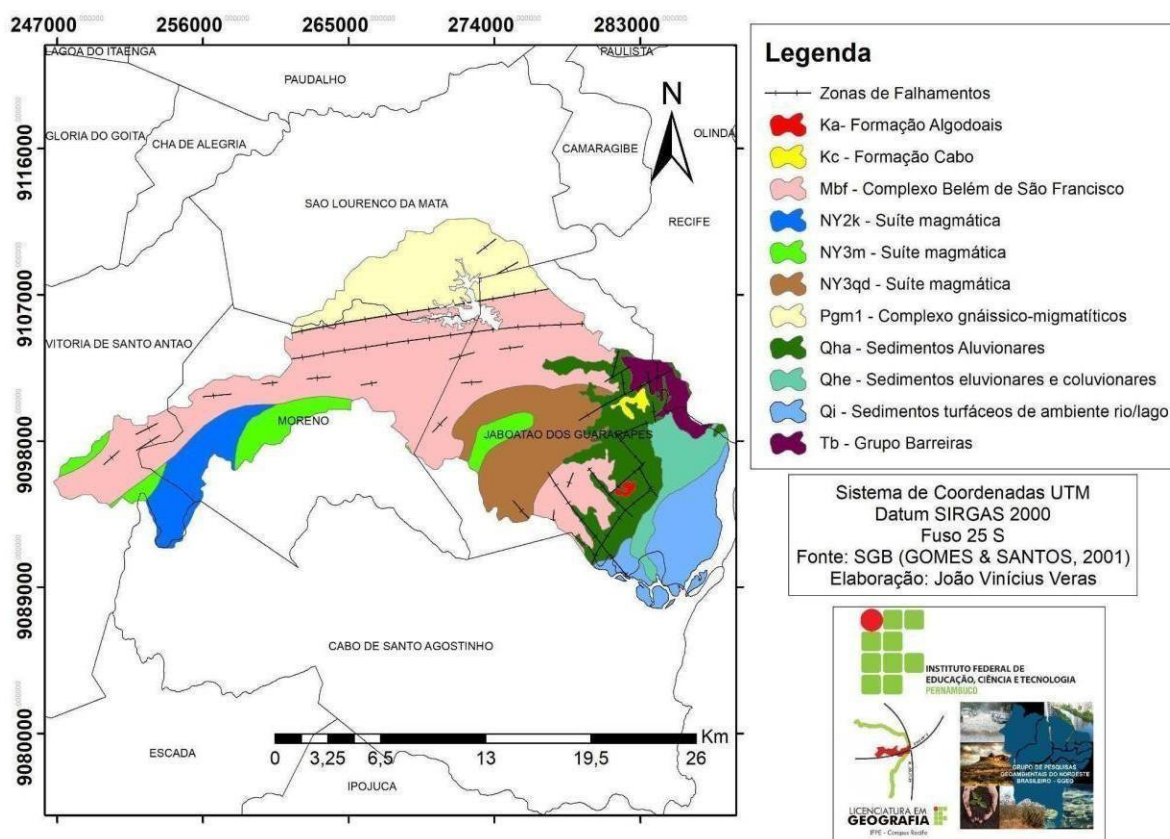
Com 3,71% de área e representando um peso de suscetibilidade 2 para a formação de erosão linear, a classe de solo Espodossolo (E) está localizado predominantemente na região setentrional do baixo curso do rio Jaboatão, na região litorânea.

A respeito dos Gleissolos (G1 e G2), representando aproximadamente 15% dos mantos de intemperismo total presentes na BHRJ. Esse tipo de solo detém uma suscetibilidade 3 para a formação de erosão linear. Com 0,84% de presença na BHRJ, localizados predominantemente na faixa de litoral, os Neossolos Quartzarênicos, comuns em regiões litorâneas, tem valor de suscetibilidade 2, que é considerado baixo. Em relação a unidade do Neossolo Litólico, com 1,94% de presença na BHRJ tem peso de suscetibilidade 4, considerado alto.

No quesito geologia, a região da bacia está alocada principalmente sobre cinco grandes classes geológicas no estado de Pernambuco (Figura 3). Mbf – Complexo Belém do São Francisco, com cerca de 40,62% da área total, Pgm1 – Complexo Gnaissico-Migmatíticos indiscriminados com 12,5% da área total, Qha – Sedimentos Aluvionares do cenozóico, com 9,60% da área, Qi – Sedimentos eluvionares e coluvionares do cenozóico, representando 7,45% da bacia e Ny3qd – Suítes magmáticas do Neoproterozóico, constituindo 10,74% do local de estudo. O grau de suscetibilidade aos processos de denudação dessas classes geológicas são 3 - 1 - 5, 5 e 1 - respectivamente. Cerca de 57,67% da bacia está sobre embasamento geológico com índice de suscetibilidade aos processos de denudação de médio a alto (Crepani et al., 2001).



Figura 3 - Mapa das unidades geológicas da Bacia hidrográfica do Rio Jaboatão, no Litoral e Zona da Mata Meridional de Pernambuco (2024)



Fonte: O autor (2024)

Em regiões de falhas geológicas, ao criar zonas de fraqueza e fraturas no substrato rochoso, facilitam a infiltração de água e a atuação de processos de intemperismo, acelerando a erosão nas áreas menos resistentes. Segundo Li et al. (2022), as áreas próximas a falhas geológicas são especialmente suscetíveis à erosão diferencial, uma vez que as tensões tectônicas associadas a essas falhas geram zonas de fratura que intensificam a vulnerabilidade das rochas ao desgaste por processos físicos e químicos.

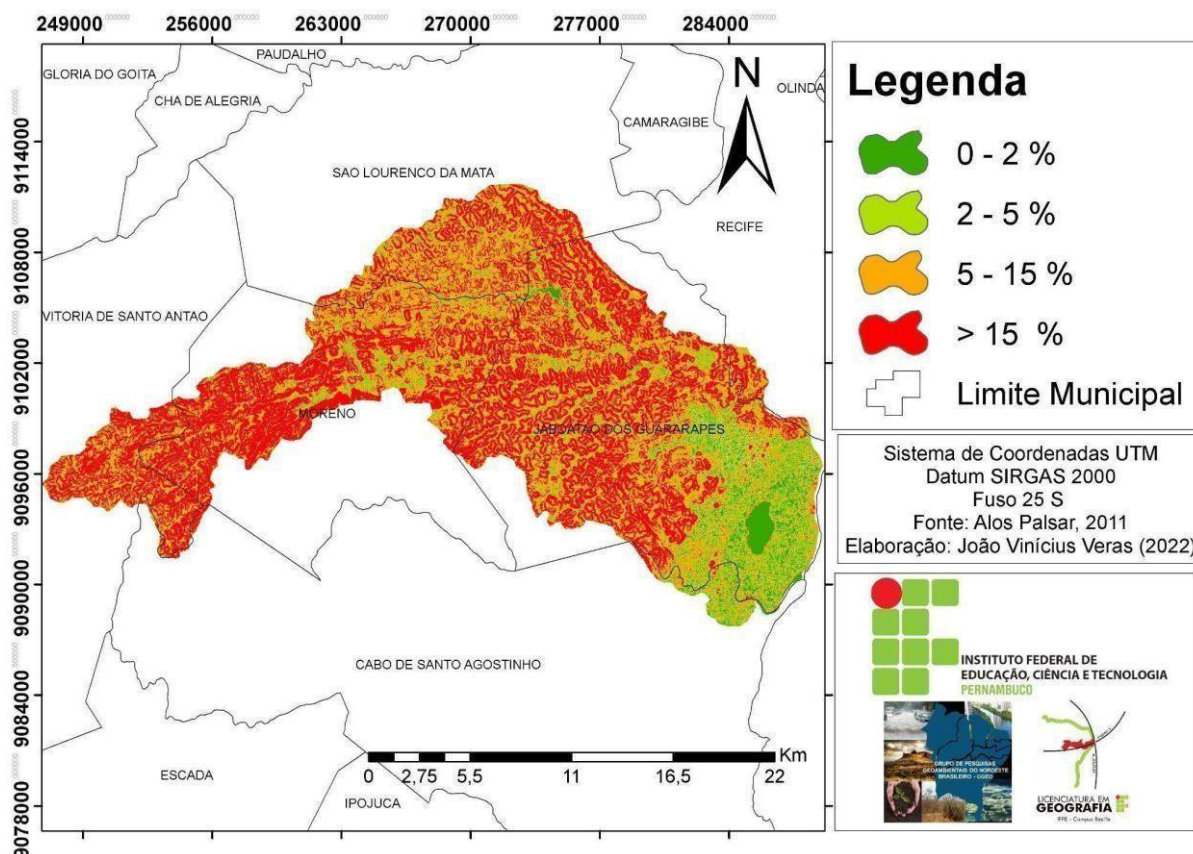
#### 4.2 Declividade e Forma das Vertentes

Cerca de 74,76% da bacia está alocada em áreas com declividade que variam de 5 a 15% e maiores que 15%, que correspondem a relevo suave ondulado e forte ondulado, representando, 1,5 e 2 na escala de suscetibilidade aos processos de formação de voçorocas (Figura 4). A declividade, é fator primordial para a definição da



velocidade do escoamento da água, e na quantidade de material em suspensão arrastado. Maiores declividades relacionam-se aos altos volumes e velocidades das enxurradas (Quaresma et al., 2015).

