



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**  
**INSTITUTO DE GEOGRAFIA, DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**JOSÉ GOMES DOS SANTOS LEAL NETO**

**ESTUDO DA ESTABILIDADE GEOMORFOLÓGICA DAS FALÉSIAS DE CARRO  
QUEBRADO, LITORAL NORTE DE ALAGOAS**

**Maceió, Alagoas**

**2025**

**JOSÉ GOMES DOS SANTOS LEAL NETO**

**ESTUDO DA ESTABILIDADE GEOMORFOLÓGICA DAS FALÉSIAS DE CARRO  
QUEBRADO, LITORAL NORTE DE ALAGOAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal de Alagoas.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Ferreira

Maceió, Alagoas

2025

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecária: Girlaine da Silva Santos – CRB-4 – 1127

L435e Leal Neto, José Gomes dos Santos.  
Estudo da estabilidade geomorfológica das falésias de Carro Quebrado, litoral norte de Alagoas / José Gomes dos Santos Leal Neto. – 2025.  
98 f. : il.

Orientador: Bruno Ferreira.  
Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Maceió, 2025.

Bibliografia: f. 92 - 98.

1. Morfodinâmica costeira (AL). 2. Encostas costeiras. 3. Abrasão marinha. 4. Riscos geomorfológicos costeiros. 5. Falésias. I. Título.

CDU: 911: 551.4(813.5)



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**  
**INSTITUTO DE GEOGRAFIA, DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – MESTRADO**

**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO FINAL**

Em sessão pública, no dia 25 (Vinte e Cinco) de fevereiro de 2025, às 10:00h, na sala virtual <https://meet.google.com/krb-yjnp-sdc>, de forma remota, deu-se início à defesa de dissertação final do programa de mestrado em geografia, com área de concentração em Organização do Espaço Geográfico, linha de pesquisa: DINÂMICA SOCIOAMBIENTAL E GEOPROCESSAMENTO, do aluno **JOSÉ GOMES DOS SANTOS LEAL NETO**, orientando do Prof. Dr. Bruno Ferreira e coorientado pelo Prof. Diogo Cavalcanti Galvão, intitulada: “**ESTUDO DA ESTABILIDADE GEOMORFOLÓGICA DAS FALÉSIAS DE CARRO QUEBRADO, LITORAL NORTE DE ALAGOAS**”, como requisito para a obtenção do título de **Mestre**. A banca examinadora foi constituída pelos seguintes docentes: Prof. Dr. Bruno Ferreira PPGG/UFAL), presidente da banca, Prof. Dr. Diogo Cavalcanti Galvão, coorientador (IGDema/Ufal), Dra. Nivaneide Alves de Melo Falcão (PPGG/UFAL), membro titular interno, e como convidado o Prof. Dr. Cristiano Aprígio dos Santos (Departamento de Geografia/UFS/Itabaiana) avaliador A defesa constituiu de uma apresentação oral de 30 (trinta) minutos, seguida de inquirições para cada um dos examinadores e das respostas, e foi assistida pelas pessoas que se fizeram presentes. Ao final, a Banca Examinadora reuniu-se reservadamente e decidiu em atribuir ao conteúdo do trabalho e à defesa a menção: **aprovado**, com base no art. 63 do Regimento Interno do Curso. Nada mais havendo a tratar, deu-se por encerrada a defesa, sendo a presente ata assinada pelos componentes da Banca Examinadora.

Pareceres da Banca Examinadora conforme art. 63 e seus parágrafos do Regimento do Programa de Pós-Graduação em Geografia.

**Parecer 1:** Aprovação com sugestão de revisões.

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** NIVANEIDE ALVES DE MELO FALCAO  
Data: 25/02/2025 17:58:19-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura: \_\_\_\_\_

**Parecer 2:** Aprovação com indicação de correções.

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** CRISTIANO APRIGIO DOS SANTOS  
Data: 25/02/2025 15:33:22-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura: \_\_\_\_\_

Maceió, 25 de fevereiro de 2025.



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**  
**INSTITUTO DE GEOGRAFIA, DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – MESTRADO**

**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO - Assinaturas**

Maceió, 25 de fevereiro de 2025.

Documento assinado digitalmente

**gov.br**

**BRUNO FERREIRA**

Data: 25/02/2025 20:24:11-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Bruno Ferreira**  
**PPGG/IGDema/UFAL**  
**Orientador**

Documento assinado digitalmente

**gov.br**

**DIOGO CAVALCANTI GALVAO**

Data: 25/02/2025 19:26:45-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Diogo Cavalcanti Galvão**  
**PPGG/IGDema/UFAL**  
**Coorientador**

Documento assinado digitalmente

**gov.br**

**NIVANEIDE ALVES DE MELO FALCAO**

Data: 25/02/2025 17:59:30-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Profa. Dra. Nivaneide Alves de Melo Falcão**  
**PPGG/IGDema/UFAL**  
**Membro Interno**

Documento assinado digitalmente

**gov.br**

**CRISTIANO APRIGIO DOS SANTOS**

Data: 25/02/2025 15:25:55-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Cristiano Aprígio dos Santos**  
**Departamento de Geografia/UFS/Itabaiana**  
**Membro Externo**

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar, primeiramente, minha profunda gratidão à minha amada família, que sempre foi meu maior exemplo e alicerce na vida. Em especial, agradeço à minha mãe, Ana de Cassia Fausto Leal de Melo, ao meu pai, Adilson Lopes de Melo, à minha irmã, Ana Elcina Leal de Melo, à minha tia, Ana Lucia Fausto Leal da Silva, e à minha prima, Raquel Leal Pereira da Silva, por todo o carinho, apoio e amor incondicional que sempre me dedicaram.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa para a realização deste estudo. Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG) do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente (IGDema), e a todo o seu corpo docente, pelo apoio constante. Agradeço também ao IGDema e à Universidade Federal de Alagoas (UFAL) por toda a minha formação profissional, desde a Graduação em Geografia (Licenciatura).

Ao meu orientador, Prof. Dr. Bruno Ferreira, pela oportunidade de integrar o Laboratório de Geologia (LabGeo). Agradeço profundamente pelos conhecimentos compartilhados, pelo incentivo constante, pela disponibilidade nas idas a campo, pelas inúmeras correções de trabalhos e, especialmente, pela paciência e dedicação comigo durante todo o meu percurso no mestrado. Sou imensamente grato por tudo o que aprendi e pela orientação que sempre me conduziu com tanto zelo e atenção.

À banca, composta pelo Prof. Dr. Diogo Cavalcanti Galvão (coorientador), Profa. Dra. Nivaneide de Melo Falcão e Prof. Dr. Cristiano Aprígio dos Santos, por aceitarem o convite e por apresentarem sugestões para melhorar o trabalho, e pelas contribuições do Prof. Dr. Saulo Roberto de Oliveira Vital em minha banca de qualificação.

Aos professores do curso de Geografia do IGDema que contribuíram para a minha formação acadêmica e foram peças fundamentais na minha trajetória. Em especial, ao Prof. Dr. Kinsey Santos Pinto, pela atenção e pelos momentos ricos de aprendizado durante a minha graduação.

Aos meus amigos do LabGeo: Diva Cristina Barbosa Suruagy, Mikael Eduardo Silva Ferreira, Melquisedeque da Silva Viana, João Pedro Luiz da Silva, Pedro Henrique da Silva, Maria de Fátima Santos da Hora e Yasmin de Aguiar Omena, minha sincera gratidão pelo apoio durante o desenvolvimento desta dissertação, seja nas atividades de campo ou no laboratório. Seu auxílio e companheirismo foram essenciais ao longo dessa jornada.

Agradeço também aos amigos que me apoiaram e sempre estiveram presentes, me motivando durante todo este percurso: Renato Wilian de Lima, Maria Bianca Alves da Silva, Asier Calaça Ayastuy, Paulina Araújo da Silva, Arthur Tavares de Aquino Minin, Mariane Carine dos Santos Silva, Mariana Cavalcante Lins, José Davi Gomes dos Santos, Shaydy Silva Santos, Leonardo Correia de Araújo, Luana Tavares de Souza, Lucas de Moraes Teixeira e Josiel dos Santos Silva. Por fim, sou grato a todos os que contribuíram direta ou indiretamente em minha trajetória na pós-graduação e no desenvolvimento desta dissertação.

Obrigado!

## RESUMO

O presente estudo abordou a estabilidade geomorfológica das falésias da praia de Carro Quebrado, localizadas no Litoral Norte de Alagoas, nos municípios de Barra de Santo Antônio e Passo de Camaragibe, distantes cerca de 50 km de Maceió. Essas morfologias são o produto da interação de processos morfodinâmicos marinhos, fluviais e pluviais, desempenhando um papel significativo na proteção costeira e de seus serviços ecossistêmicos. A análise foi realizada em um trecho de aproximadamente 4,2 km, composto por falésias íngremes e escalonadas, ativas e inativas. Onde foram identificados e quantificados os potenciais riscos geomorfológicos frente aos processos de uso e ocupação das terras ao longo das falésias. Além de uma caracterização geomorfológica, mapeamento das formas de uso e ocupação das terras, classificação do grau de estabilidade morfodinâmica e do grau de riscos geomorfológicos potenciais, frente às características morfodinâmicas locais e as formas de uso e ocupação atuais e futuras. Os procedimentos metodológicos envolveram revisão bibliográfica e cartográfica além daqueles referentes a caracterização geomorfológica, levantamento de dados cartográficos, análises de campo, processamentos em ambiente SIG e elaboração de um modelo cartográfico. O de uso e ocupação das terras foi realizado com base em imagens de 2024 da companhia Airbus, para identificação de classes de uso e mensuração de seus impactos nas falésias. Para a hierarquização da estabilidade morfodinâmica, foram aplicadas duas metodologias: análise do Índice de Perigo e Instabilidade (IPI), que consistiu na identificação dos fatores que causam instabilidade morfodinâmica, com atribuição de pesos e notas, cálculo do IPI e elaboração do mapa de instabilidade; e a análise quantitativa da taxa de recuo das falésias entre os anos de 2002 e 2024. A etapa de identificação e classificação dos riscos geomorfológicos foi dividida em duas partes: a primeira envolveu a análise de mecanismos de ruptura e movimentos de massa, e a segunda, o mapeamento e caracterização das áreas de risco. De posse dos resultados, foi possível compartimentar a área em três setores: Norte, Central e Sul, cada um com características que refletem suas dinâmicas naturais e condições ambientais na paisagem. O mapeamento do uso e cobertura da terra possibilitou a identificação de sete classes: vegetação densa; vegetação rasteira; cana-de-açúcar; pasto; solo exposto; construções e; corpos d'água. O setor central foi o que apresentou, em uma faixa de 10 metros a partir da borda do tabuleiro costeiro, porção superior das falésias, a maior concentração das classes mais suscetíveis a risco de erosão, com solo exposto compondo 46,14%, e cana-de-açúcar, 26,38% da área total. Já o IPI dos setores Norte e Central revelou que eles possuem os maiores níveis de instabilidade, com classes de perigo muito alto, 15% (836.821 m) no setor Norte e 16% (904.191 m) no setor Central. Além disso, esses setores apresentaram áreas com perigo alto, representando 15% (399.202 m) no setor Norte e 7% (199.326 m) no setor Central. A taxa de recuo das falésias foi de 51.554,873 m<sup>2</sup>, com maior recuo no setor Norte (1.268,43 m<sup>2</sup>) devido à maior efetividade da abrasão marinha. O setor Sul, com falésias inativas, apresentou a menor taxa de recuo, uma vez que apresenta uma pequena planície costeira e cobertura vegetal densa. A identificação dos riscos geomorfológicos indicou que os setores Norte e Central possuem mais feições erosivas e registros de movimentos de massa, conseqüentemente maior exposição de moradores circunvizinhos e visitantes ao perigo. A delimitação das áreas de risco destacou locais de risco muito alto nas bases das falésias do setor Norte e nas áreas no topo e na base no setor Central. Espera-se que os resultados ajudem a difundir essa temática, ainda pouco explorada no Estado, bem como, contribua para estudos futuros e, se adotados, apoiem a tomada de decisões pelo Poder Público e setores produtivos das regiões costeiras.

**Palavras-chave:** morfodinâmica costeira; encostas costeiras; abrasão marinha; riscos geomorfológicos costeiros.

## ABSTRACT

The present study on the geomorphological stability of the cliffs of Carro Quebrado beach, located on the northern coast of Alagoas, in the municipalities of Barra de Santo Antônio and Passo de Camaragibe, approximately 50 km from Maceió, investigates these morphologies formed by marine erosion processes and superficial morphodynamic processes. These cliffs play a significant role in coastal protection and ecosystem services. The analysis was carried out on a stretch of approximately 4.2 km, consisting of steep and stepped cliffs, both active and inactive. Potential geomorphological risks were identified and quantified in relation to the processes of land use and occupation on the cliffs of the beach. In addition to geomorphological characterization, land use and occupation mapping, classification of the morphodynamic stability of the cliffs, and classification of potential geomorphological risk levels based on local morphodynamic characteristics and current and potential land use forms were conducted. The first stage of the study involved a literature review and theoretical foundation on topics related to cliffs structured in the Barreiras Formation, land use and occupation in these areas, and associated geomorphological risks. The methodological procedures for geomorphological characterization included data collection, field analysis, GIS processing, and the creation of a cartographic model with sectorization of the area. Land use and occupation were mapped based on 2024 images from Airbus, processed in QGIS to identify land use classes and understand their impact on the cliffs. For the classification of morphodynamic stability, two methodologies were applied: the analysis of the Instability Hazard Index (IHI), which involved identifying the factors causing instability, assigning weights and scores, calculating the IHI, and producing the instability map; and the quantitative analysis of cliff retreat between 2002 and 2024. The identification and classification of geomorphological risks were divided into two parts: the first involved analyzing rupture mechanisms and mass movements, and the second involved mapping and characterizing risk areas. With the results obtained, it was possible to characterize the area into three sectors: North, Central, and South, each with specific characteristics reflecting the natural dynamics and environmental conditions of the landscape. The land use and cover mapping enabled the identification of seven classes: dense vegetation, low vegetation, sugarcane, pasture, exposed soil, buildings, and water bodies. The central sector exhibited, in the 10-meter strip from the edge, the highest concentration of the classes most susceptible to erosion risk, with exposed soil covering 46.14% and sugarcane 26.38% of the total area. The IHI results for the North and Central sectors revealed that they had the highest levels of instability, with very high hazard classes, 15% (836,821 m) in the North sector and 16% (904,191 m) in the Central sector. Additionally, these sectors showed areas with high hazard, representing 15% (399,202 m) in the North and 7% (199,326 m) in the Central sector. The cliff retreat rate was 51,554.873 m<sup>2</sup>, with the greatest retreat occurring in the North sector (1,268.43 m<sup>2</sup>) due to marine abrasion. The South sector, with inactive cliffs, showed the lowest retreat rate. The identification of geomorphological risks indicated that the North and Central sectors had more erosive features and records of mass movements. The delineation of risk areas highlighted very high-risk locations at the base of the cliffs in the North sector and at the top and base of the cliffs in the Central sector. It is expected that the results will help highlight a topic that has been little explored in the state, contribute to future studies, and, if adopted, support decision-making by the government and productive sectors of coastal regions.