Figura 4 - Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão, no Litoral e Zona da Mata Meridional de Pernambuco (2024)



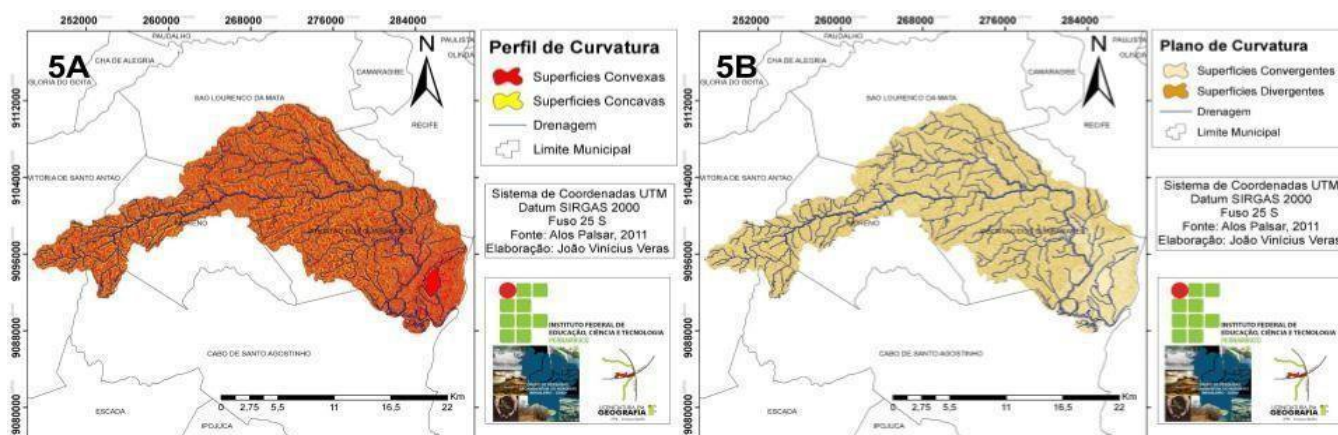
Fonte: O autor (2024)

De acordo com Padilha et al. (2019) a área contribuinte e a inclinação média, dão luz a variável de regulação do escoamento superficial, causando erosão. Mais da metade do terreno da BHRJ tem suscetibilidade Média e Alta para a formação de voçorocas.

Para a BHRJ foram analisados os perfis de curvaturas das vertentes. Os perfis de curvatura estão classificados em vertentes convexas e côncavas, como pode ser demonstrado de acordo com a Figura 5. O perfil de curvatura da bacia, expôs que as superfícies convexas correspondem a 67,05% da área, sendo locais de dispersão do fluxo hídrico. As superfícies côncavas conferem 32,95% da área total e são regiões de acúmulo da drenagem.



Figura 05 - Mapa de Perfil de Curvatura (5A) e Plano de Curvatura (5B) da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão, no litoral e Zona da Mata Meridional de Pernambuco (2024)



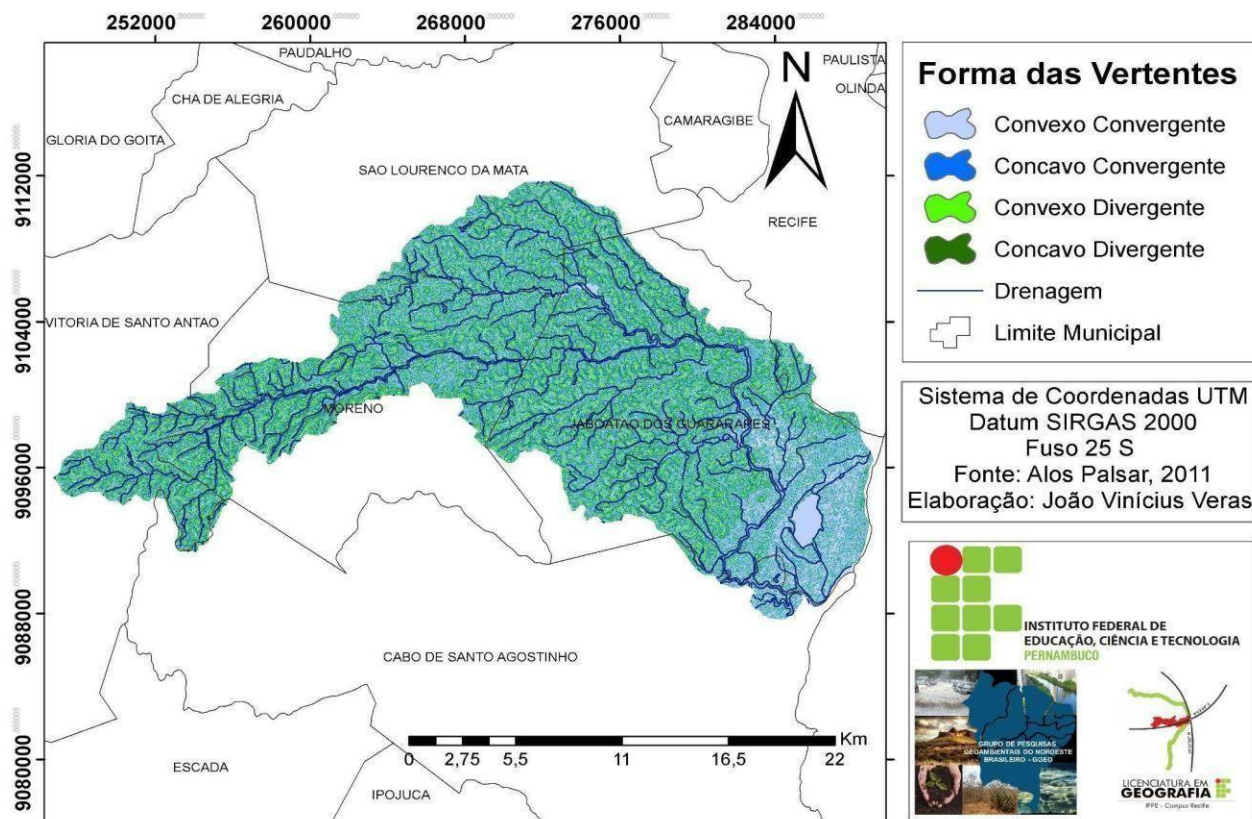
De acordo com Knierim (2016), os perfis de curvatura indicam de maneira ampla em quais regiões das vertentes podem atuar as maiores energias dos fluxos superficiais e dessa forma, identifica-se o ponto do relevo em que a ação erosiva é mais suscetível. Na região de análise, as superfícies côncavas da bacia hidrográfica, merecem uma maior atenção, pois representam uma maior suscetibilidade para formação de voçorocas.

Quanto ao plano de curvatura, verificou-se que as superfícies convergentes representam 28,36% da área total da BHRJ e as superfícies divergentes correspondem a 71,64%. As regiões de convergência representam aproximadamente um terço da área de estudo, esses ambientes concentram a drenagem, são regiões de baixada e por acumular muita água tornam-se suscetíveis à erosão linear. Enquanto as áreas de divergências são locais de expulsão dos corpos hídricos, justamente por serem ambientes mais elevados e inclinados (Crepani et al., 2001; GIRÃO et al., 2007; Florenzano, 2008).

Ao conectar o perfil de curvatura e o plano de curvatura, foi gerado o mapa de forma das vertentes, permitindo observar quatro tipos de feições de superfície (Figura 6).



Figura 6 - Mapa das Formas das Vertentes da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão, no litoral e Zona da Mata Meridional de Pernambuco (2024)



Fonte: O autor (2024)

A classe convexo-convergente cobre 26,35% da área de captação, nestas áreas, a energia do fluxo de água superficial aumenta, eles dominam o processo de infiltração subsuperficial e o fluxo de água começa a se concentrar. A classe côncavo-divergente representa 8,24% da área total e marca as áreas mais baixas e próximas à drenagem.

A categoria Côncavo-Convergente representou 32,22% da área de captação e foi caracterizada pelo acúmulo e concentração máxima de escoamento na encosta. Por fim, a classe convexa-divergente refere-se a 33,18% da área total da bacia e é caracterizada por maior energia de fluxo, menor infiltração e máxima dispersão de drenagem (Knierin et al., 2016). Conclui-se que, 58,57% da bacia hidrográfica, está sobre ambiente de convergência dos fluxos hídricos, predominando assim, peso três e cinco para suscetibilidade à formação de voçorocas (Quadro 01).

Compreender a relação entre as formas das vertentes e a erosão linear é

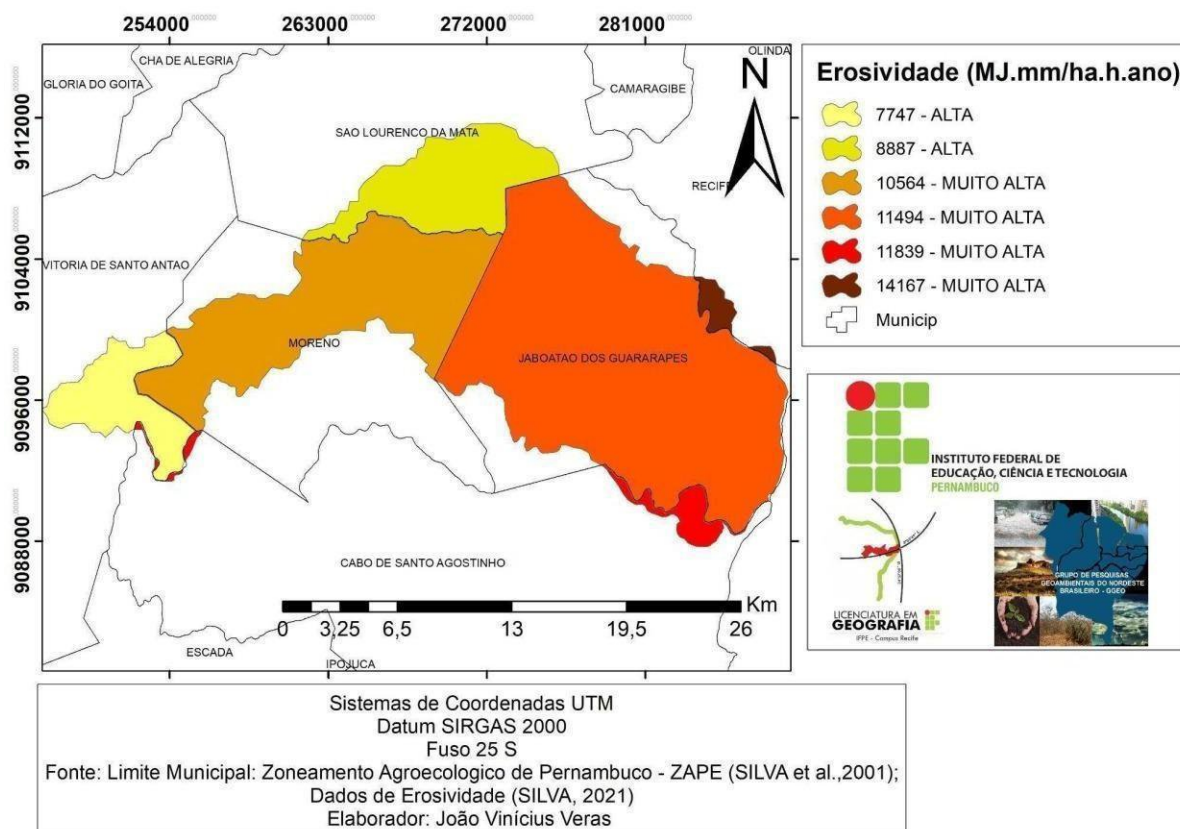


fundamental para a gestão e conservação do solo. A identificação de áreas susceptíveis à erosão permite a adoção de práticas conservacionistas, como o terraceamento, plantio em contorno, e a recuperação da cobertura vegetal. Além disso, o planejamento do uso do solo em regiões com vertentes íngremes e susceptíveis à erosão é essencial para evitar a degradação ambiental e garantir a sustentabilidade dos recursos naturais (Morgan, 2005).

### 4.3 Erosividade

Como aponta Silva (2020), a erosividade (MJ.mm/ha.h.ano) dos municípios que compõem a bacia (Figura 7) foi classificada em duas classes: 7747 – 8887 (ALTA) e 10564 – 14167 (MUITO ALTA). A partir disso pode-se verificar que os índices de Erosividade com valor Muito Alto, portanto peso cinco (5) em relação a formação de voçorocas, estão alocados nos municípios de Jaboatão (225 Km<sup>2</sup>), Recife (4 Km<sup>2</sup>), Cabo de Santo Agostinho (27 Km<sup>2</sup>), que compõem 74,98% da área de estudo.

Figura 7 - Mapa de Erosividade da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão, no litoral e Zona da Mata Meridional de Pernambuco (2024)



Fonte: SILVA (2021).



A erosividade das chuvas está diretamente relacionada à intensidade e à capacidade de uma precipitação de causar erosão no solo, especialmente no que se refere à formação de processos de erosão linear, como sulcos, ravinas e voçorocas. Chuvas intensas, com grande volume de água em curtos intervalos de tempo (comuns no litoral nordestino), possuem alta erosividade e são mais eficazes na remoção de partículas do solo superficial, favorecendo o escoamento concentrado. Segundo Panagos et al. (2021), a erosividade das chuvas é um dos principais fatores que impulsionam a erosão linear, pois, em declividades acentuadas, a energia cinética das gotas de chuva e o escoamento subsequente aumentam a capacidade de corte e transporte do solo, ampliando os canais erosivos e acelerando a degradação da paisagem.

De acordo com Panachuki et al. (2011), a erosividade das chuvas é um dos principais fatores que intensificam a degradação do solo, pois a energia cinética gerada pela precipitação impacta diretamente a capacidade de desagregação do solo. Essa energia é maior em eventos de chuva de alta intensidade, favorecendo o escoamento superficial e, conseqüentemente, a formação de sulcos e canais que caracterizam a erosão linear.

Silva et al. (2018) destacam que em áreas onde há uma alta concentração de chuvas intensas e de curta duração, o risco de formação de ravinas é significativamente maior. Nessas regiões, o impacto das gotas de chuva é capaz de remover a camada superficial do solo, especialmente se não há cobertura vegetal suficiente, promovendo a concentração do fluxo de água e o surgimento de canais erosivos.

Em áreas como o Brasil, com um regime de chuvas concentradas em determinados períodos do ano, estudos indicam que a erosividade é um fator-chave no controle de processos erosivos. Lopes et al. (2020) reforçam que o manejo inadequado do solo e a ausência de práticas conservacionistas aumentam a suscetibilidade à formação de erosões lineares em locais com alta erosividade, prejudicando a conservação do solo e dos recursos hídricos.

Para Lepsch (2002) o clima é um dos fatores de maior importância para a distribuição da intensidade das chuvas. Em momentos de estiagem, o tempo para a absorção da água pelo solo aumenta bastante, e em momentos de alta pluviosidade,



pode-se gerar aguaceiros e até mesmo enxurradas, auxiliando no processo de erosão linear.

#### 4.4 Análise Espaço Temporal do Uso da Terra

Os dados de uso da terra da BHRJ dos últimos 30 anos foram elaborados por Souza (2019). Diferente dos elementos estruturais da paisagem que no período de trinta anos pouco se modificam, os dados de uso do solo podem ser os principais aspectos formuladores das variantes que formataram o desenvolvimento dos subsídios de erosão linear e formação de voçorocas. Os elementos do uso da terra muito se alteram pelo fator antropológico, a relação do homem com o meio fez com que essas variantes fossem o cerne para a construção dos mapas de suscetibilidade à formação de voçorocas na área de estudo.

Em relação aos dados de uso da terra presentes na BHRJ de 1986 (Figura 8), pode-se notar que 74,98% da área em questão está sobre suscetibilidade à formação de voçorocas de média a muito alta (Tabela 1), com peso de vulnerabilidade respectivo de três, quatro e cinco. Nestes ambientes prevalecem áreas de Lavoura Temporária (62,26%), área urbana ondulada (7,39%) e pastagem (5,36%). Esses dados demonstram que na década de oitenta do século XX, grande parte da região já tinha usos da terra que poderiam impactar na suscetibilidade à erosão linear.