**Keywords:** coastal morphodynamics; coastal cliffs; marine abrasion; coastal geomorphological risks.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Resumo do processo de erosão costeira proporcionando movimentos de massa como quedas e tombamentos e conseqüentemente o recuo da linha de costa.....	16
Figura 2.	Perfis Típicos - a) Esquema geral do processo de erosão basal na falésia e movimentos de massa. Destaca-se a formação de um entalhe na base da falésia; b) Formação de fendas de tração sub-verticais, mediante a ação das chuvas.....	17
Figura 3.	Sets de fraturas verticais e superfícies horizontais de descontinuidades gerando linhas de ruptura e colapso de blocos.....	20
Figura 4.	Desenho esquemático com a delimitação de orla marítima, segundo metodologia proposta no Projeto Orla.....	22
Figura 5.	Zona de Uso Comunitário (ZUMO) Carro Quebrado.....	25
Figura 6.	Bloco-diagrama representando deslizamento planar.....	31
Figura 7.	Bloco-diagrama representando deslizamento rotacional.....	31
Figura 8.	Bloco-diagrama representando fluxo de detritos esquemático.....	32
Figura 9.	Bloco-diagrama representando área com queda de blocos.....	33
Figura 10.	Reportagens sobre acidentes ocorridos em falésias no Brasil.....	36
Figura 11.	Mapa de localização da área de estudo.....	40
Figura 12.	Diagrama metodológico da caracterização geomorfológica.....	43
Figura 13.	Delimitação para a análise do mapeamento de uso e cobertura da terra, com destaque para o Mirante de Carro Quebrado, área de recepção de turistas.....	45
Figura 14.	Vista do setor sul (A); vista do Setor central (B) e; vista do Setor norte (C)....	51
Figura 15.	Crítérios geomorfológicos e topográficos para definição das áreas de Perigo...	55
Figura 16.	Localização dos Setores.....	58
Figura 17.	Vista panorâmica de sul para norte de área representativa do Setor Norte (A); Vista oposta à anterior, aqui de norte para o sul (B).....	59
Figura 18.	Falésias íngremes (A) e falésias escalonadas (B) no Setor Central.....	59
Figura 19.	Dunas frontais com a presença de vegetação pioneira (A); Encosta do tabuleiro protegida por vegetação (B).....	60
Figura 20.	Mapa de uso e cobertura da praia de Carro Quebrado por setor.....	63
Figura 21.	Classes em destaques no setor central, (A) retração da borda com plantio de cana-de-açúcar, (B) destaque para a construção no mirante de Carro Quebrado.....	69
Figura 22.	Zoneamento dos diferentes fatores para a praia de Carro Quebrado.....	73
Figura 23.	Mapa das classes de perigo de instabilidade.....	74
Figura 24.	Recuo da borda das falésias da praia de Carro Quebrado entre os anos de 2002 até 2024.....	76
Figura 25.	Mapa diagnóstico dos mecanismos de ruptura no setor norte.....	81
Figura 26.	Estrutura de acesso (A) e ravinamento em acesso à praia de Carra Quebrado (B).....	82
Figura 27.	Mapa diagnóstico dos mecanismos de ruptura no setor central.....	83
Figura 28.	Mapa diagnóstico dos mecanismos de ruptura no setor sul.....	85
Figura 29.	Faixa de risco no setor norte.....	87
Figura 30.	Faixas de risco no setor central.....	88

## LISTA DE TABELA

Tabela 1.	Categorias litológicas na área de estudo e suas pontuações atribuídas.....	48
Tabela 2.	Classes de altura, declividade largura da praia e de cobertura vegetal das falésias e a pontuação atribuída a cada classe.....	48
Tabela 3.	Classes litológicas na área de estudo e suas pontuações atribuídas.....	72
Tabela 4.	Métricas por Setor.....	77

## LISTAS DE QUADROS

Quadro 1.	Classificação de movimentos de massa.....	30
Quadro 2.	Classificação dos fatores deflagradores dos movimentos de encostas (Varnes, 1978).....	34
Quadro 3.	Orientações gerais para classificação dos graus de risco a movimentos de massa, erosões, subsidência, solapamento ou colapso, movimentação de dunas, expansão e contração de argilas (Modificado de Ministério das Cidades & IPT, 2007).....	56

## LISTAS DE GRÁFICOS

Gráfico 1.	Climograma composto de Maceió, 1973 a 2023 (40 quilômetros de Carro Quebrado) e; São Luís do Quitunde, 2009 a 2023 (13 quilômetro de Carro Quebrado).....	41
Gráfico 2.	Incidência e amplitude dos ventos na estação Maceió entre 2003-2023, em área a 13 km de distância da área de estudo.....	42
Gráfico 3.	Uso e ocupação na faixa dos 100 metros.....	61
Gráfico 4.	Uso e ocupação na faixa dos 50 metros.....	62
Gráfico 5.	Uso e ocupação na faixa dos 33 metros.....	64
Gráfico 6.	Uso e ocupação na faixa dos 10 metros.....	66
Gráfico 7.	Uso e ocupação na faixa dos 10 metros por setor.....	67
Gráfico 8.	Percentual da costa por extensão para classes litológicas.....	71
Gráfico 9.	Percentual da costa por extensão para classes de altura.....	72
Gráfico 10.	Percentual da costa por extensão para classes de cobertura vegetal.....	74

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	VI
<b>ABSTRACT</b> .....	VII
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	VIII
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	IX
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	IX
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b> .....	IX
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	15
<b>2.1 Geomorfologia das falésias da Formação Barreiras</b> .....	15
<b>2.2 Uso e ocupação das terras em áreas de falésias</b> .....	21
<b>2.3 Riscos geomorfológicos</b> .....	27
2.3.1 Movimentos gravitacionais.....	28
2.3.1.1 Classificação e Modos de ruptura.....	29
2.3.1.2 Mecanismos de Ruptura.....	33
2.3.2 Riscos geomorfológicos em falésias.....	35
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	40
<b>3.1 A área de estudo</b> .....	40
<b>3.2 Procedimentos metodológicos</b> .....	43
3.2.1 Elaboração da caracterização geomorfológica.....	43
3.2.2 Mapeamento das formas de uso e ocupação das terras.....	44
3.2.3 Classificação da estabilidade morfodinâmica das falésias.....	46
3.2.3.1 Índice de Perigo de Instabilidade (IPI).....	47
3.2.3.2 Análise da taxa de recuo das falésias.....	50
3.2.4 Identificação e classificação dos riscos geomorfológicos.....	51
3.2.4.1 Diagnóstico dos mecanismos de ruptura das falésias.....	51
3.2.4.2 Mapeamento e caracterização dos riscos.....	53
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	58
<b>4.1 Caracterização geomorfológica</b> .....	58
<b>4.2 Mapeamento das formas de uso e ocupação das terras</b> .....	61
<b>4.3 Susceptibilidade aos movimentos de massa</b> .....	70
4.3.1 Índice de Perigo de Instabilidade.....	70
4.3.2 Taxa de recuo das falésias.....	75
<b>4.4 Identificação e classificação dos riscos geomorfológicos</b> .....	79
4.4.1 Mecanismos de ruptura nas falésias.....	79
4.4.2 Mapeamento de riscos geomorfológicos.....	86
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	90
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	92

## 1 INTRODUÇÃO

O presente estudo compreende uma avaliação da estabilidade geomorfológica das falésias da praia de Carro Quebrado, situada entre os municípios de Barra de Santo Antônio e Passo de Camaragibe, Litoral Norte de Alagoas. Distante, aproximadamente, 50 km de Maceió, a área consiste em um trecho de cerca de 4,1 km de extensão, composto por falésias íngremes e estruturadas em degraus escalonados. Apresenta diferentes estágios de desenvolvimento e estabilidade morfodinâmica, esculpidas sobre a Formação Barreiras, leques de arenitos e conglomerados, intercalados com lentes argilosas, com cores variadas, de idade plio-plestocênica.

A praia de Carro Quebrado compreende um conhecido polo turístico na Zona Costeira do Litoral Norte de Alagoas. Famosa por suas falésias, a região apresenta um forte apelo a atividades de visitação e lazer, frente a sua geodiversidade, traduzida em suas belezas cênicas. Os conjuntos de arrecifes em meio as águas claras e mornas completam o cenário que atrai cada vez mais visitantes ao longo dos anos.

O Instituto Brasileiros de Geografia e Estatística - IBGE (2009), em seu manual técnico de geomorfologia, define as falésias como uma “forma costeira abrupta esculpida por processos erosivos marinhos de alta energia. Ocorre no limite entre as formas continentais e a praia atual, em trechos de costas altas”. Corroborando com esta definição, Silva, B. *et al.* (2020, p. 448) complementam, definindo-as como a “borda dos tabuleiros, as quais foram formadas principalmente pela ação erosiva do mar” sobre os leques deposicionais da Formação Barreiras.

As falésias compreendem áreas fontes para a retroalimentação de areias no ambiente praiado, exercendo função ambiental na proteção da linha de costa, recarga de aquíferos subterrâneos, conservação da vegetação, além de apelo paisagístico, na atração de visitantes para atividades turísticas (Câmara; Silva, 2021). Com relação ao seu estágio evolutivo, morfodinâmica e modelagem atuais, as falésias podem ser classificadas como ativas ou inativas. As falésias são ativas quando as ondas estão solapando a base, abrasão marinha atual, e inativas, quando as marés mais altas já não atingem mais a base dos taludes, geralmente protegidas por uma faixa arenosa (Maia *et al.*, 2022).

De acordo com Câmara (2023), os ambientes de falésias são áreas que possuem dinâmicas de instabilidade constante e podem oferecer riscos para aqueles que desconhecem o comportamento de seus movimentos. A necessidade de entender os riscos geomorfológicos, processos morfodinâmicos que podem pôr em risco a população e áreas edificadas, frente as formas da ocupação de uso das terras devem ir além das preocupações econômicas. Um

exemplo dessa necessidade pode ser evidenciado quando há movimentos rápidos de massa, cada vez mais recorrentes em pontos turísticos, e que podem levar a vítimas fatais. Como o que ocorreu na falésia da Praia de Pipa, no município de Tibau do Sul, Rio Grande do Norte, em 2020, vitimando uma família com três pessoas (G1, 2020).

Pacheco, Freitas Neto e Severo (2006), baseados em Santos Jr. e Nóbrega (2000), chamam atenção para o fato de que, quando se estuda uma falésia, independente dos objetivos, é necessário a identificação e a classificação dos vários tipos de movimentos de massa presentes e potenciais, bem como os seus aspectos geológicos, a velocidade, a causa da perda de estabilidade morfoodinâmica e a classificação e descrição dos materiais.

Segundo a conceituação adotada pelo Serviço Geológico do Brasil – SGB (2018), os movimentos de massa são deslocamentos de solo, rocha e/ou vegetação ao longo de uma encosta, sob a ação direta da gravidade. A contribuição de outros agentes, como água ou gelo, se dá pela redução da resistência dos materiais na encosta e/ou pela indução do comportamento plástico e fluido dos solos (Tominaga, 2012a *apud* GIDES, 2018).

A erosão, sendo um fenômeno natural inerente à evolução das formações costeiras, como as falésias, tem sua intensidade ampliada pelas transformações provocadas pela urbanização e pelas ações antrópicas nessas feições. Esse agravamento resulta em impactos significativos, além de configurar situações de risco tanto para a população quanto para o equilíbrio do sistema costeiro (Oliveira; Vital; Moura, 2024). Desta forma, a presença das falésias ativas e a dinâmica dos processos presentes nos ambientes costeiros devem ser levados em conta no planejamento territorial e turístico municipal e estadual.

O turismo constitui atividade econômica importante no Estado, o qual tem conseguido atrair investimentos nacionais e internacionais, com a implantação de empreendimentos ligados ao setor hoteleiro. Por exemplo, só em Passo de Camaragibe, em um período de cinco anos, de 2018 a 2022, a capacidade hoteleira mais que dobrou, passando de cinco para onze estabelecimentos ligados ao turismo. Esse aumento se torna mais expressivo quando é analisado a quantidade de leitos, como em hotéis, hotéis fazenda e pousadas. No município, em 2018, haviam 276 leitos no total e no ano de 2022, esse número foi elevado para 704 leitos, ou seja, um aumento de 155% da capacidade de leitos (ALAGOAS, 2022).

O município de Barra de Santo Antônio também merece destaque, principalmente devido ao fato de que o acesso principal a Carro Quebrado se dá por esse município, assim como a maior oferta de serviços, como passeios turísticos, que saem desse município. Em Barra de Santo Antônio, ainda conforme Alagoas (*op. cit.*), o número de leitos em hotéis e pousadas passou de 169, em 2018, para 229 em 2022, correspondendo a um aumento de 35,50%. Mais

recentemente, houve a criação do hotel Vila Galé Alagoas, pertencente a um dos principais grupos hoteleiros mundiais, que sozinho acrescenta 492 quartos ao município. Além de sua megaestrutura, esse resort merece destaque por estar localizado na orla marítima de Carro Quebrado e por sua proximidade com as falésias da área.

Esse acréscimo da atividade turística vem aumentando a demanda por dados que subsidiem o planejamento territorial e a tomada de decisão, tanto pelo Poder Público quanto pela iniciativa privada na área, com vistas a sua conservação ambiental e desenvolvimento do potencial econômico local. Assim, a identificação e classificação de áreas com uma menor probabilidade de risco de movimento de massas, pode subsidiar a elaboração de políticas de planejamento e gerenciamento de atividades turísticas na área.

Para Christofolletti (1980), a Geomorfologia é o ramo das Geociências que se dedica ao estudo das formas de relevo. Essas formas representam a manifestação espacial de uma superfície, compondo as diferentes configurações da paisagem morfológica. Desta forma, seu estudo pode ser caracterizado como uma das bases para o planejamento territorial. A zona costeira é estudada pela Geomorfologia Costeira, campo de estudo que se dedica à formação das características das áreas limítrofes entre o mar e o continente, analisando os processos que influenciam as formas de relevo e as mudanças que ocorrem (Bird, 2008).

A baixa recorrência de estudos geomorfológicos na área investigada, observada no levantamento bibliográfico, tende a dificultar o conhecimento sobre a morfodinâmica dos taludes e sua inserção no planejamento das atividades de turismo e lazer, o que pode acarretar risco potenciais aos visitantes. Estudos como o aqui proposto tendem a gerar conhecimentos sobre esses ambientes, favorecendo a discussão do tema na região, subsidiando iniciativas de planejamento e gestão territorial na área, incluindo iniciativas de conservação ambiental e incentivo ao desenvolvimento de seu potencial econômico.

Realizar estudos que subsidiem o conhecimento das características naturais, processos dinâmicos, funcionamento da paisagem, pode subsidiar tanto novos estudos quanto possibilitar ao Poder Público e iniciativa privada informações que auxiliem no planejamento das atividades a serem implantadas na região. Constituindo um banco de dados de acesso livre que pode oferecer as informações necessárias para desenvolver ações que garantam a segurança e a proteção da vida dos turistas e residentes. Desta forma, este estudo, mesmo constituindo um estudo pioneiro na área, pode auxiliar o setor turístico no planejamento de suas ações no local.

A necessidade de compreender as características morfoestruturais, morfológicas, morfodinâmicas e suas relações com os riscos geomorfológicos frente ao uso e ocupação das terras na área das falésias da praia de Carro Quebrado, constitui o problema da pesquisa. E a

hipótese que norteou este estudo é a de que a negligência relacionada a inserção de conhecimentos sobre características morfoestruturais, morfológicas e morfodinâmicas, quando do processo de planejamento e gestão territorial referentes ao uso e ocupação das terras nas áreas das falésias da praia de Carro Quebrado, geram riscos geomorfológicos potenciais à população, aos trabalhadores e visitantes.