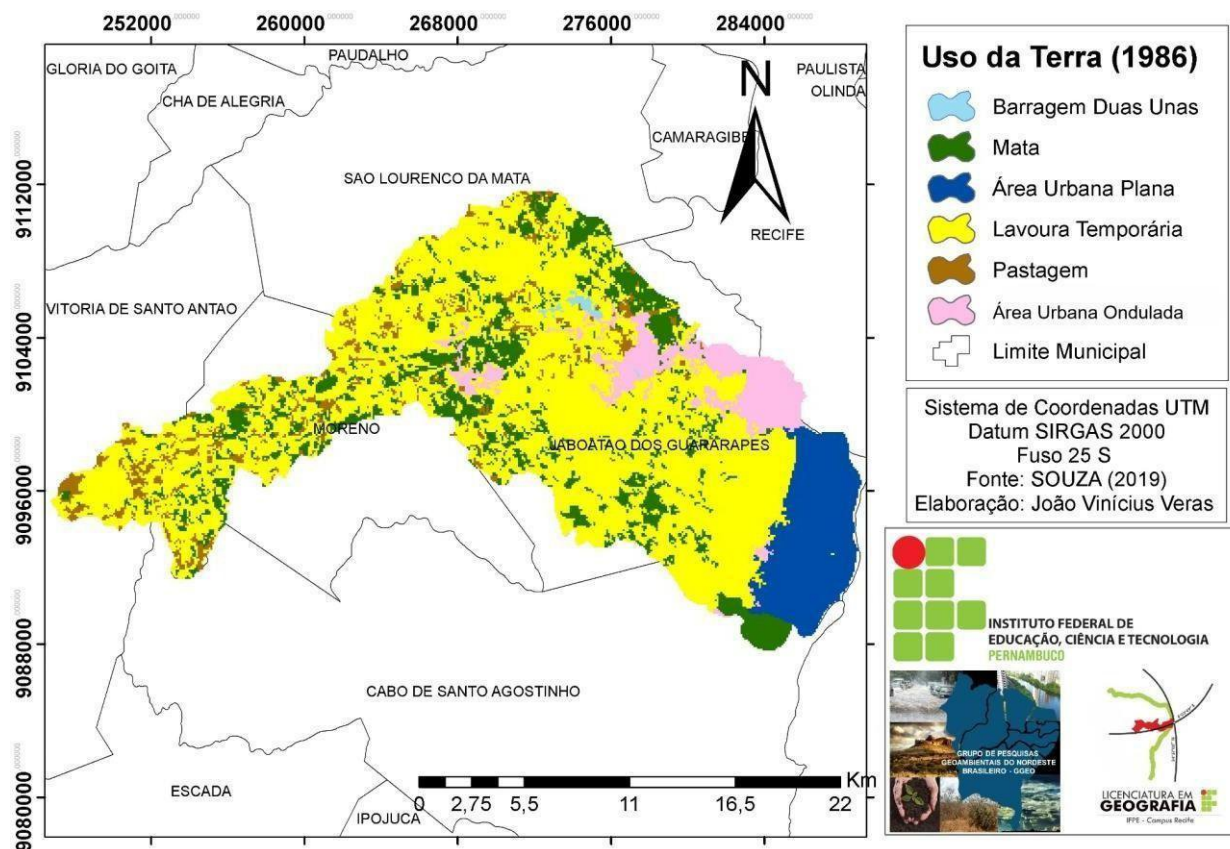
Tabela 01 - Descrição da área e peso de vulnerabilidade à erosão linear de cada classe de uso da Terra presente na bacia hidrográfica do Rio Jaboatão entre os anos de análise.

| Classes de Uso da    | Área % |       |       | Peso<br>(vulnerabilidade) |
|----------------------|--------|-------|-------|---------------------------|
|                      | 1986   | 2004  | 2018  |                           |
| Área Urbana ondulada | 7,39   | 10,36 | 13,42 | 5                         |
| Área Urbana Plana    | 9,53   | 11,23 | 10,33 | 2                         |
| Mata                 | 15,46  | 18,87 | 18,39 | 1                         |
| Pastagem             | 5,36   | 7,01  | 10,41 | 4                         |
| Lavoura Temporária   | 62,26  | 52,53 | 47,45 | 3                         |
| TOTAL                | 100    | 100   | 100   |                           |

Fonte: O autor (2024)



Figura 8 - Mapa do uso da terra (1986) da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão, no litoral e Zona da Mata Meridional de Pernambuco

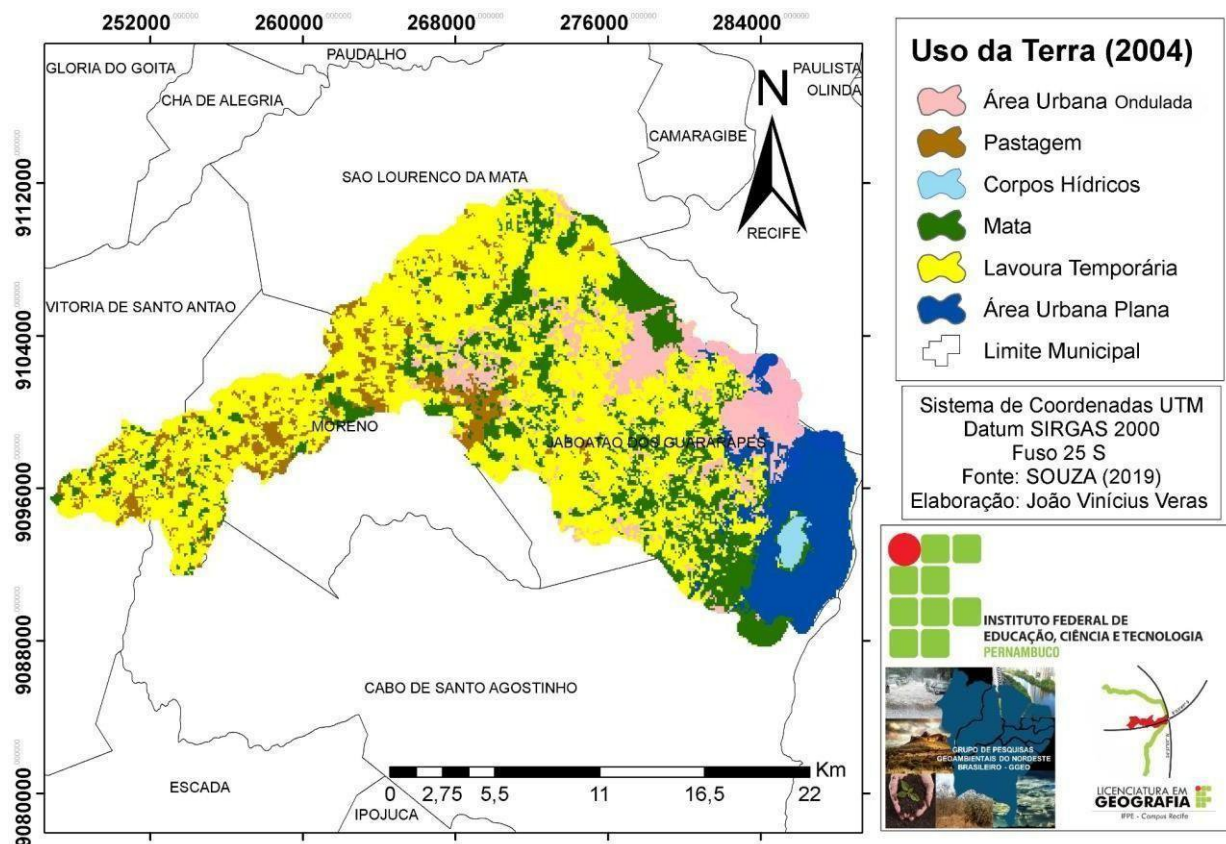


Fonte: SOUZA, Adaptado pelo autor (2024)

Em 2004 notou-se uma evolução considerável em relação à utilização da terra em detrimento de 1986 (Figura 9 e Tabela 1). O uso da terra para pastagem evoluiu 1,65%, área urbana ondulada 3% e área urbana plana 1,7%, esses ambientes estão sob peso de vulnerabilidade quatro, cinco e dois respectivamente. A constatação dos dados demonstra evolução de 6,33% nos ambientes de vulnerabilidade média, alta e muito alta à erosão linear e formação de voçorocas.



Figura 9 - Mapa do uso da terra (2004) da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão, no litoral e Zona da Mata Meridional de Pernambuco

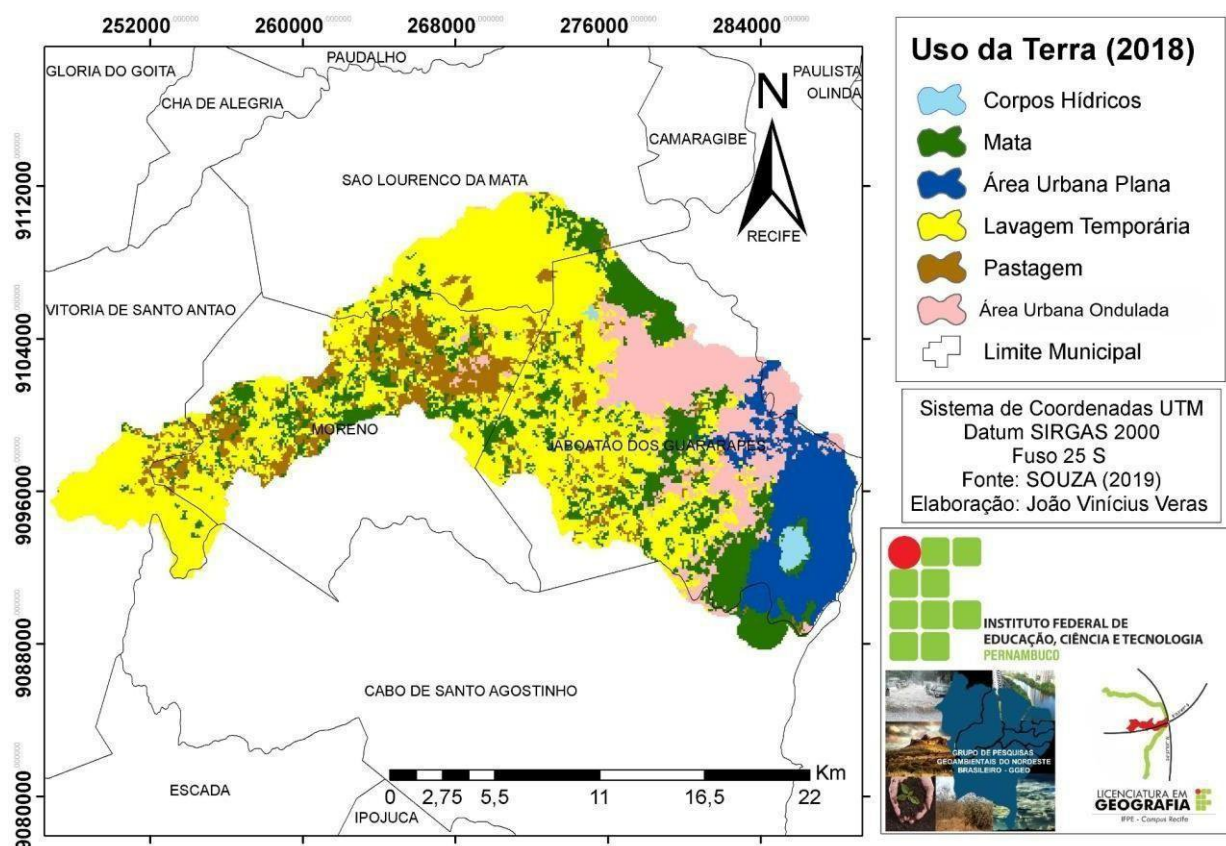


Fonte: SOUZA, Adaptado pelo autor (2024)

Para o ano de 2018 observa-se uma evolução em praticamente todos os índices de vulnerabilidade (Figura 10 e Tabela 1). Os ambientes de pastagem evoluíram 3,4%, regiões de mata diminuíram e os ambientes de lavoura perderam lugar para regiões de área urbana. Os espaços com peso de vulnerabilidade à erosão linear cinco, quatro e três contemplam 71,28% da Bacia hidrográfica do Rio Jaboatão, com classe de suscetibilidade à formação de voçorocas muito alta, alta e média respectivamente. A evolução dos ambientes de risco torna-se fator evidente na área de estudo.



Figura 10 - Mapa do uso da terra (2018) da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão, no litoral e Zona da Mata Meridional de Pernambuco



Fonte: SOUZA, Adaptado pelo autor (2024)

#### 4.5 Suscetibilidade Espaço Temporal a Formação de Voçorocas na BHRJ

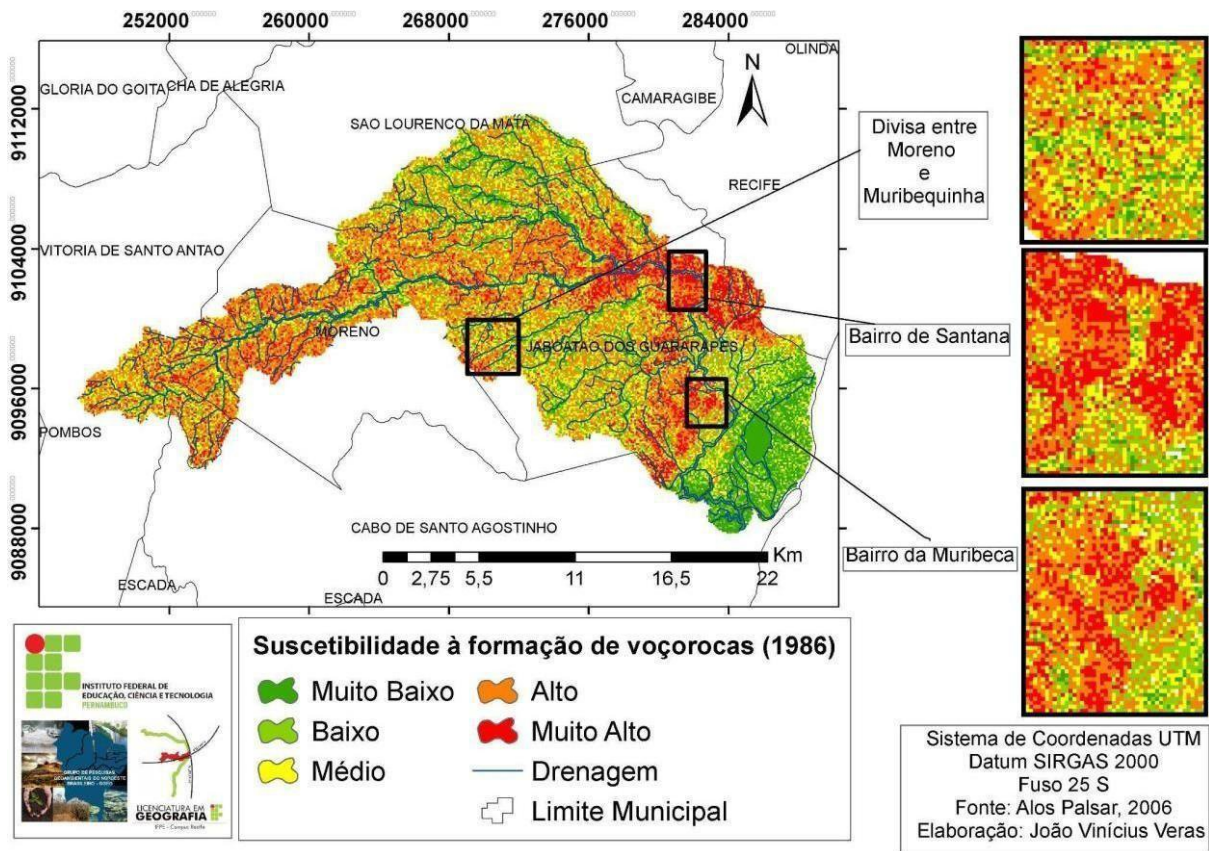
Em relação à BHRJ, a análise da suscetibilidade à formação de voçoroca foi realizada em um período de trinta e dois anos (1986 - 2018). Referente ao período inicial de 1986, pode-se notar que 46,39% da área de inquirição estava alocada sobre suscetibilidade Alta e Muito Alta, predominando nas regiões nordeste (Bairro de Santana, Marcos Freire e Vila Rica) e à montante do Rio Jaboatão no município de Vitória de Santo Antão, onde está localizado o ambiente de sua nascente (Tabela 2 e Figura 11).

Tabela 02 - Descrição da área e peso de suscetibilidade à formação de voçoroca na bacia hidrográfica do Rio Jaboatão entre os anos estudados

| Classes de Suscetibilidade | Área % |       |       |
|----------------------------|--------|-------|-------|
|                            | 1986   | 2004  | 2018  |
| Muito baixa                | 12,71  | 7,55  | 7,90  |
| Baixa                      | 17,08  | 22,53 | 21,58 |
| Média                      | 23,82  | 23,33 | 23,09 |
| Alta                       | 35,03  | 35,05 | 33,69 |
| Muito alta                 | 11,36  | 11,54 | 13,74 |
| TOTAL                      | 100    | 100   | 100   |

Fonte: Dados da pesquisa.