Desta forma a pesquisa teve como objetivo avaliar os potenciais riscos geomorfológicos frente aos processos de uso e ocupação das terras nas falésias da praia de Carro Quebrado. Tendo como objetivos específicos: 1) Realizar uma caracterização geomorfológica da área; 2) Elaborar o mapeamento das formas de uso e ocupação das terras; 3) Propor uma classificação do grau de estabilidade morfodinâmica das falésias; 4) Classificar os graus de riscos geomorfológicos potenciais frente as características morfodinâmicas locais e as formas de uso e ocupação atuais e potenciais.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Geomorfologia das falésias da Formação Barreiras

A Formação Barreiras é uma unidade geológica abrangente que se estende desde o Amapá até o Rio de Janeiro, servindo como base para grandes aglomerados urbanos e suas infraestruturas. A diversidade faciológica dentro da Formação Barreiras indica que sua deposição ocorreu em sistemas deposicionais continentais, transicionais e marinhos. Tendo o início da deposição ocorrido entre o Mioceno e o Plioceno, quando de níveis de mar alto. Após o recuo das águas oceânicas, no quaternário, essas litologias passaram a ser esculpidas, dando origem aos tabuleiros (Maia; Amorim, 2022; Morais; Santos Jr.; Freitas Neto, 2020; Silva, B. *et al.*, 2020).

Segundo Saadi *et al.* (2005), os tabuleiros costeiros são caracterizados como *hostes* capeados pelos Sedimentos Barreiras, em altitudes de até 200 metros. Quando na Zona Costeira, esses *hostes* acabam abruptamente na zona de praia, dando origem a falésias de até 50 metros de altura. Dessa forma, é possível dizer que as falésias da Formação Barreiras representam a borda dos tabuleiros, cuja sua modelagem se deve principalmente à erosão marinha nessas rochas sedimentares. Assim, as falésias são consideradas ativas enquanto a ação das ondas e correntes ainda são observadas em sua base e; quando o mar não alcança a base da escarpa, elas são classificadas como inativas.

De uma forma geral, para se entender as características morfodinâmicas das falésias, ativas e inativas, faz-se necessário entender o contexto paisagístico que essas feições estão inseridas. Como evidenciado, a existência dessas escarpas está atrelada a zona costeira e conseqüentemente a sua dinâmica. Bird (2008), define a zona costeira (*coastal zone*) como a zona onde terra, mar e ar (a litosfera, hidrosfera e atmosfera) se encontram e interagem. Conforme Lins-de-Barros e Batista (2020), a interseção dos ambientes terrestres e marinhos forma um ambiente complexo, caracterizado por múltiplos usos e interesses e uma grande diversidade de paisagens.

Para Villwock *et al.* (2005), a dinâmica costeira é a principal responsável pelos processos de erosão e/ou deposição, que constantemente transformam as áreas litorâneas. Segundo Muehe (2020), baseando-se nas variáveis de Swift (1976), o recuo ou avanço da linha de costa é proporcionado pelo volume de sedimentos que entra ou sai do sistema, pelo diâmetro granulométrico dos sedimentos, pela energia das ondas, pela declividade do fundo marinho e pela variação do nível do mar. Nos ambientes de falésia, o balanço de sedimentos é alterado

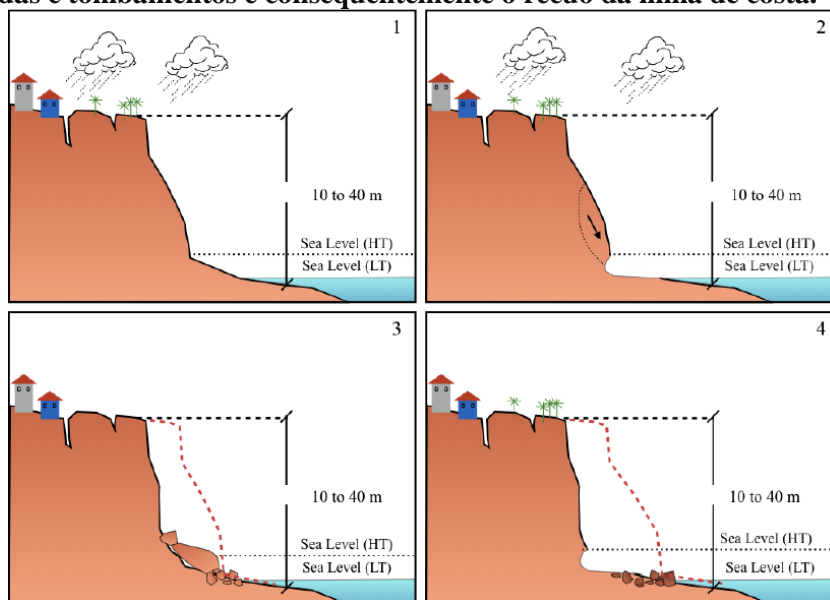


por variações no ângulo de ataque do *trend* de ondas, nas características hidrodinâmicas e na quantidade de sedimentos transportados pela corrente deriva (Projeto Falésias, 2021).

Amaro *et al.* (2021), define a linha de costa como sendo estreitas áreas terrestres situadas em interfaces onde as condições climatológicas, as forças meteoceanográficas locais (ventos, clima de ondas, marés e correntes) e os aerossóis marinhos influenciam significativamente as propriedades físico-químicas e biológicas dos substratos terrestres emersos. Desta forma, o perfil das falésias ativas é continuamente moldado pelas influências marinhas na base e pelos fatores climáticos no topo, resultando em processos sazonais de solapamento, que envolve a remoção de sedimentos da base, e de desmoronamento, que é o colapso dos sedimentos superiores (Silva, R. *et al.*, 2020).

Outros autores também corroboram com a linha de que as falésias estão submetidas a processos erosivos costeiros marinhos e continentais. Silva, B. *et al.* (2020), para explicar os processos erosivos costeiro, apresentou uma proposta de modelo para o recuo das falésias (Figura 1) no litoral sul do Rio Grande do Norte, também estruturadas na Formação Barreiras. Neste modelo, é considerado que as falésias estão submetidas a processos marinhos e continentais. No processo marinho, destaca-se a ação das águas na base das falésias e nos processos continentais a ação do escoamento superficial e da infiltração da água da chuva no talude. As características presentes nas falésias do RN são, em parte, compatíveis com as aqui analisadas.

**Figura 1 - Resumo do processo de erosão costeira proporcionando movimentos de massa como quedas e tombamentos e conseqüentemente o recuo da linha de costa.**

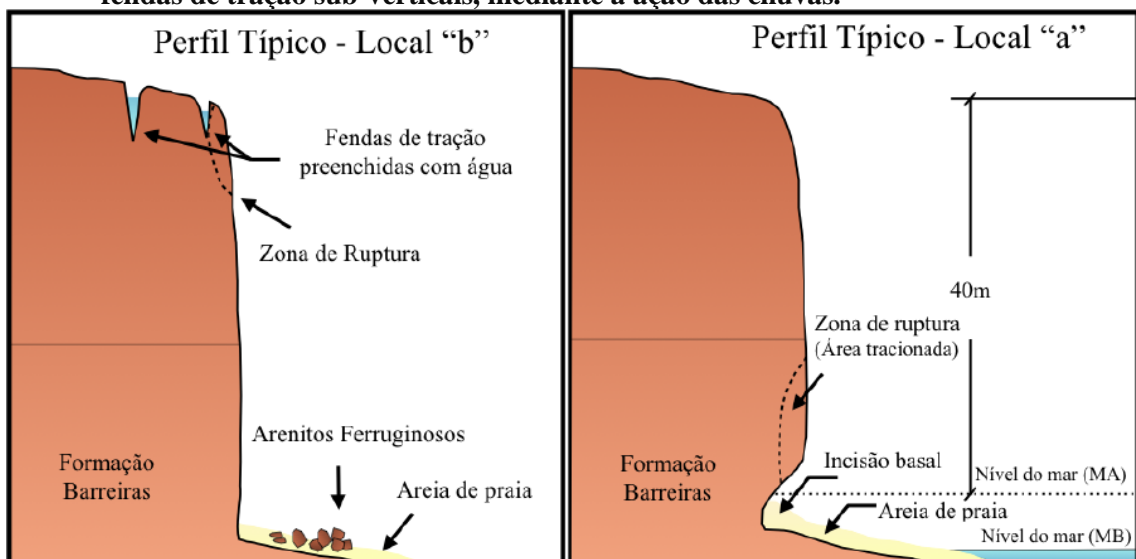


Fonte: Silva, B. *et al.* (2020).

Para Maia, Amorim e Meireles (2022), no contexto da morfodinâmica costeira, a erosão das falésias contribui com parte dos sedimentos que garantem a manutenção das praias arenosas e das dunas frontais. Desta forma, conforme Câmara e Silva (2021), as falésias compreendem áreas fontes para a retroalimentação de areias no ambiente praial, exercendo função ambiental na proteção da linha de costa, recarga de aquíferos subterrâneos e conservação da vegetação. No estudo global denominado GlobR2C2 (Premeillon *et al.*, 2018), que trata sobre a erosão de falésias ativas devido a influências marinhas e climáticas, é estimado que a taxa média de erosão para falésias estruturadas em litologias arenosas é de 23 cm por ano (Câmara; Silva, 2021).

Tendo em vista os processos erosivos costeiros, marinhos e continentais, se torna possível apontar fatores morfodinâmicos que influenciam na aceleração ou desaceleração da erosão dessas falésias (Figura 2). A ação abrasiva do mar, desempenha um papel crucial na erosão dessas estruturas sedimentares, sendo uma força fundamental na gênese e dinâmica das falésias (Marques Neto, 2022). Durante as marés altas é comum observar escavação da base das falésias pelas ondas em falésias ativas expostas, resultando na formação de reentrâncias erosionais e subsequente instabilidade, culminando em desmoronamentos na face da falésia. Essas reentrâncias são frequentemente formadas durante os períodos de máximas marés, quando a base da escarpa é fortemente impactada pela incidência direta das ondas (Lima; Maia, 2023; Projeto Falésias, 2021).

**Figura 2 - Perfis Típicos - a) Esquema geral do processo de erosão basal na falésia e movimentos de massa. Destaca-se a formação de um entalhe na base da falésia; b) Formação de fendas de tração sub-verticais, mediante a ação das chuvas.**



Fonte: Adaptado de Silva, B. *et al.* (2020).

Outros fatores que atuam na aceleração do recuo, é a formação de fendas de tração na parte superior das falésias e a ocorrência de fraturas nos arenitos que compartimentam o maciço, que facilita a queda de blocos e tombamentos. Nesses contextos, destaca-se a influência da água da chuva, que pode causar erosão na face do talude ou deslizamentos devido à infiltração. Além dessas, outra característica importante é a formação de sulcos, ravinas e voçorocas no topo das falésias, resultantes da erosão pluvial, principalmente, em áreas sem cobertura vegetal (Silva, B. *et al.*, 2020).

Ainda segundo Silva, B. *et al.* (*op. cit.*), Na desaceleração da erosão, é possível destacar a presença de camadas enrijecidas de arenitos com cimentação ferruginosa no corpo do maciço ou blocos desses arenitos na base da falésia e a presença de praia com sedimentos arenosos protegendo o sopé das escarpas, visto que nas áreas com maiores faixas de praia, o mar não alcança a base das falésias, o que resulta em uma menor erosão. Os taludes das áreas com proteção apresentam inclinações menores (40° a 60°) em comparação com aqueles expostos diretamente à ação do mar, refletindo em um maior equilíbrio frente aos processos continentais aos quais estão sujeitos.

A presença de blocos de arenitos cimentados por óxido de Fe, também denominados Ferricretes, ao longo da base das falésias, originados da Formação Barreiras e, uns dos prováveis resultados dessas, também atua como um fator de controle e proteção contra o impacto direto das ondas, dissipando parte da energia dessas, quando em grandes concentrações. Nos casos em que esses depósitos são facilmente removidos durante o período de preamar devido à ação do mar, o ângulo da escarpa se mantém íngreme. Esses blocos estão localizados em partes das falésias onde a natureza do material e o tempo de deposição favoreceram uma maior cimentação e diagênese. Nestes locais, os movimentos de massa ocorrem predominantemente por colapso de blocos (Maia; Amorim, 2022; Projeto Falésias, 2021; Silva, B. *et al.* 2020).

Os níveis lateríticos são originados pela acumulação de camadas de óxidos de ferro, principalmente devido ao baixo pH e às variações no lençol freático. Esse processo tem sua base nos elevados índices pluviométricos e percolação da água na Formação Barreiras, o que possibilita a mobilização vertical e horizontal de íons no perfil, resultando na remoção de álcalis devido à rápida lixiviação. Isso culmina no aumento dos teores de Fe e/ou Al e na redução dos teores de Si, muitas vezes concentrados em níveis intermediários dos perfis (Penteado, 1980; Projeto Falésias, 2021; Siqueira *et al.*, 2014).

Conforme Moraes, Santos Jr. e Freitas Neto (2020), os materiais da Formação Barreiras, fundamentado na classificação do Sistema Unificado de Classificação dos Solos, são

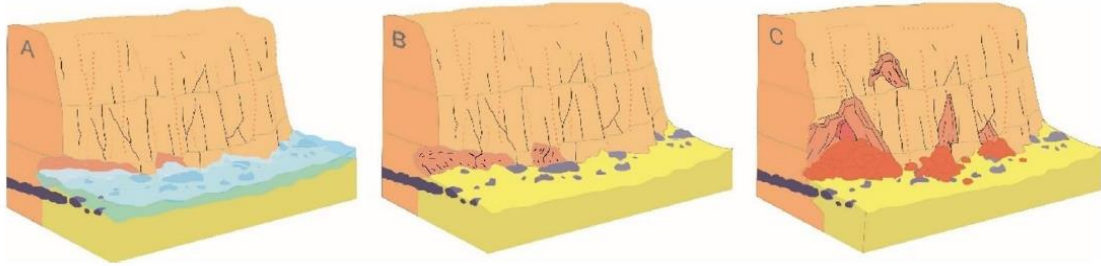
predominantemente classificados como areia argilosa, com uma faixa de plasticidade que varia de média a baixa. Além disso, são observados em menor quantidade areia siltosa, areia siltico-argilosa, silte de baixa compressibilidade e pedregulho argiloso. Nas amostras analisadas pelos autores, foram observados limites de liquidez inferior a 50% e plasticidade máximo de 20%, confirmando a classificação a cima.

Segundo Silva, B. *et al.* (2020), algumas áreas apresentam camadas mais rígidas devido à cimentação ferruginosa dos sedimentos, o que aumenta a resistência do material da Formação Barreiras. Em seus estudos, nas falésias no Rio Grande do Norte, os autores observaram que a resistência à compressão simples varia entre 100 kPa e 400 kPa nas camadas no topo e supera 400 kPa nas camadas próximas à base. Essa diversidade geológica e nas propriedades de resistência dos sedimentos é crucial para entender os processos erosivos e os movimentos de massa nessas paisagens.

A presença de maior coesão entre os grãos da massa rochosa também está relacionada à maior ocorrência de sets de fraturas, devido ao caráter rúptil do depósito, especialmente em camadas com maior grau de diagênese e laterização. Essa condição pode influenciar o processo erosivo na base da falésia, acelerando-o em camadas mais friáveis e retardando-o em camadas mais laterizadas. Os pacotes sedimentares menos laterizados também são menos resistentes à erosão e ao escoamento superficial. Assim, a drenagem pluvial pode contribuir para alimentar ravinas e, quando se conectam, formam voçorocas na borda da escarpa. Essas voçorocas, associadas a solos incoesos, canalizam águas pluviais, levando a remoção de materiais e formando rampas de colúvio na base da escarpa (Projeto Falésias, 2021).