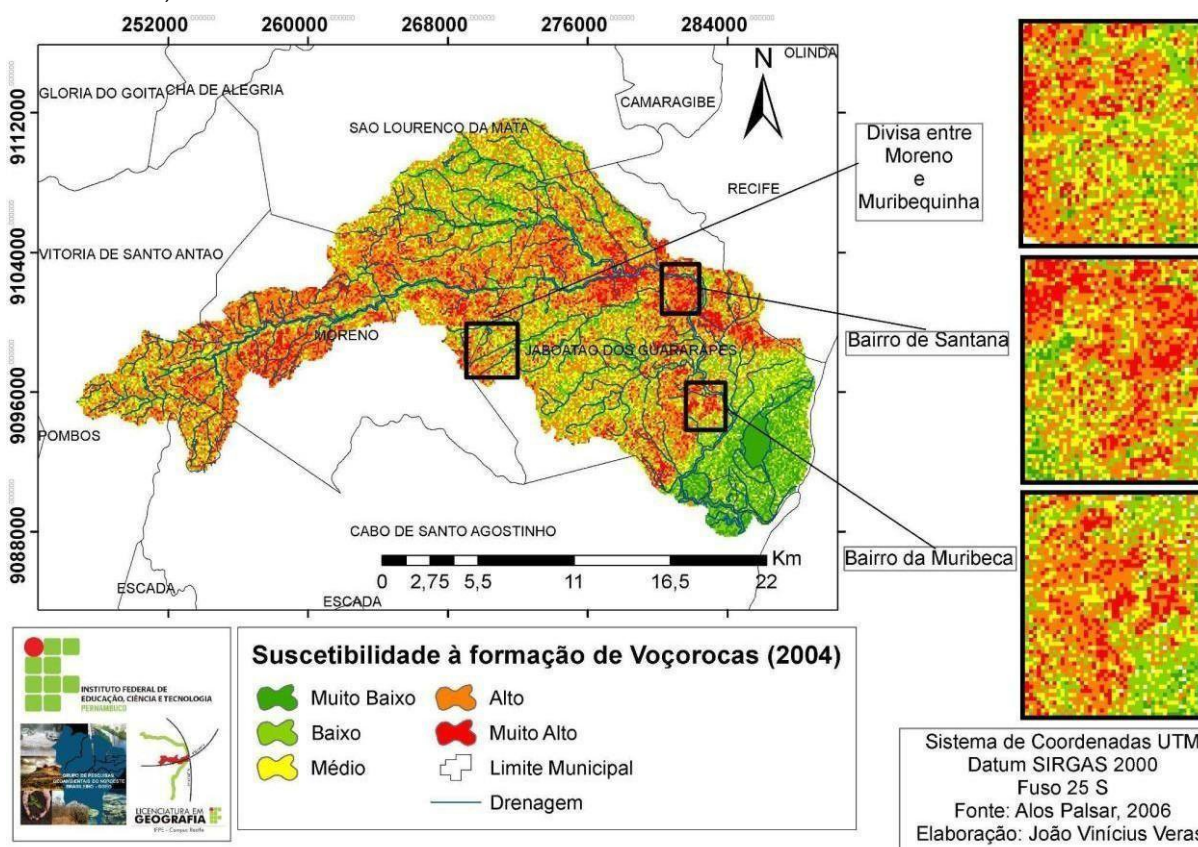
Figura 11 - Mapa de suscetibilidade à formação de voçorocas (1986) da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão, no litoral e Zona da Mata Centro de Pernambuco



Fonte: O autor (2024)

Relativo ao período de 2004, observa-se um decréscimo considerável de 5,16% para os ambientes de suscetibilidade Muito Baixa e um aumento para 46,59% das regiões de Alta e Muito Alta. Percebe-se um acréscimo das regiões em vermelho no espaço do médio curso da BHRJ e na área de Jaboatão Centro, Muribeca dos Guararapes e Santo Aleixo, localizados na porção central-setentrional do município de Jaboatão dos Guararapes (Tabela 2 e Figura 12).

Figura 12 - Mapa de suscetibilidade à formação de voçorocas (2004) da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão, no litoral e Zona da Mata Meridional de Pernambuco



Fonte: O autor (2024)

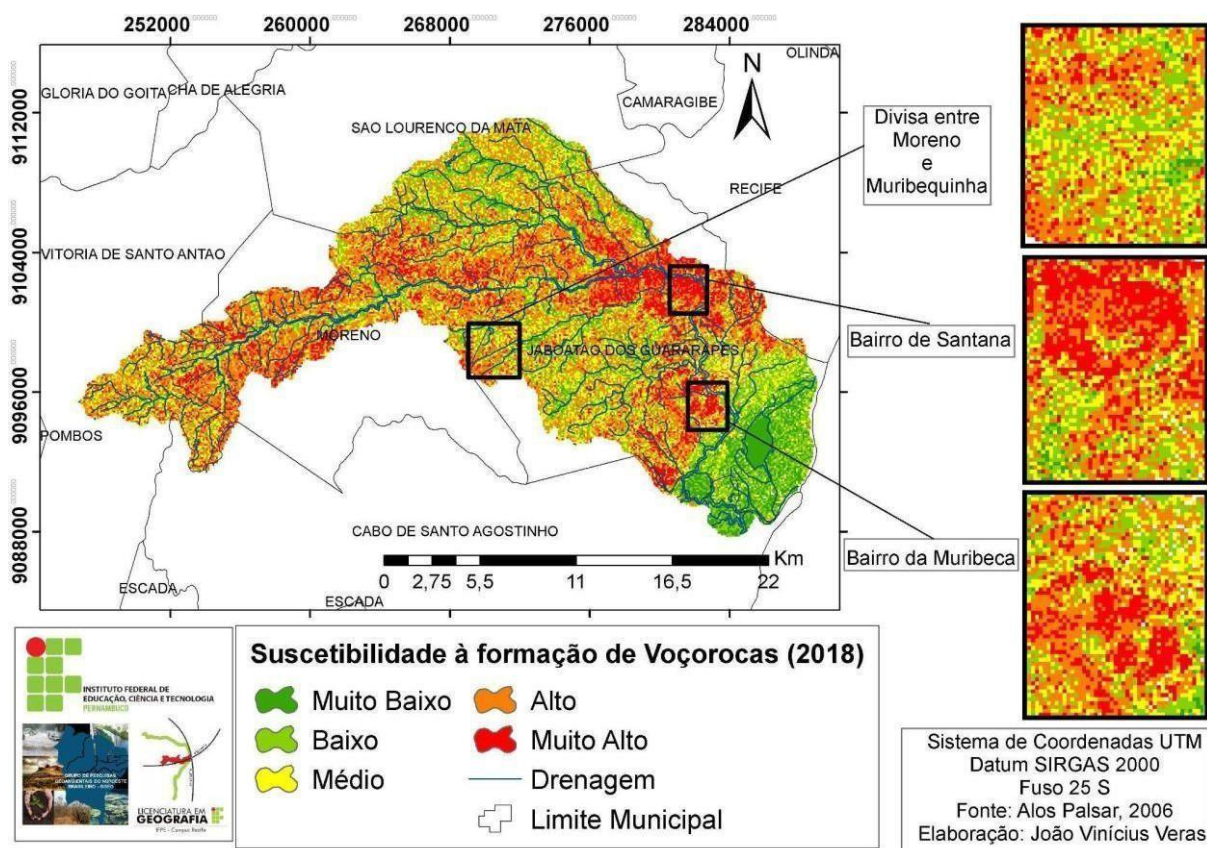
Os ambientes de Suscetibilidade média tiveram um pequeno decréscimo de 0,49% da área, em adjunto com a vultosa perda nos ambientes de suscetibilidade muito baixa, demonstra assim uma indicação da evolução dos ambientes de risco para a formação de Voçorocas.

Concernente ao ano de 2018 (Figura 13), a ascensão das áreas em vermelho torna-se nítida ao longo de várias regiões da BHRJ, desde a nascente, passando pelo médio curso até as proximidades da Lagoa Olho d'água em Candeias. Os ambientes de suscetibilidade muito baixa à formação de voçorocas tiveram um pequeno decréscimo



de 0,35%, o setor das suscetibilidades baixas teve um desfalque de 0,95%, os domínios de média, alta e muito alta sofreram um aumento de 0,6% (Tabela 2 e Figura 13).