Nos arenitos brancos rígidos, a cimentação pode dificultar a mobilidade dos íons de Fe e Al ao impedir a veiculação da água. Em contraste, nos planos de fratura, onde a água flui facilmente, forma-se uma crosta ferruginosa, destacando as estrias nos planos de falhas. Nos arenitos e arcósios cimentados, os planos de junta e falha são mais bem preservados, atuando como zonas de fraqueza. As falésias ativas mais suscetíveis à instabilidade e, portanto, menos resistentes ao impacto das ondas, são compostas por arenitos e lamitos, em especial, onde carecem de crostas lateríticas, arcósios e arenitos cimentados por sílica. Já as camadas laterizadas são mais resistentes à erosão, causadas pelo impacto das ondas, e resultam frequentemente no desenvolvendo tómbolos e terraços de abrasão ao longo da costa (Figura 3) (Lima; Maia, 2023).

**Figura 3 - Sets de fraturas verticais e superfícies horizontais de discontinuidades gerando linhas de ruptura e colapso de blocos.**



Fonte: Projeto Falésias (2021).

Assim, na parte inferior da escarpa, as rampas de colúvio e reentrâncias erosivas indicam a atividade erosiva, resultante de uma combinação de fatores, incluindo a erosão pluvial no topo do tabuleiro, que formam sulcos, ravinas e voçorocas, e a erosão na base da falésia devido à abrasão marinha, que gera as reentrâncias erosivas. Tendo os taludes nessas áreas, onde o mar não chega até a base falésias, inclinações menores do que aqueles onde há influência direta do mar em sua base (Projeto Falésia, 2021; Silva, B. *et al.* 2020).

Nos casos em que as falésias apresentam proteção em sua base, o recuo das falésias é mais acentuado na parte superior, pois mesmo durante as marés altas, as ondas alcançam apenas o material coluvionar, que podem variar em tamanho de decímetros a alguns metros de diâmetro, removendo os sedimentos mais finos e friáveis, enquanto os blocos de arenito resultantes de movimentos de massa anteriores permanecem. Os depósitos formados pelos deslizamentos criam patamares onde uma vegetação arbustiva pode se desenvolver. Assim, nos locais onde não há uma ampla distribuição desses blocos, correspondem aos pontos mais erosivos, já que a falta de proteção na base da escarpa, combinada com reentrâncias erosionais, leva ao colapso das camadas sobrepostas de forma iminente (Lima; Maia, 2023; Projeto Falésias, 2021).

Para Lima e Maia (2023), a conjunção de fatores, como fraquezas estruturais nas rochas, a friabilidade dos sedimentos e os agentes o impacto direto, ondas e o índice pluviométrico, resultam em duas situações: (a) em falésias ativas com camadas sedimentares mais friáveis, o impacto direto das ondas escava a base da escarpa, verticalizando a face da falésia, criando instabilidade e provocando desmoronamentos; (b) em falésias compostas por sedimentos mais rígidos, a água da chuva percole nas fraturas das encostas, alargando as zonas de fraqueza e causando movimentos de massa.

Durante o processo erosivo, causado pelo impacto das ondas e pela água da chuva, inputs de energia, há o desmoronamento de blocos, fluxo de matéria, esses sedimentos

provenientes das litofáceis mais frágeis se desintegram e podem ser integrados à dinâmica costeira, sendo transportados pelas correntes da deriva litorânea. Enquanto os blocos de laterita se desprendem, mas não se desintegram, permanecendo no local de queda devido à falta de energia da água para transportá-los, a depender do tamanho. Esses blocos acumulados atuam como proteção na base das falésias contra a ação das ondas, impedindo que elas atinjam diretamente as rochas da Formação Barreiras durante as marés altas (Lima; Maia, 2023; Silva, B. *et al.* 2020).

## **2.2 Uso e ocupação das terras em áreas de falésias**

O uso e ocupação das terras em áreas de falésias está correlacionado com a sua beleza cênica, sua proximidade com o mar, a abundância de recursos naturais e as vistas privilegiadas, que as constitui em pontos atrativo para a ocupação humana, o que as torna propensas à ocupação irregular, à especulação imobiliária e o desenvolvimento de atividades turísticas, muitas vezes em larga escala (Câmara; Silva, 2021; Silva, B. *et al.*, 2020).

A Zona Costeira Brasileira, ambiente paisagístico das falésias brasileira, constitui um patrimônio nacional, com proteção prevista na Constituição Federal de 1988, a ser conservado pela coletividade para as gerações atuais e futuras. De acordo com o Decreto n. 5.300 de 7 de dezembro de 2004, a Zona Costeira “corresponde ao espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, abrangendo uma faixa marítima e uma faixa terrestre” (BRASIL, 2004).

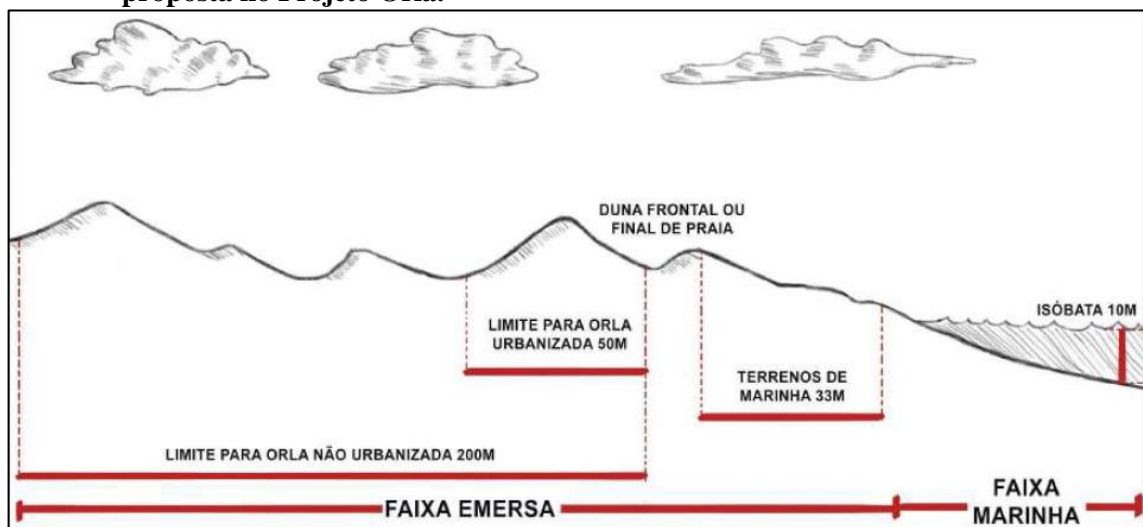
Nesse contexto, a Lei n. 7.661 de 1988 instituiu o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC). Entre seus principais objetivos estão a promoção do ordenamento do uso dos recursos naturais e da ocupação do litoral, visando à conservação e proteção dos recursos costeiros, além de subsidiar a aplicação dos instrumentos de gestão da Zona Costeira. O PNGC só foi regulamentado em 2004, com o Decreto Federal n. 5.300/2004, que dispõe sobre as regras de uso e ocupação da Zona Costeira (Barra *et al.*, 2022).

Segundo Lins-de-Barros e Batista (2020), em 2001, com o objetivo de descentralizar as ações de gestão costeira no Brasil e integrar as práticas patrimoniais e ambientais ao planejamento de uso e ocupação em nível municipal, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) criou o Projeto Orla, também regulamentado pelo Decreto nº 5.300/2004. Esse decreto introduziu o conceito de orla marítima, que possui delimitações espaciais próprias e é gerida por diferentes esferas de competência, além de estabelecer normas específicas para sua gestão. Nessa conceituação, a orla marítima é definida como “a faixa contida na zona costeira, de

largura variável, compreendendo uma porção marítima e outra terrestre, caracterizada pela interface entre a terra e o mar” (BRASIL, 2004).

Com relação a sua delimitação, o artigo 23, do Decreto nº 5.300/2004, define os limites da orla marítima de acordo com critérios específicos, onde, no âmbito marítimo, a delimitação é estabelecida pela isóbata de dez metros, profundidade onde a ação das ondas é influenciada pela variabilidade topográfica do fundo marinho, promovendo o transporte de sedimentos; no âmbito terrestre, a delimitação é de cinquenta metros em áreas urbanizadas e duzentos metros em áreas não urbanizadas, medidos a partir da linha de preamar ou do limite final de ecossistemas (Figura 4) como em praias, dunas e falésias, que se situem em terrenos de marinha e seus acrescidos (BRASIL, 2004).

**Figura 4 - Desenho esquemático com a delimitação de orla marítima, segundo metodologia proposta no Projeto Orla.**



Fonte: Barra *et al.* (2022), a partir de Brasil (2004).

Os terrenos de marinha e seus acrescidos são definidos como bens da União, conforme a Constituição Federal de 1988, instituído no art. 20, no inciso VII. O dispositivo legal que dispõe sobre os bens imóveis da União e dá outras providências é o Decreto-Lei nº 9760/46, de 5 de setembro de 1946. Neste é definido os limites dos terrenos de marinha, no qual é estabelecido uma faixa mínima de ocupação de 33 metros, medida a partir da posição da linha do preamar-médio preamar de 1831 (BRASIL, 1946; BRASIL, 1988).

Na faixa terrestre, o decreto nº 5.300/2004 observa ainda aspectos geomorfológicos adicionais para detalhar os critérios de delimitação. Em relação a esses aspectos, cabe destacar os que tangem em específico as falésias: para falésias sedimentares, a delimitação será de cinquenta metros a partir de sua borda em direção ao continente (inciso I). Para falésias ou

costões rochosos, o limite será definido pelo plano diretor do município, estabelecendo uma faixa de segurança de pelo menos um metro acima do limite máximo da ação de ondas de tempestade (inciso IV). E, em áreas sujeitas à erosão, como substratos sedimentares de falésias, cordões litorâneos, cabos ou pontais com larguras inferiores a cento e cinquenta metros, bem como áreas próximas a desembocaduras fluviais, que apresentam alta instabilidade, podem ser necessários estudos específicos para definir a extensão da faixa terrestre da orla marítima (inciso VI) (BRASIL, 2004).

O Código Florestal, Lei nº 12.651/2012, é outro aparato legal que atua na proteção e preservação do uso e ocupação das terras em áreas de falésias, no qual são inseridas na categoria de Área de Preservação Permanente (APP). Segundo Câmara e Silva (2021), as falésias foram inicialmente protegidas por leis infraconstitucionais, como a Lei nº 4.771/1965, conhecida como Código Florestal. Quase meio século depois, com a atualização do Código Florestal pela Lei nº 12.651/2012, essas formações morfológicas mantiveram o status de APP.

No Código Florestal, as APPs são definidas como área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, que tem a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. A Lei nº 12.651 de 2012 também delimita as APPs. No Art. 4º, a lei considera que APP, em zonas rurais ou urbanas, são: “VIII - as bordas dos tabuleiros ou chapadas, até a linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais” (BRASIL, 2012).

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n.º 303, de 20 de março de 2002, também classifica as falésias como APP, reforçando sua importância. Essa resolução define e regulamenta os limites das APPs. Em seu Art. 3º, a lei estabelece como APP: “VIII – nas escarpas e nas bordas dos tabuleiros e chapadas, a partir da linha de ruptura em faixa nunca inferior a cem metros em projeção horizontal no sentido do reverso da escarpa” (CONAMA, 2002).

As falésias estudadas estão dentro dos limites da Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais (APACC), unidade de conservação federal. A APACC foi criada pelo Decreto s/nº, de 23/10/1997. Deste modo, estando essa paisagem em uma unidade de conservação, mais especificamente em uma Área de Proteção Ambiental (APA). Assim, as falésias de Carro Quebrado também estão amparadas pela Lei nº 9.985/2000, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). O SNUC define as APAs como:



A Área de Proteção Ambiental é uma área em geral extensa, com um certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais (BRASIL, 2000).

Ainda conforme o SNUC, no Art. 15, incisos I e II, a Área de Proteção Ambiental (APA) pode ser constituída por terras públicas ou privadas, conforme os limites constitucionais, permitindo os estabelecimentos de normas e restrições para o uso das propriedades situadas dentro de uma APA (BRASIL, 2000). Na área de estudo essa configuração está presente, com terras públicas, terrenos de marinha e propriedades privadas ligadas ao cultivo de cana-de-açúcar.

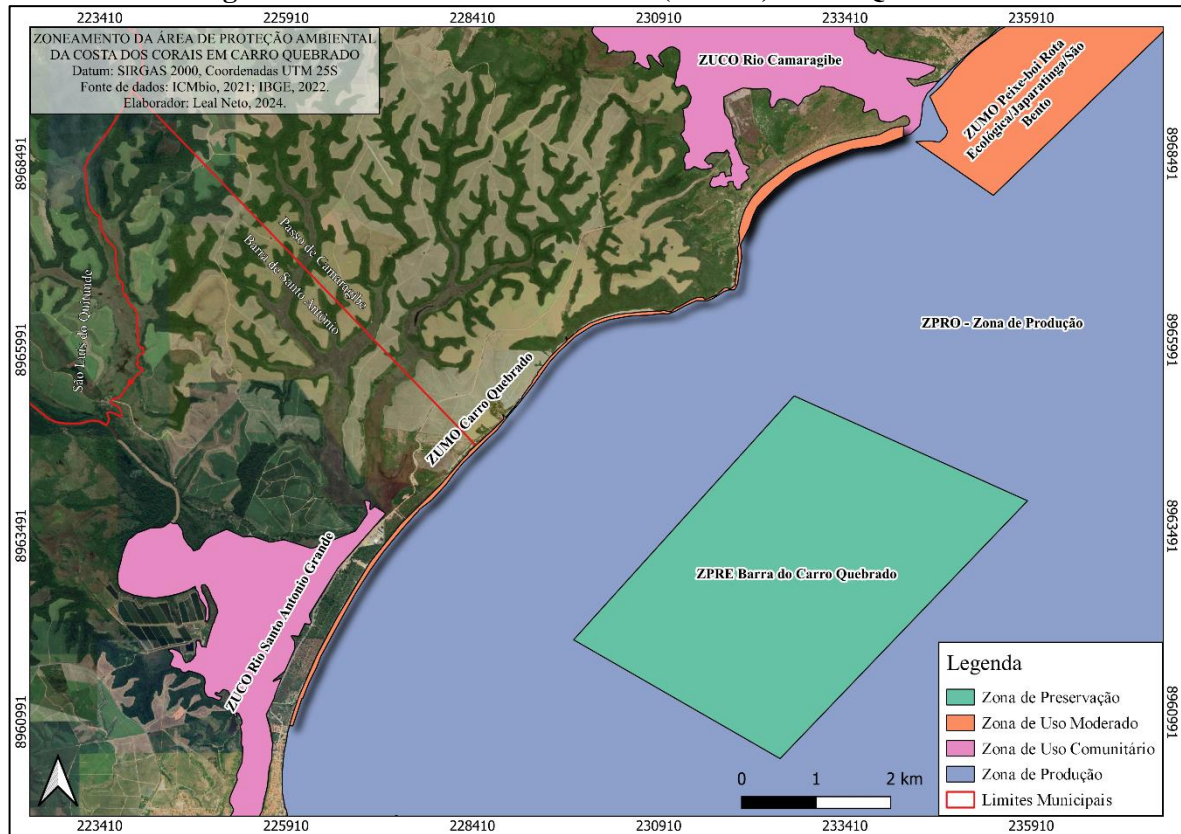
A Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais (APACC) foi criada pelo decreto de 23 de outubro de 1997. Criada com os objetivos de garantir a conservação dos recifes coralígenos e de arenito; manter a integridade do habitat e preservar a população do peixe-boi marinho (*Trichechus manatus*); proteger os manguezais ao longo das desembocaduras dos rios; ordenar o turismo ecológico, científico e cultural, além de outras atividades econômicas compatíveis com a conservação ambiental; e incentivar as manifestações culturais, contribuindo para o resgate da diversidade cultural regional (BRASIL, 1997).