Figura 13 - Mapa de suscetibilidade à formação de voçorocas (2018) da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão, no litoral e Zona da Mata Meridional de Pernambuco

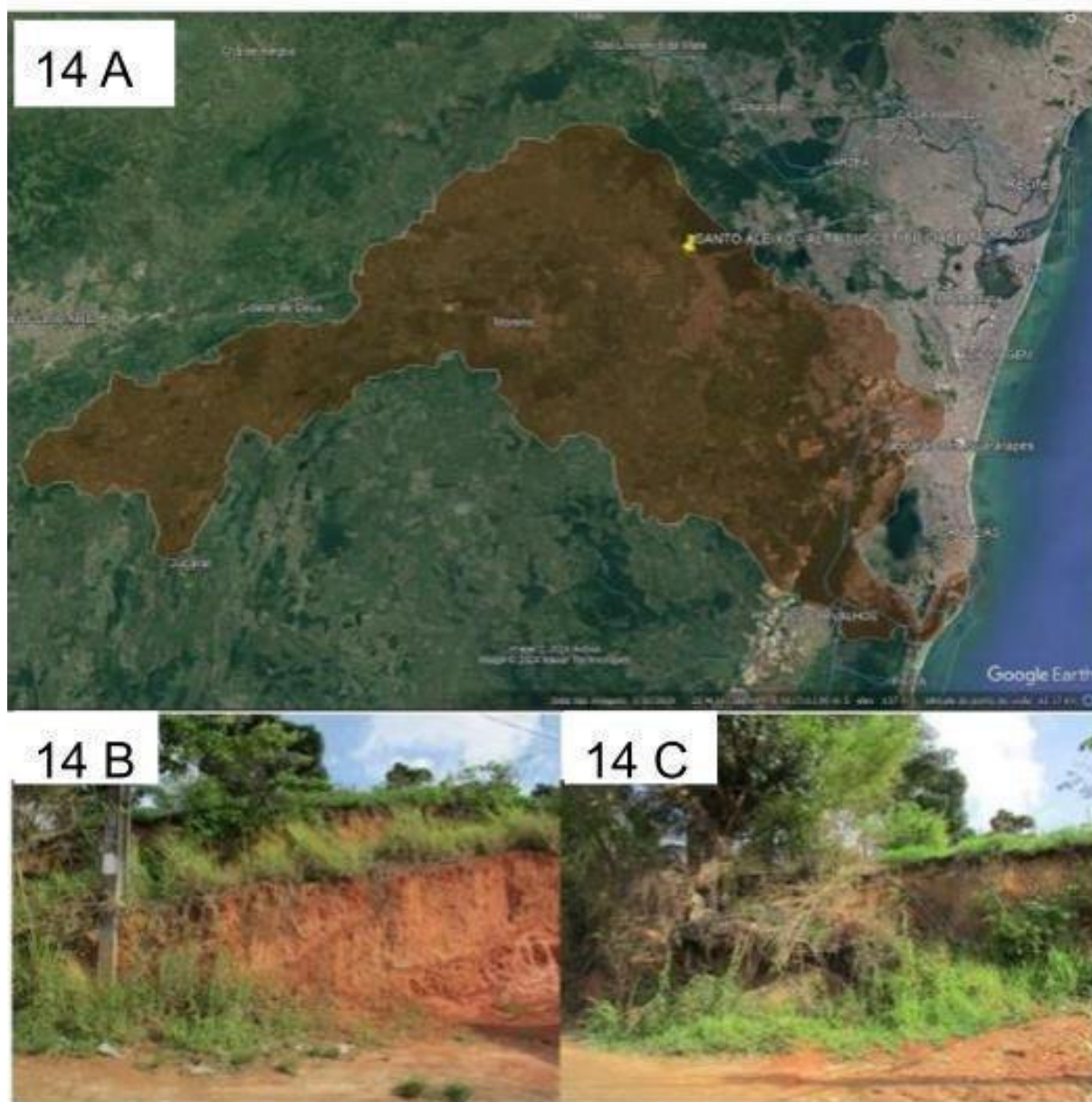


Fonte: O autor (2024)

Ao longo de 32 anos identificou-se além de um aumento nas regiões alta suscetibilidade à formação de voçorocas, também a diminuição dos ambientes de suscetibilidade baixa, o que demonstra a constante evolução temporal de ambientes de risco presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão.

Na figura 14 é possível observar o contorno da BHRJ, as coordenadas de longitude são 276428.00 m E com latitude de 9105208.00 m S (UTM). As imagens 14 B e 14 C foram retiradas na região norte de Jaboatão dos Guararapes, nas proximidades do bairro de Santo Aleixo, de acordo com a figura 13, essa região está representada em área de coloração avermelhada, que detém parâmetros muito altos para a ação da erosão linear e consequentemente, formação de voçorocas.

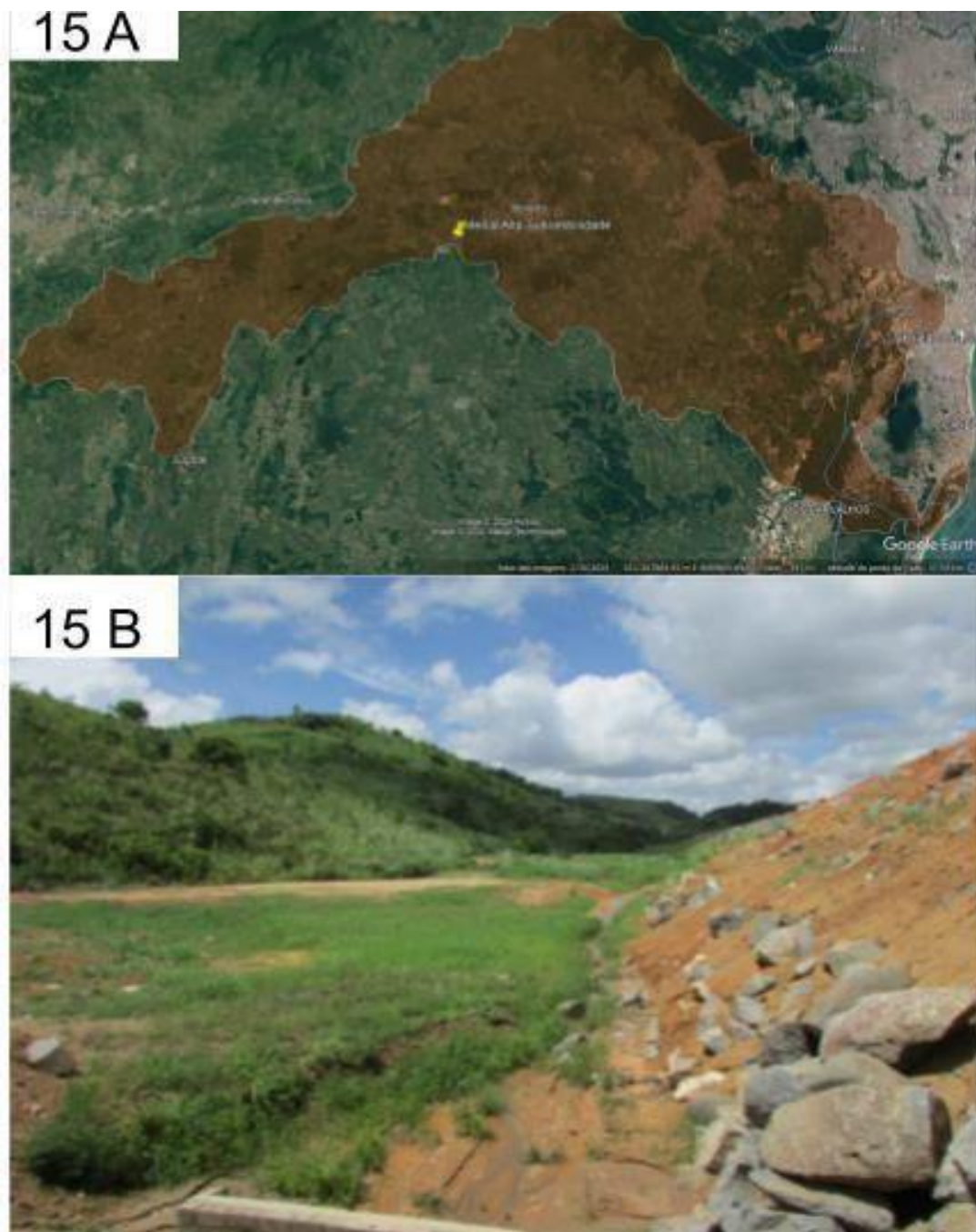
Figura 14 - Corte de barreira, com declividade ondulada no bairro de Santo Aleixo, em Jaboatão dos Guararapes – PE



Fonte: Oliveira & Souza, adaptado (2024)

Em relação a figura 15, a imagem demonstra uma região com morfologia de colinas e morros desgastados, típico dos relevos litorâneos expostos a um considerável grau de pluviosidade. As coordenadas da figura 15 estão representadas em longitude 266053.00 m E e latitude 9100835.00 m S (UTM).

Figura 15 - Região com presença do relevo ondulado, no município de Moreno - PE



Fonte: Oliveira & Souza, adaptado (2024)

Em terrenos com declividades onduladas e forte onduladas, o escoamento superficial tende a ser mais intenso e rápido. Isso ocorre porque a água da chuva tem maior facilidade de se mover para as partes mais baixas, aumentando o volume e a velocidade do fluxo. A energia cinética da água em movimento é diretamente proporcional à inclinação do terreno, e, quanto maior a inclinação, maior é o potencial



erosivo.

A partir da análise do uso da terra da BHRJ, constatou-se que a região litorânea da bacia (20,13% da área) está sob domínio urbano, com peso de suscetibilidade para a formação de voçoroca dois (2). Em 20,01%, da área se observa forte presença de mata, e a porção centro-oeste da bacia tem predominância de lavoura temporária, que representa, 17,32% da área, com respectivos pesos de um e dois (1 e 2). 41,36% da bacia é utilizada com o objetivo de pastagem, com peso 2. E por fim, as áreas de tratamento de resíduos (CTR Candeias) e de mineração correspondem a 0,39% da bacia, com peso 3 para a formação de voçorocas. (GOMES & SANTOS, 2001).



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicam que 63,29% da área está sobre unidade de solos com índice de susceptibilidade três, que é considerado muito alto. A predominância dos argissolos causa má percolação, tornando o ambiente bastante vulnerável aos agentes intempéricos.

No quesito geologia 33,62% da bacia está alocada em classes geológicas com menor resistência aos processos de denudação, apresentando índices de susceptibilidade que predominam entre dois e três. Essa região muito próxima ao litoral tem uma base geológica sedimentar e, portanto, bastante frágil, como é o caso das classes Tb – Grupo Barreira, Qha – Sedimentos Aluvionares e Qi – Sedimentos turfáceos (Cenozóico).

Cerca de 74,76% da bacia está sobre declividade 5-15% e >15% com grau de vulnerabilidade aos processos de erosão medianos. Observou-se também que 32,95% da bacia está sobre perfil morfológico côncavo que representa uma susceptibilidade alta. Sobre o plano de curvatura, 28% da bacia está representada em ambiente de conversão de fluxo hídrico. No que concerne ao atributo forma das vertentes, observou-se que 33,3% da área apresenta-se com encostas côncavas-convergentes, o que indica alta susceptibilidade à formação de voçorocas. Esses fatores condicionam a instalação dos processos erosivos lineares e formação de voçorocas, justamente por serem regiões de acúmulo da rede hidrográfica.

Em relação à Erosividade ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ )<sup>5</sup>, cerca de 74,98% da bacia está entre os índices 10564 – 14167, correspondendo ao peso três (3), com classe de susceptibilidade muito alta. Sobre o Uso da Terra, 79,2% do solo está entre classes de susceptibilidade média e alta, majoritariamente com valor de susceptibilidade dois (2).

Observou-se que aproximadamente 66,58% da área da bacia tem valor de susceptibilidade à formação de voçorocas dois e três (2 e 3), portanto classe de susceptibilidade alta. Esses ambientes detêm alta possibilidade de ocorrência de voçorocas e são regiões de risco elevado para as pessoas que vivem nesses locais.

Os avanços das voçorocas trazem diversos prejuízos, como a redução de solo para o plantio agrícola, concentração de sedimentos em rios, além de perdas de



lavouras. Frente a isso, este trabalho visou contribuir com a temática a partir da indicação de áreas mais suscetíveis aos processos de erosão linear e formação de voçorocas, baseando-se nas características ambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão – PE. Desse modo, a presente pesquisa serve como informação primária para inquirições avançadas no ambiente de inspeção.



## 6 REFERÊNCIAS

ARAÚJO FILHO, J. C. et al. **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco**. Embrapa Solos: Rio de Janeiro, 2000.

BERTONI, J.; L. NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 2008. 6ª Ed. 2008.

BITTAR, O.Y. (Org.). 1995. **Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – Instituto de Pesquisa Tecnológica, Divisão de Geologia. 247p.

CPRH, Agência Estadual de Meio Ambiente. Grupo de pequenos rios litorâneos – GL2. In: **Relatório de monitoramento da qualidade da água de bacias hidrográficas do estado de Pernambuco**. Diretoria de gestão territorial e recursos hídricos, governo de Pernambuco, 2016.

CREPANI, E. et al. **Uso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2001.

FLORENZANO, T.G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos. 2008.

GOMES, H. A. & SANTOS, E. J. (org). **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Pernambuco**. Recife: CPRM, 2001.

GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 10ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. 474 p.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B

GUERRA, A. J. T.; SILVA, S. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.) **Erosão e Conservação dos Solos**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 340p.



GIRÃO, O. et al. Encostas urbanas como unidades de gestão e planejamento, a partir do estudo de áreas a sudoeste da cidade do Recife – PE. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 24, nº 3. 2007.

KNIERIN, I. Relação dos processos erosivos lineares com os atributos do relevo no município de Unistalda - RS. **Geo UERJ**. Rio de Janeiro, n. 32, p. e23397, 2018.

LABRIÈRE, N.; LOCATELLI, B.; LAUMONIER, Y.; FREYCON, V. Soil erosion in the humid tropics: A systematic quantitative review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. 203. 2015. 127–139.

LAL, R. Soil degradation by erosion. **Land degradation & Development**. 12. 519-532. 2001.

LAL, R. (2020). **Soil health and climate change: An imperative for mitigating global warming**. *Journal of Soil and Water Conservation*, 75(6), 123A-129A.

LI, Z., ZHANG, J., WANG, Y., & LIU, S. (2022). **Geological controls on differential erosion and landscape evolution in tectonically active regions**. *Geomorphology*, 402, 108144.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 178p.

LOPES, V. P. et al. "Precipitação e erosividade no contexto de mudanças climáticas: desafios para a conservação do solo." *Geociências*, vol. 39, 2020.

MERTEN, G. H., ARAÚJO, A. G., & COGO, N. P. (2022). **Soil erosion processes and their impacts on agricultural sustainability**. *Journal of Environmental Management*, 301, 113824.

MORGAN, R. P. C. (2005). **Soil Erosion and Conservation**. *Blackwell Publishing*.

OLIVEIRA, I. V. A. de. **Análise de riscos erosivos na bacia hidrográfica do Rio Jaboatão-PE. Recife - PE**: TCC (Curso de Licenciatura em Geografia) – Instituto Federal de Pernambuco, Departamento Acadêmico de Ambiente, Saúde e Segurança – DASS. 2019.



QUARESMA, C. C. PEREZ FILHO, A. **EROSÕES LINEARES E DECLIVIDADE: CONTRIBUIÇÕES AO ENTENDIMENTO DA DEGRADAÇÃO DOS SOLOS NO BAIXO CURSO DA BACIA DO RIO SANTO ANASTÁCIO – SP/BRASIL.** Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade, ISSN: 2317 – 8302, 2015. 05p.

PANACHUKI, E. et al. "Erosividade da chuva e sua relação com a erosão hídrica no Brasil Central." *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 35, 2011.

PANAGOS, P., BALLABIO, C., BORRELLI, P., MEUSBURGER, K., KLIK, A., & ROUSSEVA, S. (2021). *Rainfall erosivity in Europe: Temporal and spatial patterns of R-factor*. Science of the Total Environment, 757, 143795.

POESEN, J., NACHTERGAELE, J., VERSTRAETEN, G., & VALENTIN, C. (2021). *Soil erosion by water: Towards better understanding of its control. Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 45(1), 1-24.

SILVA, F. B. R. et al. **Zoneamento Agroecológico de Pernambuco - ZAPE.** Recife: Embrapa Solos - Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento - UEP Recife; Governo do Estado de Pernambuco (Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária). (Embrapa Solos. Documentos; no. 35). ZAPE Digital, CD-ROM. 2001.

SILVA, M. L. et al. "Impactos da erosividade das chuvas na formação de erosões lineares: um estudo de caso." *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 42, 2018.

SOUZA, D. D. R. **Análise espaço-temporal do uso da terra da bacia hidrográfica do rio Jaboatão – PE.** Recife - PE: TCC (Curso de Licenciatura em Geografia) – Instituto Federal de Pernambuco, Departamento Acadêmico de Ambiente, Saúde e Segurança – DASS.2019.

VALERIANO, M.M. Topodata: **Guia para utilização de dados geomorfológicos locais.** São José dos Campos: INPE, 2008. INPE-15318-RPQ/818.

ZHOU, P., LÜ, Y., FU, B., & FENG, X. (2021). *Impact of slope gradient on soil erosion processes: Implications for erosion control and sustainable land management*. Land Degradation & Development, 32(6), 2123-213