No SNUC, o Plano de Manejo é definido como um documento técnico que, com base nos objetivos gerais de uma unidade de conservação, estabelece o seu zoneamento e as normas que devem reger o uso da área e o manejo dos recursos naturais, incluindo a implantação das estruturas físicas necessárias à gestão da unidade (BRASIL, 2000). O atual Plano de Manejo da APACC, de 2021, é uma revisão do primeiro Plano, que foi publicado em 2013. Segundo o ICMBio (2021), o objetivo da revisão foi atender às demandas da sociedade não contempladas na primeira e elaborar o zoneamento da Unidade de maneira integral, abrangendo todo o território da UC, de modo a conciliar o uso sustentável dos recursos naturais com a conservação da biodiversidade.

O SNUC define zoneamento como a definição de setores ou zonas em uma unidade de conservação com objetivos de manejo e normas específicos, com o propósito de proporcionar os meios e condições para que todos os objetivos da unidade sejam alcançados de forma harmônica e eficaz (BRASIL, 2000). A APACC está zoneada em: Zona de Preservação (ZPRE); Zona de Uso Moderado; Zona de Produção; Zona de Uso Comunitário (ZUMO); Zona de Infraestrutura e; Zona de Sobreposição Territorial. Conforme o Plano de Manejo da APACC,

a praia de Carro Quebrado está inserida na ZUMO Carro Quebrado (Figura 5), que possui uma área 80,94 ha (ICMBIO, 2021).

**Figura 5 - Zona de Uso Comunitário (ZUMO) Carro Quebrado.**



Fonte: ICMBio, 2021, elaborado pelo autor (2024).

As ZUMOs são zonas constituídas por áreas naturais ou moderadamente antropizadas, onde o ambiente é mantido o mais próximo possível do natural, e podem permitir o uso direto e indireto dos recursos naturais, desde que não provoquem a descaracterização da paisagem, dos processos ecológicos em curso ou comprometam as espécies nativas e suas populações. As ZUMOs devem assegurar a integração da dinâmica social e econômica da população beneficiária à unidade de conservação de uso sustentável e proporcionar oportunidades para a visitação com um grau moderado de intervenção (ICMBIO, 2021).

Para Câmara e Silva (2021), as feições costeiras formam um sistema grande e complexo de dependência mútua para manutenção dos serviços ecossistêmicos prestados e que, desta forma, as atividades antrópicas não devem ser compreendidas de forma individual. Para esses autores, além do seu atrativo valor estético paisagístico, as falésias desempenham um papel importante na exportação de sedimentos que alimentam as praias, na proteção e manutenção da

linha de costa, na preservação de aquíferos subterrâneos, na fixação da vegetação, como nas restingas.

O desenvolvimento do turismo na região costeira, especialmente no Nordeste do Brasil, tem gerado uma valorização imobiliária crescente e um aumento na densidade populacional ao longo do tempo. Assim, tem-se notado um aumento significativo de empreendimentos turísticos e imobiliários nas regiões costeiras, principalmente localizados no topo das falésias, com algumas vezes sendo construídos sem os devidos cuidados técnicos (Morais; Santos Jr.; Freitas Neto, 2020).

Para Silva, B. *et al.* (2020), a ação antrópica pode alterar a dinâmica natural, principalmente através de intervenções que modificam a drenagem natural das águas de chuva e concentram o fluxo em determinados pontos. Esses aspectos promovem a concentração de energia das águas, facilitando a ocorrência de processos erosivos. Bezerra *et al.* (2022), também destaca que a ação humana tem um impacto significativo no aumento da erodibilidade das falésias e nas mudanças de sua função ambiental, já que as atividades humanas tendem a levar à supressão da cobertura vegetal, a compactação e impermeabilização desses ambientes.

Deste modo, construções de edificações e vias sobre as falésias contribuem para a impermeabilização e compactação do solo devido ao pisoteamento, interferindo na velocidade de escoamento superficial e aumentando a erosão linear. A impermeabilização do solo aumenta a velocidade de escoamento das águas para áreas topograficamente mais baixas, diminuindo a capacidade de infiltração da água das chuvas para o subsolo (Câmara; Silva, 2021; Nascimento, 2006; Reis; Alves, 2017).

Para Lima e Maia (2023), a ocupação por empreendimentos de hotelaria e o fluxo turístico em áreas de praias limitadas por falésias também são motivos de preocupação devido aos riscos geológicos-geomorfológicos associados à instabilidade dessas formações rochosas, podendo resultar em movimentos de massa e potencialmente causar danos aos visitantes e à população local.

Segundo Silva, B. *et al.* (2020), esses processos de urbanização contribuem para o aumento da ocorrência dos movimentos de massa nas falésias, devido ao acréscimo da carga no topo das falésias, a remoção da vegetação e ao aumento da erosão superficial. As construções no topo de falésias, frequentemente próximas a crista, são comuns e induzem um aumento das tensões cisalhantes no maciço, podendo provocar a ruptura dos taludes. A combinação de atividades antrópicas e naturais deixam as falésias mais vulneráveis e suscetíveis a instabilidades, resultando, ocasionalmente, em acidentes, inclusive com vítimas fatais, como o ocorrido na Praia de Pipa, no Rio Grande do Norte (Câmara; Silva, 2021; Silva, B. *et al.*, 2020).

Tendo em vista todos esses aspectos relacionados ao uso e ocupação em falésias, Silva, R. *et al.*, (2020), conclui que o principal desafio relacionado ao uso e ocupação dessas feições está nas condições ecodinâmicas altamente instáveis e na sua grande vulnerabilidade. Assim apresentando-se a necessidade desses ambientes serem preservados com o devido rigor legal, por causa da sua importância no processo de evolução da faixa costeira e à sua vulnerabilidade à ocupação humana.

### **2.3 Riscos geomorfológicos**

Para se entender o contexto de riscos geomorfológicos em falésias primeiramente se faz necessário o entendimento de dois conceitos base, o de perigo e o de risco. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU) (2020), perigo (hazard) é um processo, fenômeno ou atividade humana que pode causar perda de vidas, lesões ou outros impactos a saúde, danos à propriedade, perturbação social e econômica ou degradação ambiental. Reckziegel e Robaina (2005), distinguem os eventos naturais do hazards, onde o primeiro refere-se a eventos que não causam perdas sociais ou econômicas, enquanto os "Hazards" estão sempre associados a alguma forma de perda ou danos.

O United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR/ONU) (2017), define risco de desastres (disaster risk) como sendo a potencial perda de vidas, lesões ou destruição e danos a bens que podem ocorrer a um sistema, sociedade ou comunidade em um período específico, determinada probabilisticamente como uma função do perigo, exposição, vulnerabilidade e capacidade. A definição do UNDRR vai de acordo com Marandola Jr. e Hogan (2004), citando Smith (1992), no qual aponta que o risco é um fator probabilístico, independentemente de ser quantificável ou não, enquanto o hazard é considerado um evento danoso que coloca em perigo.

Os conceitos utilizados nesse presente estudos são aqueles que também foram adotados pelo Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Desastres Naturais (Projeto GIDES), desenvolvido pelo Governo Brasileiro em parceria com o Governo Japonês e; pelo relatório técnico do Projeto Falésias, desenvolvido pela Secretaria Nacional de Segurança Hídrica (SNSH/MDR) e a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

O conceito de perigo é entendido como “condição ou fenômeno com potencial para causar uma consequência desagradável dentro de um certo período de tempo.” (GIDES, 2018); e risco sendo a relação entre a probabilidade de um determinado processo ou fenômeno ocorrer e a magnitude dos danos ou consequências sociais e/ou econômicas para um dado elemento,

grupo ou comunidade. “[...]quanto maior a vulnerabilidade, maior o risco. Assim, considera-se o risco como uma função do perigo, da vulnerabilidade e dano potencial” (Tominaga, 2012a, p. 151 *apud* GIDES, 2018).

Para Santos (2019), os riscos geomorfológicos incluem movimentos gravitacionais de massa, como deslizamentos e desmoronamentos, bem como processos erosivos resultantes do escoamento superficial das águas. Nos processos erosivos, a autora destaca a ação desta no Barreiras, no qual a litologia argilosa favorece a formação de cicatrizes erosivas e, que apresentam diferentes estágios evolutivos, inicialmente, caracterizados pelos sulcos, que evoluem para ravinas e, finalmente, voçorocas.

### **2.3.1 Movimentos gravitacionais**

Segundo o Projeto GIDES (2018), os movimentos de massa são processos recorrentes no Brasil e resultam em danos materiais e perdas de vidas. Apesar da importância da prevenção desses eventos para o desenvolvimento urbano organizado, as iniciativas nacionais nesse sentido ainda são insuficientes. O GIDES adotou a conceituação apresentada por Tominaga (2012b) para definir movimentos de massa, nos qual os movimentos de massa são definidos como:

“Movimento de solo, rocha e/ou vegetação ao longo da vertente, sob a ação direta da gravidade. A contribuição de outro meio, como água ou gelo, se dá pela redução da resistência dos materiais de vertente e/ou pela indução do comportamento plástico e fluido dos solos” (Tominaga, 2012b, p. 27 *apud* GIDES, 2018).

Os movimentos de massa geram rupturas complexas que podem envolver mais de um tipo, como deslizamentos e quedas, por exemplo (GIDES, 2018; Highland; Bobrowsky, 2008). Os mecanismos de ruptura podem ser descritos como as causas diretas dos movimentos de massa, ao passo que o modo de ruptura se refere à categoria que define o tipo específico de movimento ocorrido na ruptura das falésias (Collins; Sitar, 2008; Silva, B. *et al.*, 2020).

#### **2.3.1.1 Classificação e Modos de ruptura**

Os movimentos de massa estão associados a problemas de instabilidade de encostas, e cada tipo de movimento de massa apresenta uma série de características distintivas, como a profundidade, velocidade, material instabilizado, potencial de danos, entre outros aspectos

(Gerscovich, 2012; Silva, 2019). Assim, na literatura existem várias propostas de sistemas de classificação dos movimentos de massa.

Silva (2019), defende que a classificação dos movimentos de massa é crucial para padronizar a descrição do fenômeno e facilitar a comunicação clara entre os profissionais na área. Sendo o entendimento das características desse fenômeno fundamental para o desenvolvimento de modelos. Ainda conforme o mesmo autor, a classificação de Varnes (1978) é a mais adotada internacionalmente, onde é atribuído a cada tipo de movimento de massa um tipo de material envolvido. Nessa classificação, são considerados os seguintes movimentos: quedas, tombamentos, escorregamentos, espalhamentos, corridas e movimentos complexos. Os materiais relacionados são categorizados como rocha ou solo.

No Brasil, umas das classificações mais utilizadas é a de Augusto Filho (1992). O Governo Brasileiro, por exemplo, adotou essa classificação dos processos, por meio do projeto GIDES. Essa classificação se constitui em uma adequação da proposta de classificação dos movimentos de massa de Varnes (1978), para os ambientes tropicais típicos do Território Brasileiro. Nessa classificação (Quadro 1), os movimentos de massa estão associados as características como materiais envolvidos, velocidade e geometria dos movimentos de massa que ocorrem mais frequentemente nas encostas no território brasileiro (GIDES, 2018; Silva, 2019).

Os deslizamentos são movimentos rápidos de massa, com volumes definidos, que ocorrem em áreas inclinadas, envolvendo o deslocamento descendente de solo, rochas e matéria orgânica sob a ação da gravidade. São os movimentos de massa mais comuns no Brasil, especialmente em regiões de relevo acidentado, e são facilmente identificados pela população, muitas vezes chamados de desbarrancamentos ou quedas de barreira. Sua origem e dinâmica são influenciadas por fatores geológicos, geotécnicos, climáticos e humanos, tornando seu estudo complexo. Em geral, um deslizamento ocorre quando a força gravitacional supera o atrito interno do terreno. Com relação a geometria e as características dos materiais instabilizados, os deslizamentos podem ser subdivididos em três tipos: planar, rotacional e em cunha. (GIDES, 2018; Tominaga, 2012b).

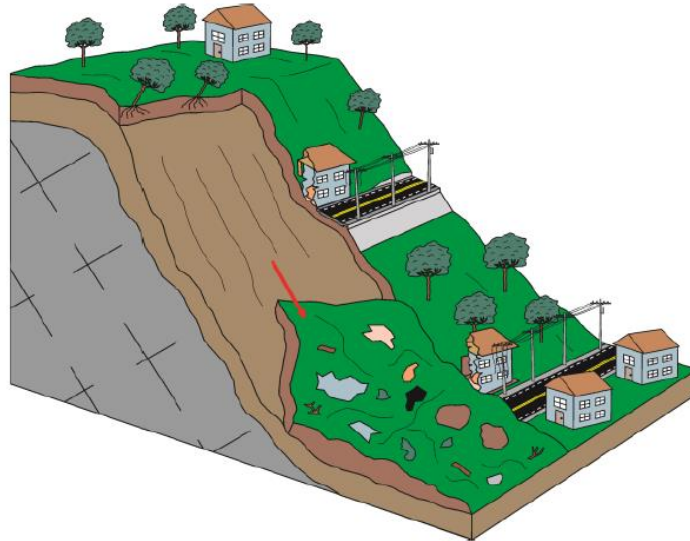
Quadro 1 - Classificação de movimentos de massa

<b>Processo</b>	<b>Geometria, Material e Dinâmica</b>
<b>Queda</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sem planos de deslocamento</li> <li>• Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado</li> <li>• Velocidades muito altas (vários m/s)</li> <li>• Material rochoso</li> <li>• Pequenos e médios volumes</li> <li>• Geometria variável: lascas, placas, blocos etc.</li> <li>• Rolamento de matacão</li> <li>• Tombamento</li> </ul>
<b>Deslizamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poucos planos de deslocamento (externos)</li> <li>• Velocidades médias (m/h) a altas (m/s)</li> <li>• Pequenos a grandes volumes de materiais</li> <li>• Geometria e materiais variáveis</li> <li>• Planares: solos pouco espessos; solos e rochas com plano de fraqueza</li> <li>• Rotacionais: solos espessos, homogêneos e rochas muito fraturadas</li> </ul>
<b>Fluxo de Detritos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muitas superfícies de deslizamento</li> <li>• Movimento semelhante ao de um líquido viscoso</li> <li>• Desenvolvimento ao longo das drenagens</li> <li>• Velocidades médias a altas</li> <li>• Mobilização de solo, rocha, detritos e água</li> <li>• Grandes volumes de material</li> <li>• Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas</li> </ul>

Fonte: Silva, (2019), a partir de Augusto Filho (1992).

O deslizamento planar (Figura 6) é o mais comum no Brasil e geralmente surge durante ou logo após períodos intensos de chuva. Caracterizado por uma curta duração e rápido deslocamento de materiais ao longo de planos de fraqueza associados às heterogeneidades geológicas, geotécnicas ou hidrológicas do terreno. Os materiais transportados podem ser compostos por rocha, solo ou uma combinação de ambos. Esses movimentos ocorrem principalmente em solos pouco desenvolvidos em encostas íngremes e podem atingir centenas ou até milhares de metros, podendo causar danos consideráveis dependendo do volume e tipo de material deslocado (BRASIL, 2014; GIDES, 2018; Gerscovich, 2012; Tominaga, 2012b).

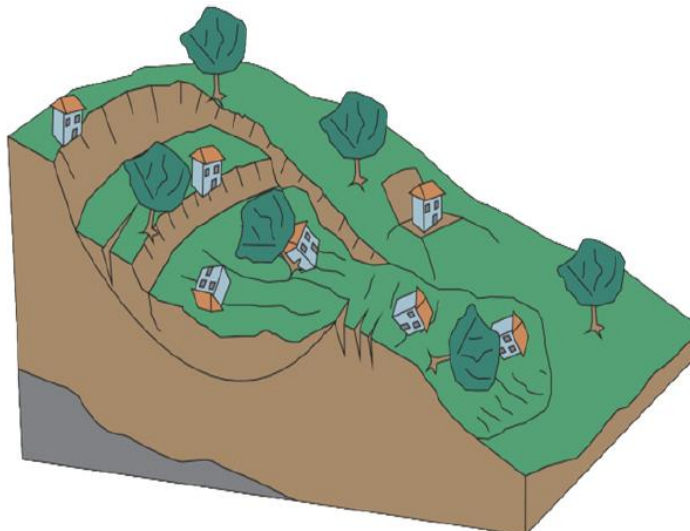
**Figura 6 - Bloco-diagrama representando deslizamento planar.**



Fonte: GIDES, 2018.

Os deslizamentos rotacionais (Figura 7) compreendem uma superfície de ruptura curva, onde o material se movimenta de forma côncava para cima. Esses eventos são comuns em ambientes com solos profundos, que permitem maior infiltração e percolação excessiva da água (Augusto Filho, 1992; Listo *et al.*, 2022). Esse fenômeno é comum em regiões montanhosas de clima tropical, manifestando-se em encostas com camadas espessas de solo homogêneo, rochas sedimentares ou maciços rochosos intensamente fraturados. Quando ocorre de forma repentina, pode resultar em uma catástrofe, especialmente quando afeta áreas densamente povoadas, podendo causar danos significativos a várias estruturas (GIDES, 2018; Gerscovich, 2012; Tominaga, 2012b).

**Figura 7 - Bloco-diagrama representando deslizamento rotacional.**



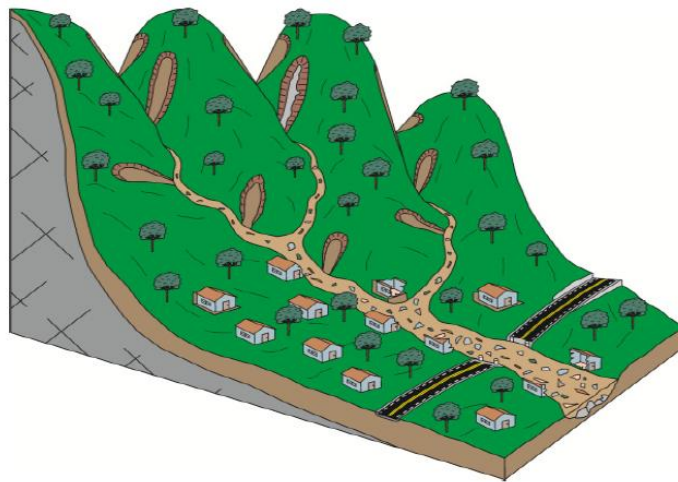
Fonte: GIDES, 2018. Adaptado de Tominaga, 2012b.



Já o deslizamento em cunha é influenciado por estruturas planares de maciços rochosos, com o movimento ocorrendo ao longo da linha de interseção das superfícies de ruptura (GIDES, 2018; Infanti Junior; Fornasari Filho, 1998). A ocorrência desse tipo de deslizamento é pouco comum e está limitada a áreas onde o relevo é fortemente controlado por estruturas geológicas. Desta forma, esse tipo de deslizamento não é comum no Brasil (GIDES, 2018; Tominaga, 2012b).

O fluxo de detritos (Figura 8), ou corridas de detritos, são fenômenos extremamente velozes em que os materiais mobilizados se comportam como fluidos altamente viscosos, apresentando-se como processos de caráter essencialmente hidrológicos. Esses fenômenos geralmente se desenvolvem nos canais fluviais de ordens inferiores e podem alcançar o canal principal. Assim, os fluxos de detritos podem ser desencadeados por inundações bruscas e repentinas, que remobilizam o material depositado no canal e nas margens. Outro mecanismo que pode ocasionar esse movimento é a transformação rápida de escorregamentos em uma massa saturada condicionada pelas precipitações acumuladas que atingem rapidamente a drenagem (Listo *et al.*, 2022).

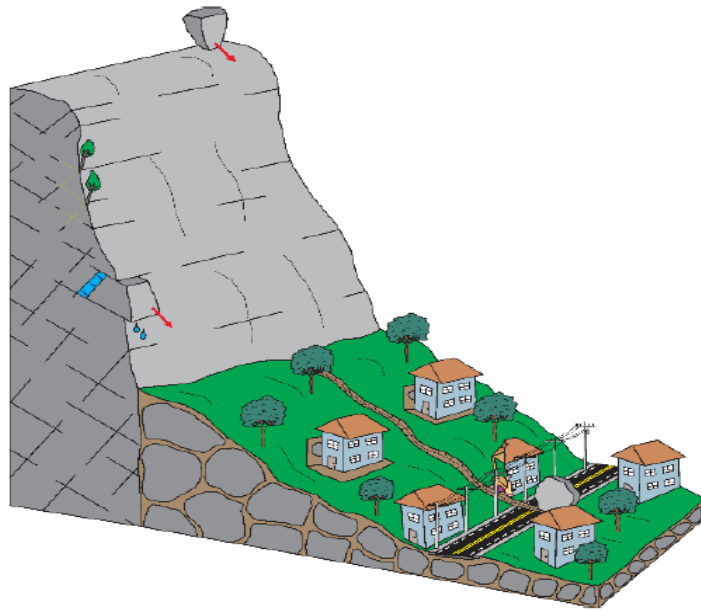
**Figura 8 – Bloco-diagrama representando fluxo de detritos esquemático.**



Fonte: Fonte: GIDES, 2018.

A queda de blocos (Figura 9) refere-se ao movimento de massa em que um ou mais blocos desprendidos do maciço rochoso caem ao longo de um declive, seja por queda livre, saltação ou rolamento. Esse fenômeno ocorre em encostas muito íngremes e precipícios, onde o material se desprende em forma de blocos por meio de queda livre abrupta. Além disso, blocos rochosos previamente transportados podem ser remobilizados, resultando em movimentações secundárias, podendo ser observados em depósitos de *talus* (Brunsden; Prior, 1984; Maia; Amorim, 2022; Yilmaz; Yildirim; Keskin, 2008).

**Figura 9 - Bloco-diagrama representando área com queda de blocos.**



Fonte: Fonte: GIDES, 2018.

A queda de blocos é reconhecida como um dos movimentos de massa mais rápidos, com velocidades que podem variar de alguns metros por segundo até cerca de 30 m/s. Sua alta mobilidade é a característica principal que a diferencia de outros tipos de movimentos de massa (Frattini *et al.* 2008; GIDES, 2018; Peila; Ronco, 2009; Varnes, 1984). As causas desse movimento são diversas e não estão necessariamente ligadas aos períodos de chuva, tornando difícil sua previsão. O comportamento do bloco ao cair depende principalmente de sua geometria e da configuração da encosta. Em regiões montanhosas do mundo, a queda de blocos é comum e, quando ocorre em áreas habitadas, pode resultar em danos significativos e perdas humanas (GIDES, 2018; Ribeiro, 2013).

### **2.3.1.2 Mecanismos de Ruptura**

Para Reckziegel e Robaina (2005), os fatores desencadeadores de risco geomorfológico são originados pela combinação de várias condições, como as características geológicas/geotécnicas, a remoção da cobertura vegetal, as características da vertente e a ocupação desordenada, entre outros. Deste modo, compreender os fatores deflagradores dos movimentos de massa é crucial para poder antecipá-los, preveni-los ou pelo menos minimizar as suas consequências.

Silva (2019) apresenta duas classificações de mecanismos de ruptura mais utilizadas, nacional e internacional. Na classificação, internacional, das causas de instabilização de encostas de Varnes (1978), Quadro 2, os fatores desencadeantes são divididos em dois grupos:

os que aumentam a sollicitação e os que diminuem a resistência. No contexto brasileiro, o autor apresenta os fatores trabalhados por Augusto Filho e Virgili (1998), que identificaram os principais fatores que influenciam os movimentos de massa e fenômenos similares no Brasil. Esses fatores são: características climáticas, especialmente o regime pluviométrico; a composição e distribuição dos materiais no substrato das encostas/taludes; aspectos geomorfológicos; o regime das águas superficiais; e as características do uso e ocupação do solo.

Quadro 2 - Classificação dos fatores deflagradores dos movimentos de encostas (Varnes, 1978)

<b>Ação</b>	<b>Fatores</b>	<b>Fenômenos Geológicos / Antrópicos</b>
<b>Aumento da Sollicitação</b>	Remoção de massa (lateral ou da base)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erosão;</li> <li>• Escorregamentos;</li> <li>• Cortes.</li> </ul>
	Sobrecarga	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso da água de chuva;</li> <li>• Acúmulo natural de material (depósitos);</li> <li>• Peso da Vegetação;</li> <li>• Construções de estruturas, aterros, etc...</li> </ul>
	Sollicitações dinâmicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terremotos, ondas, vulcões, etc...;</li> <li>• Explosões, tráfego, sismos induzidos.</li> </ul>
	Pressões laterais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Água em trincas;</li> <li>• Congelamento;</li> <li>• Material expansivo.</li> </ul>
<b>Redução da Resistência ao Cisalhamento</b>	Características Inerentes ao material (geometria, estruturas, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Características geomecânicas do material, tensões iniciais</li> </ul>
	Mudanças ou fatores variáveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ação do intemperismo provocando alterações físico-químicas;</li> <li>• Redução da coesão, ângulo de atrito;</li> <li>• Elevação do nível d'água, variação das poropressões;</li> <li>• Aumento da umidade / Redução da sucção;</li> <li>• Variações climáticas provocando umedecimento e secagem.</li> </ul>

Fonte: Silva (2019).

Dos fatores ligados aos mecanismos de ruptura, Silva (2019) considera que a principal causa dos movimentos de massa no Brasil está ligada à saturação das encostas, com as precipitações impactando diretamente na instabilidade das encostas, principalmente ao reduzir a sucção, causar erosão pluvial, infiltrar água em trincas e aumentar a poropressão positiva nos maciços de solo. Além disso, também destaca a ação antrópica como um outro fator que acelera e intensifica os processos de instabilização das encostas.

Deste modo, a infiltração da água destaca-se como uma das causas naturais predominantes, o que explica a incidência preponderante de deslizamentos durante as chuvas. Já as influências antrópicas mais comuns incluem a execução de taludes de corte com geometria inadequada, a construção inadequada de aterros, o descarte de entulho e lixo nas encostas, a remoção da cobertura vegetal, o lançamento de águas pluviais e/ou servidas e vazamentos nas redes de esgoto e abastecimento (Gerscovich, 2012; GIDES, 2018; Tominaga, 2012b).

### **2.3.2 Riscos geomorfológicos em falésias**

As praias com falésias são muitas vezes associadas à sua popularidade como destino turístico, levando a uma grande quantidade de visitantes, que têm nesses lugares suas principais áreas de lazer e conseqüentemente promovendo um maior fluxo turísticos. Desta forma, essas áreas são alvo de interesse significativo do setor turístico-imobiliário. Devido a essa demanda, surge uma preocupação em relação aos riscos geológicos e geomorfológicos associados a instabilidade das falésias, que gera movimentos de massa que, em certas situações, podem causar danos aos visitantes e à comunidade local (Lima; Maia, 2023; Morais; Santos Jr.; Freitas Neto, 2020).

Em uma busca rápida pela internet é possível identificar diversos casos de tragédias ocorridas em falésias brasileiras (Figura 10). Um dos exemplos de risco geomorfológico em falésias está no ocorrido em 17 de novembro de 2020, onde a queda de blocos areníticos de uma falésia resultou na fatalidade de três membros de uma família na Praia da Pipa, localizada no município de Tibau do Sul, no litoral leste do Rio Grande do Norte. Esse evento trágico teve grande repercussão na mídia nacional e destacou o risco associado aos movimentos de massa em falésias ativas (Maia; Amorim, 2022).

Para Marques Neto (2022), a atividade turística no litoral do Nordeste Brasileiro determina um considerável fluxo de visitantes, o que aumenta conseqüentemente a exposição ao risco. Entendendo o estudo da estabilidade de falésias um tema de aplicação direta a ser explorado mais profundamente em estudos de Geomorfologia costeira. Conforme Morais,

Santos Jr. e Freitas Neto (2020), a implementação das atividades do setor turístico-imobiliário possui relativa importância para o desenvolvimento regional e local, no entanto, a implementação dessas devem ser precedidas por estudos técnicos que proporcionem a segurança em relação aos movimentos de massa.

**Figura 10 - Reportagens sobre acidentes ocorridos em falésias no Brasil.**



Fonte: G1, 2020, 2022; Campos 24h, 2024; O Globo, 2024.

O deslizamento planar, deslizamento rotacional, fluxo de detritos e queda de blocos são estabelecidos pelo Projeto GIDES (2018), como os quatro tipos principais de movimentos de massa no Brasil. Na aplicação dessa metodologia em falésias na Formação Barreiras, o Projeto Falésias (2021) identificou apenas o deslizamento planar e queda de blocos. Sendo os outros tipos de processos não sendo aplicáveis as escarpas costeiras analisadas. Ainda nesse estudo, há o acréscimo da identificação da erosão pluvial, um dos mecanismos de ruptura, como um fator de análise de perigo nas falésias.

Com relação aos mecanismos de rupturas das falésias da Formação Barreiras, o Projeto Falésias (2021), apresenta fatores mais específicos para esses ambientes. Sendo esses os fatores adotados na presente dissertação. Segundo este projeto, os fatores que podem contribuir para uma maior ou menor instabilidade desses taludes costeiros são: grau de diagênese e laterização; grau de fraturamento; ângulo da escarpa; estratigrafia do depósito; posição da falésia em relação à linha de costa; ângulo de ataque do trend de ondas; ocorrência de rampa de *talus* e/ou colúvio; existência de feições erosivas pluviais; presença de berma; presença de vegetação na encosta. O projeto ainda ressalta que as falésias ativas são ambientes naturalmente instáveis, mas que a sua maior ou menor instabilidade irá depender da combinação e relação dessas variáveis.

Assim, analisando as falésias costeiras no contexto de um sistema integrado, a combinação desses fatores reflete as interações complexas entre os componentes geológicos, hidrológicos, climáticos e biológicos dentro dos geossistemas costeiros. Os diferentes graus dessas combinações irão afetar a maior ou menor ativação dos mecanismos de ruptura, o que afeta a estabilidade dos taludes e conseqüentemente proporciona os movimentos de massa.

Nas áreas onde o mar atinge as falésias e não há proteção em sua base, pelos blocos de arenito, por exemplo, as ondas impactam diretamente as porções basais das falésias, criando incisões basais e pontos de instabilidade. Essas incisões frequentemente levam à queda de blocos e tombamentos, tanto na parte do topo das falésias quanto na zona diretamente acima das incisões. Esse processo contínuo e dinâmico resulta no recuo da linha costeira (Silva, B. *et al*, 2020). Lima e Maia (2023), detalha que, no contexto das falésias, os deslizamentos ocorrem em áreas onde há a intercalação de arenitos e lamitos mais friáveis, que podem ou não estar vinculados a camadas laterizadas e, nesse caso, resultando frequentemente em quedas de blocos lateríticos.

A ocorrência dessas reentrâncias erosivas na base das falésias, devido à ação da abrasão marinha, é comum, resultante do impacto das ondas e da corrosão frontal. À medida que a incisão basal se estende, as encostas se tornam mais suscetíveis à instabilidade, pois a forma escavada retira o sustentáculo da parte superior, levando ao colapso de blocos. Conseqüentemente, à medida que a frente de umedecimento do maciço avança, a extensão máxima estável do entalhe formado pela ação das ondas na base das falésias diminui. Esse padrão de comportamento é evidenciado através de quedas de blocos, tombamentos e deslizamentos próximos às incisões na base, com uma maior frequência observada durante os períodos chuvosos (Projeto Falésias, 2021; Silva, B. *et al*, 2020).

Segundo o relatório técnico do Projeto Falésias (2021), o comportamento da precipitação, especialmente em relação aos eventos máximos, está diretamente relacionado à análise de riscos nas falésias da Formação Barreiras. Assim, a esses fenômenos devem-se somar os processos continentais ligados às chuvas, os quais causam erosão pluvial, deslizamentos e quedas/tombamentos de blocos. Visto que as chuvas também têm impacto ao aumentar o grau de saturação do maciço, resultando na redução da resistência ao cisalhamento (Silva, B. *et al*, 2020).

Conforme Lima e Maia (2023), os planos de estratificação entre sedimentos de diferentes granulometrias atuam como planos de fraqueza, o que facilita a percolação da água e resulta em erosão diferencial entre as camadas. Durante chuvas intensas, é comum a ocorrência de deslizamentos, que diminuem temporariamente a inclinação das falésias e que

voltam a se tornar verticais após a remoção dos sedimentos na maré alta. A elevada pluviosidade, combinada às fraquezas estruturais, desencadeia deslizamentos de terra. Em áreas com maior densidade de fraturas e materiais friáveis, é comum o recuo das falésias em anfiteatros circulares, resultando em ravinas e voçorocas, com transporte significativo de sedimentos pelo escoamento superficial em direção às praias.

A combinação de alta pluviosidade e das fraquezas estruturais, como os planos de juntas conjugadas e falhas, são importantes fatores que condicionam o recuo das falésias. Esses fatores têm os movimentos de massa como principais processos de retração. (Lima; Maia, 2023; Sunamura, 1992). A título de exemplo, em estudos realizados no litoral sul da Bahia, Lima e Maia (2023), constaram que, em certos trechos, os principais condicionantes que contribuíam para o recuo das falésias eram a presença significativa de fraquezas estruturais nas rochas e a friabilidade de grande parte dos sedimentos, sendo os principais agentes desencadeadores o impacto direto das ondas e o alto índice pluviométrico.

Segundo Silva, B. *et al.* (2020), as falésias também podem apresentar fendas de tração, que são um outro fator que aumenta a probabilidade de movimentos de massa e quedas de blocos nesses ambientes costeiros. Durante chuvas intensas, essas fendas podem provocar quedas de blocos e tombamentos, especialmente se estiverem cheias de água. Segundo o autor, isso se dar quando os esforços de tração exercida sobre a falésia devido à formação de incisões em sua base alcançam valores iguais à resistência à tração do material, ocorre a ruptura na forma de desprendimento de blocos e lascas do material das falésias.

Deste modo, nos planos de fraturas verticais, nas camadas (estratabounds), a maior possibilidade de permeabilidade da rocha, o que leva ao lixiviamento e ao desprendimento dos blocos (Maia; Amorim, 2022). Esse cenário se intensifica durante períodos de chuva, pois o umedecimento do material resulta em aumento das tensões atuantes e redução da resistência dos materiais das encostas.

Assim, a gravidade e a lubrificação proveniente da água de infiltração durante períodos chuvosos são os principais mecanismos desencadeadores. Pois, quando as falésias apresentam um ângulo de inclinação sub vertical e são constantemente erodidas pelas ondas durante as marés altas, resultam em colunas instáveis, que desmoronam em qualquer condição meteorológica, mas, especialmente durante os períodos chuvosos (Lima; Maia, 2023; Projeto Falésias, 2021).

As fraturas de deslocamento causadas pela gravidade resultam no colapso de blocos ao longo das falésias, estendendo-se da base até o topo e associadas ao peso da escarpa. As cicatrizes de colapso são comuns e indicam a fase ativa da erosão das falésias, caracterizadas

por exposições recentes devido ao deslocamento de "cascas" ou desprendimento de blocos, sendo mais frequentes em áreas com fraturas (Projeto Falésias, 2021).

Nas falésias, os movimentos de massa por colapso de blocos ocorrem nos trechos em que o material apresenta uma maior cimentação e diagênese, características essas possibilitada pela natureza do material e ao tempo de deposição (Projeto Falésias, 2021). Lima e Maia (2023), corroboram com essa questão, segundo esses, a ocorrência de quedas e tombamentos de blocos rochosos são comuns em áreas onde há afloramento de arenitos e arcósios mais rígidos e camadas laterizadas. Contudo, também ocorrem movimentos mistos de deslizamento nessas litofáceis, especialmente durante períodos de alta pluviosidade.

O tráfego intenso de banhistas próximo às falésias instáveis, pela ação consorciada de processos de escoamento hidráulico interno e a ação das ondas na base criam colapsos frequentes, criando uma situação de risco elevado. Assim, os movimentos de massa por colapso de blocos representam uma ameaça para os frequentadores da praia com essas feições ativas, especialmente durante períodos chuvosos e de maré alta, quando as pessoas costumam se aproximar da base das escarpas (Maia; Amorim, 2022).

Nas falésias ativas na Formação Barreiras, a variação no tamanho dos blocos e no volume do material colapsado pode ser significativa, dependendo das características litoestratigráficas, fraturas, sets de juntas na escarpa e da intensidade da energia de solapamento na base (Maia; Amorim, 2022). Esses blocos, quando em formato mais esférico podem alcançar até 3 metros de diâmetro. Já quando apresentam formato mais alongados, ocorre o tombamento, com alguns preservando os planos de fraqueza, resultando em blocos colunares métricos angulosos (Lima; Maia, 2023).



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 A área de estudo

A área de estudo compreende a praia de Carro Quebrado, localizada entre o limite municipal de Barra de Santo Antônio e Passo de Camaragibe (Figura 11). Distante aproximadamente 50 km de Maceió, no Litoral Norte de Alagoas, esses municípios estão inseridos na Região Intermediária de Maceió e na Região Imediata de Porto Calvo - São Luís do Quitunde. Segundo o IBGE (2022), Barra de Santo Antônio possui uma área de 131,364 km<sup>2</sup> e uma população de 16.365 habitantes. Já Passo de Camaragibe apresenta uma área territorial de 251,290 km<sup>2</sup> e sua população atual chega 13.804 habitantes.

**Figura 11 - Mapa de localização da área de estudo.**

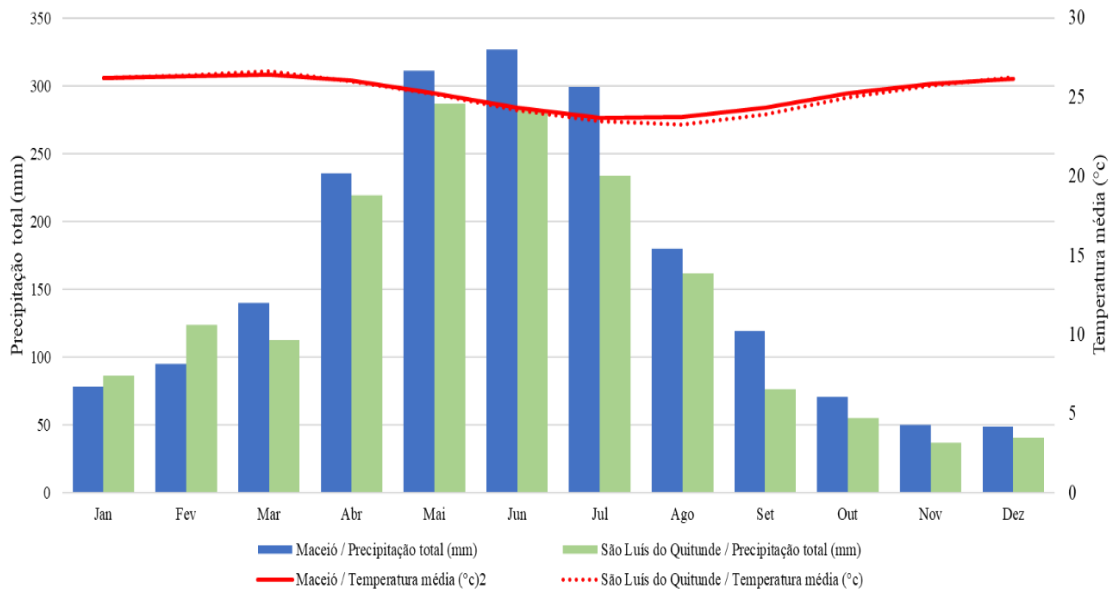


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Do ponto de vista climatológico, predomina um clima úmido, conforme a classificação de Köppen, do tipo AMS', tropical chuvoso, com período seco no verão, e temperaturas variando entre 23 e 28 °C ao longo do ano (Araújo *et al.*, 2006). Os meses mais chuvosos são de abril a julho, com períodos longos de chuva, alternados por dias não chuvosos de temperaturas mais amenas. Já de outubro a janeiro os totais pluviométricos caem bastante, com temperaturas mais altas, acima dos 25 °C (Gráfico 1). Essas condições climáticas contribuem

ora para uma maior instabilidade dos taludes, frente a intensa morfodinâmica, como para a estabilização dos mesmos com fixação derivada da colonização vegetal, perenifólia e semicaducifólia.

**Gráfico 1 - Climograma composto de Maceió, 1973 a 2023 (40 quilômetros de Carro Quebrado) e; São Luís do Quitunde, 2009 a 2023 (13 quilômetro de Carro Quebrado).**



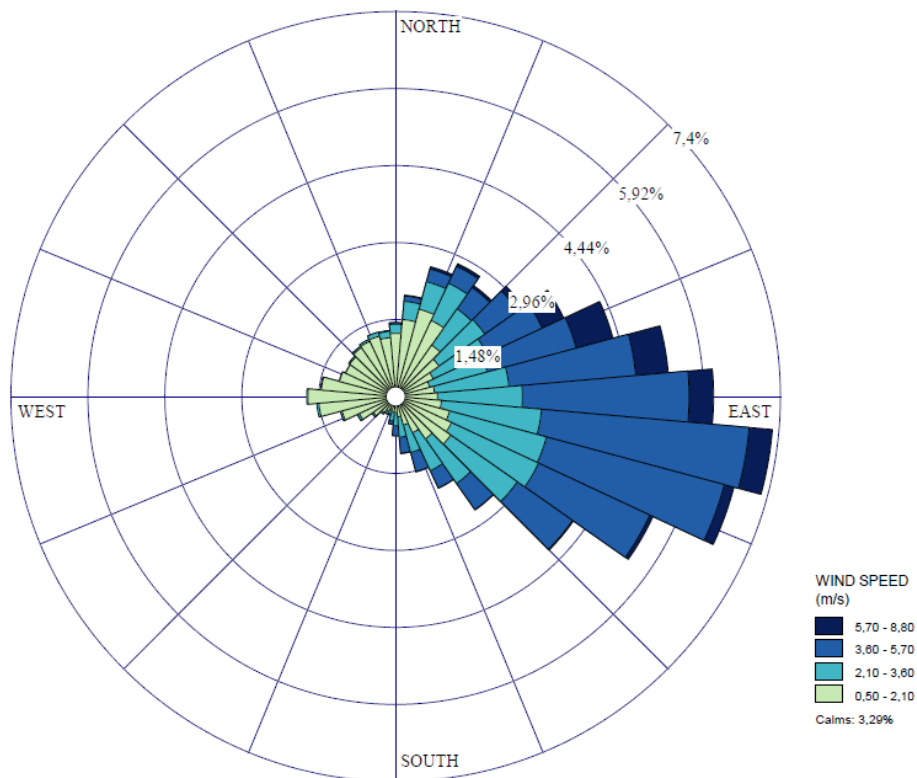
Fonte: INMET (2024). Organizado pelo autor (2024).

A adoção de um climograma composto, com dados das estações meteorológicas de Maceió (82994) e São Luís do Quitunde (A356), ocorreu principalmente devido à disponibilidade dos dados. Embora a estação A356 esteja mais próxima de Carro Quebrado, a mesma é mais recente e não apresenta dados meteorológicos antigos. Em contraste, a estação 82994 oferece uma sequência histórica maior, dando uma maior confiabilidade estatística. Assim, a combinação e a análise conjunta desses dados meteorológicos permitem uma análise mais detalhada e confiável.

Os ventos atingem a área de estudo preponderantemente pela direção sudeste (Gráfico 2), apresentando uma velocidade média de 2,63 m/s, na série histórica analisada. Sua influência também é significativa para as morfologias da zona costeira na área, em especial para a estabilidade das falésias, pois estes são responsáveis pela origem e intensificação das ondas que atingem a costa e pelo transporte de sedimentos pela corrente de deriva litorânea. A adoção dos dados da estação de Maceió para a elaboração do gráfico 2 ocorreu devido à proximidade com Carro Quebrado, à semelhança das características ambientais costeiras e a sua maior sequência histórica dos dados registrados.

Com relação a morfologia, as falésias analisadas possuem diferentes estágios de desenvolvimento e estabilidade geomorfológica, muito relacionadas com as características morfoestruturais e morfológicas da Formação Barreiras, leques de arenitos e conglomerados, intercalados e com presença de espessas lentes argilosas com idade plio-plestocênica. A maior parte dessas falésias podem ser consideradas como "vivas", já que sofrem a influência da abrasão marinha na base, pelo menos em longos períodos ao longo do ano, especialmente nos eventos de ventos fortes.

**Gráfico 2 - Incidência e amplitude dos ventos na Maceió entre 2003-2023, em área a 40 km de distância da área de estudo.**



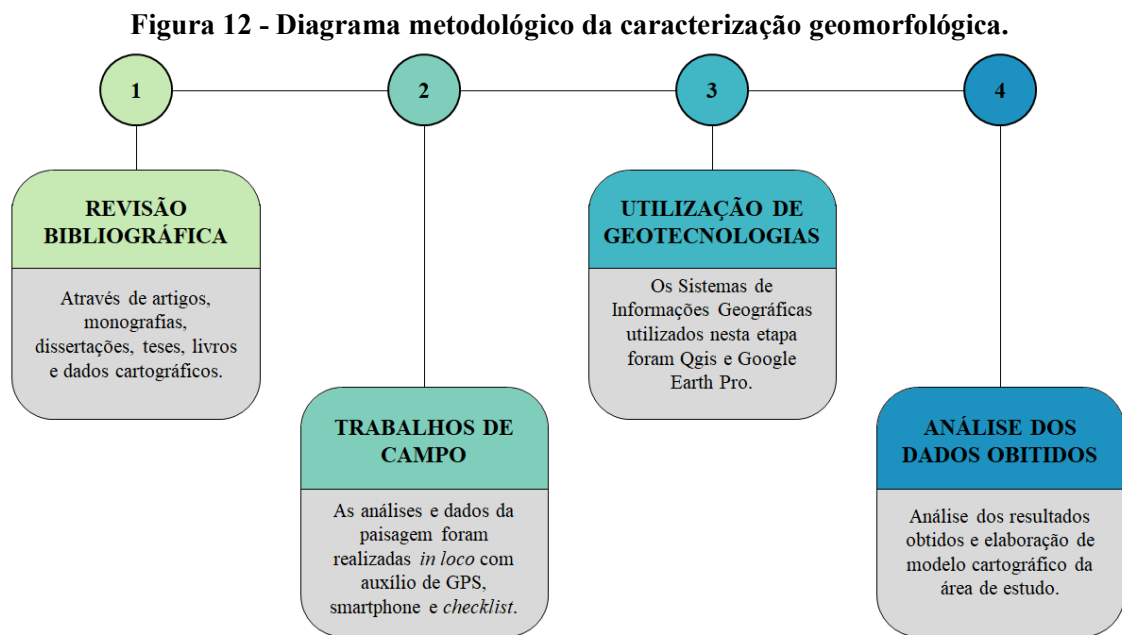
Fonte: INMET (2024). Organizado pelo autor (2024).

O pós-praia, unidade que tem seu início logo após a faixa de praia, aparece em apenas alguns setores, ocupando um curto espaço, estruturados em estreitos terraços arenosos com diferentes sazonalidades. Esses depósitos inconsolidados apresentam diferentes larguras e graus de estabilização, alguns sendo colonizados por vegetação pioneira. Possui sedimentos que são transportados pelo vento na faixa de praia, durante as marés baixas e também material coluvial derivado dos processos superficiais atuantes sobre as encostas vegetadas e topos, nesse segundo, com contribuições de canais de drenagem artificiais, ligados a atividade canavieira.

## 3.2 Procedimentos metodológicos

### 3.2.1 Elaboração da caracterização geomorfológica

Os procedimentos metodológicos da caracterização geomorfológica incluíram o levantamento de dados, análises e procedimentos de campo, processamento de dados em ambiente SIG, utilizando os *softwares* QGIS v. 3.34.9 e o Google Earth Pro versão 7.3.6, e a elaboração de um modelo cartográfico com a setorização da área de estudo. Essa abordagem sistemática viabilizou a obtenção de resultados fundamentais para a análise e discussão dos objetivos do estudo. O conjunto dos procedimentos metodológicos está inserido no diagrama a seguir (Figura 12).



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Durante o desenvolvimento da pesquisa, foram realizados levantamentos bibliográficos e cartográficos. Nessa etapa, foram levantadas informações, dados e mapeamentos previamente realizados sobre processos erosivos e movimentos de massa em falésias estruturadas na Formação Barreiras, em Alagoas e outras porções do território brasileiro. Essa etapa teve como objetivo estabelecer bases metodológicas e correlacionar as informações obtidas com a área em estudo.

As etapas de campo abrangeram percursos de aproximadamente 4,2 km de praia, nesses trajetos foram realizados o reconhecimento da área, a escolha de áreas amostrais significativas e a coleta de dados para os mapeamentos. Por meio da aplicação de um *checklist*, em áreas amostrais com intervalos de 200 metros, totalizando 21, foram registradas observações e classificações das características estruturais, litológicas e morfológicas dos taludes. Em paralelo, também foram registradas informações sobre atividades socioeconômicas e estruturas edificadas presentes.

O modelo de *checklist* adotado foi uma adaptação dos modelos utilizados por Braga (2005) e Camara (2018), que consideram as características morfológicas, evidências de estabilidade e a cobertura vegetal. O uso de *checklists* na linha de costa é essencial para identificar os pontos com maior recuo e intensidade de erosão, já que as evidências de cicatrizes erosivas ficam registradas nas morfologias locais (Camara, 2018).

Assim, por meio do processamento dos dados espaciais obtidos em campo, foi realizada a verificação e a espacialização das falésias de Carro Quebrado. Com base nas observações em campo, na aplicação dos *checklists* e nos registros fotográficos, foi possível regionalizar a praia em três setores: Norte, Central e Sul. Essa classificação considerou as morfologias e variantes observadas, as quais influenciam a susceptibilidade a movimentos de massa nas falésias. A caracterização teve como referência metodológica o Relatório Técnico do Projeto Falésias, desenvolvido no estado do Rio Grande do Norte em 2021, após eventos trágicos envolvendo a perda de vidas na praia de Pipa, em 2020.

### 3.2.2 Mapeamento das formas de uso e ocupação das terras

Devido ao risco de desmoronamento, à crescente pressão humana e à falta de dados sobre o mapeamento de construções irregulares nas áreas de APP de falésias no estado de Alagoas, o zoneamento das formas de uso e ocupação das terras teve como objetivo mapear a ocupação do topo da falésia na Praia de Carro Quebrado, nos seus limites legais. Além disso, buscou-se compreender a relação entre a ocupação do solo em áreas de APPs e a presença de Unidades de Conservação. O zoneamento também teve como propósito fornecer subsídios para a gestão costeira, com base na Constituição Federal, amparados especialmente na Lei n.º 12.651/12 (Código Florestal) e o Decreto n.º 5.300 de 7 de dezembro de 2004 (Projeto Orla).

Assim, para entender essas dinâmicas de ocupação nas áreas próximas às falésias da área de estudo, foi efetuado o mapeamento do uso e cobertura da terra nessa localidade. Os

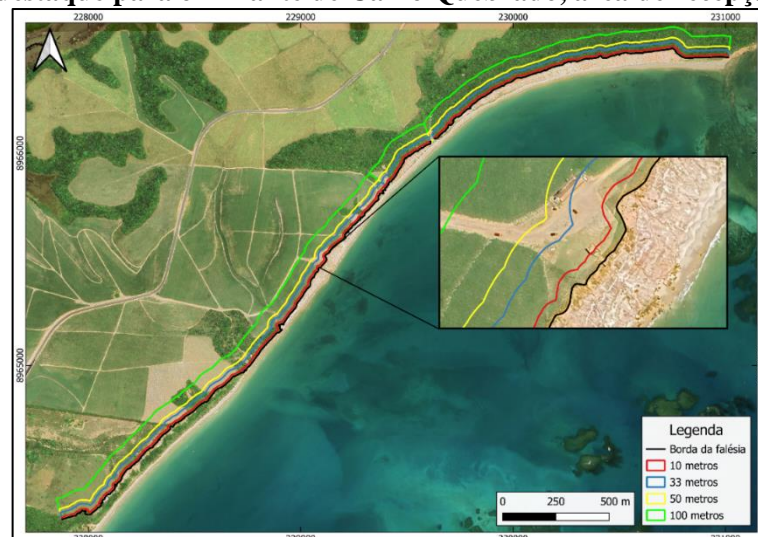
procedimentos metodológicos adotados foram divididos em cinco etapas específicas: levantamento de dados cartográficos; classificação das coberturas das terras; confecção dos produtos cartográficos temáticos; delimitação e análise da ocupação do terreno nas proximidades das cristas das falésias; e construção textual final.

O mapeamento do uso e ocupação das terras foi baseado em imagens do ano de 2024, da companhia Airbus, obtidas gratuitamente no acervo do software Google Earth Pro. Tais imagens foram utilizadas para identificar as classes de uso e ocupação da terra, visando compreender como essas classes estão distribuídas nas proximidades das falésias e determinar o impacto desse ordenamento.

A classificação das coberturas das terras foi realizada de forma supervisionada, utilizando o complemento *Dzetsaka: Classification Tool*, no QGIS 3.34.9. Esse complemento permitiu a classificação semiautomática dos padrões de cores e texturas das imagens, agrupando esses padrões em classes. As classes foram definidas com base na interpretação visual, possibilitada pela alta resolução das imagens obtidas (8192 x 4852), e na posterior vetorização de cada componente presente nas imagens, seguida de sua classificação e tipificação.

Após a vetorização, foi elaborado o mapa de uso e ocupação da terra para a praia de Carro Quebrado. Com esse mapeamento, foram identificadas as zonas próximas às falésias para observar a ocupação do terreno nas imediações das cristas. Assim, foram delimitadas as distâncias de 10 metros, 33 metros, 50 metros e 100 metros da borda da escarpa, a fim de detalhar a cobertura e o uso da terra (Figura 13). Essa análise possibilitou uma compreensão mais precisa dos impactos da ocupação do solo nas áreas adjacentes às falésias.

**Figura 13 - Delimitação para a análise do mapeamento de uso e cobertura da terra, com destaque para o Mirante de Carro Quebrado, área de recepção de turistas.**



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A faixa de 10 metros, localizada nas proximidades das bordas das falésias, corresponde às áreas de maior risco devido à constante erosão que essas formações sofrem. Já a faixa de 33 metros corresponde às áreas de domínio da União, conforme instituído no inciso VII do art. 20 da Constituição de 1988, que define como bens da União os terrenos de marinha e seus acrescidos, abrangendo também terrenos adjacentes que podem ser impactados por processos erosivos e alterações ambientais.

A faixa de 50 metros foi adotada como correspondente à área de orla marítima definida no Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, e Projeto Orla, na qual, por padrão, a faixa terrestre da orla em falésias sedimentares é de cinquenta metros a partir de sua borda, em direção ao continente. No entanto, cabe ressaltar que áreas sujeitas à erosão, como substratos sedimentares como falésias, podem requerer estudos específicos para a definição da extensão da faixa terrestre da orla marítima (BRASIL, 2004).

A faixa de 100 metros corresponde à delimitação das APPs no Código Florestal, Lei n.º 12.651 de 2012, Art. 4º, que define as APPs como "as bordas dos tabuleiros ou chapadas, até a linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais" (BRASIL, 2012). Essa delimitação também é corroborada pela Resolução CONAMA n.º 303/2002, que em seu Art. 3º estabelece como APP "nas escarpas e nas bordas dos tabuleiros e chapadas, a partir da linha de ruptura em faixa nunca inferior a cem metros em projeção horizontal no sentido do reverso da escarpa" (CONAMA, 2002).

A delimitação dessas áreas foi realizada em ambiente SIG, utilizando o mascaramento do mapa de uso e cobertura da terra para os recortes de distância da crista, com cálculo da área em metros quadrados para cada classe de uso. Isso possibilitou uma análise detalhada da distribuição da cobertura do solo em diferentes distâncias das falésias. Por fim, foram elaboradas a discussão e a construção textual final, integrando os resultados obtidos e suas implicações para a gestão e o planejamento da área.

### 3.2.3 Classificação da estabilidade morfodinâmica das falésias

A classificação da estabilidade morfodinâmica das falésias teve como objetivo realizar uma investigação sobre as áreas mais suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa, investigando e analisando a erosão marinha, pluvial dentre outros fatores. A metodologia utilizada para essa classificação foi dividida em duas etapas. A primeira contou com a análise do Índice de Perigo de Instabilidade (IPI) / "*Instability Hazard Index*" (IHI), desenvolvido por



Gerivani, Stephenson e Afarin (2020), que considera variáveis do meio físico e condicionantes ao risco de desastres. Já a segunda etapa incluiu uma análise quantitativa da taxa de recuo da borda das falésias entre os anos de 2002 e 2024.

### 3.2.3.1 Índice de Perigo de Instabilidade (IPI)

A análise da instabilidade das falésias foi realizada com base em uma adaptação da metodologia de Gerivani, Stephenson e Afarin (2020). Essa metodologia leva em conta os fatores identificáveis que contribuem para a instabilidade em falésias. As etapas seguidas na área de estudo foram as seguintes: Identificação dos fatores que causam instabilidade; Atribuição de pontuações a cada fator conforme sua contribuição para a instabilidade das falésias; cálculo do índice de perigo de instabilidade e elaboração do mapa de instabilidade.

Na identificação dos fatores e atribuição de pontuações, os autores consideram sete fatores, sendo estes: altura, declividade, exposição das ondas, resistência da rocha, litologia, largura da praia e batimetria. Foram considerados cinco elementos para avaliar a estabilidade da área, incluindo: altura da falésia, declividade da falésia, litologia, largura da praia e cobertura vegetal. Cada fator foi subdividido em várias classes, e uma pontuação foi atribuída a cada classe com base em seu impacto na instabilidade das falésias.

O peso e a pontuação de cada um dos fatores foram atribuídos a *shapefiles*, no formato polígono, individuais no QGIS para calcular o índice de instabilidade das falésias de Carro Quebrado. A atribuição de pontuações a cada fator conforme sua contribuição para a instabilidade das falésias levou em consideração os apontamentos de Gerivani, Stephenson e Afarin (2020). No qual foram realizadas as adaptações necessárias para cada classe, em especial a de litologias presente na área.

Os autores utilizam um método de classificação litológica para categorizar a litologia na área de estudo, de acordo com sua contribuição para a instabilidade das falésias. As categorias litológicas foram avaliadas e pontuadas com base nos seguintes critérios: Pontuações mais altas para costas com materiais heterogêneos em comparação com aquelas com materiais homogêneos; Pontuações mais altas para rochas com resistência mais baixa; Pontuação mais baixa para costas com camadas mais resistentes na parte inferior do perfil, em comparação com aquelas com camada de resistência mais baixa na parte inferior do perfil.

As pontuações variaram entre 0,2 (associadas a menor instabilidade) e 1 (associadas a maior instabilidade) foram atribuídas a cada categoria (Tabela 1) para representar sua



contribuição para a instabilidade das falésias. Com base nessas categorias, os polígonos básicos foram divididos em vinte e uma seções, corresponde a pontos de registro em campo, para criar uma camada de mapa de litologia e, em seguida, uma pontuação foi atribuída a cada seção para permitir a avaliação da instabilidade das falésias.

Tabela 1 - Categorias litológicas na área de estudo e suas pontuações atribuídas.

Categoria	Heterogênea					Homogênea			
	Resistência no topo		Resistente alternada ao longo do perfil	Resistente na base		Resistência Baixa	Resistência Alta		
Litologia na área de estudo	Arenito com presença de lentes argilosas	Arenito bem litificado ou com presença de níveis laterizados	Alternância de conglomerados, arenitos e lentes argilosas	Arenito com presença de lentes argilosas	Arenito bem litificado ou com presença de níveis laterizados	Arenitos friáveis e lentes argilosas	Arenitos bem litificados e lentes argilosas	Arenitos bem litificados e níveis laterizados	Litologia encoberta por vegetação densa
Pontuação	1.00	0.90	0.80	0.70	0.60	0.40	0.30	0.20	0.20

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Os demais fatores seguiram os mesmos parâmetros de divisão da metodologia proposta pelos autores. Cada qual com seções representando um intervalo de aproximadamente 200 metros. Assim, também foram criados polígonos para a altura e inclinação das falésias, sendo divididos em vinte e uma seções para criar camadas de mapa da altura das falésias e do ângulo de inclinação destas, respectivamente. Essas seções poligonais foram classificadas em seis classes de acordo com sua altura máxima e em cinco classes com base nos valores médios de ângulo de inclinação (Tabela 2).

Tabela 2 - Classes de altura, declividade largura da praia e de cobertura vegetal das falésias e a pontuação atribuída a cada classe.

<b>Altura</b>	<b>Classes</b>	0–5m	5–10m	10–20m	20–30m	30–40m	40–50m	X	X	X	X
	<b>Pontuações</b>	0.10	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00				
<b>Declividade</b>	<b>Classes</b>	0–10	10–30	30–50	50–70	70–90	X	X	X	X	X
	<b>Pontuações</b>	0.11	0.33	0.55	0.78	1.00					
<b>Largura da praia</b>	<b>Classes</b>	0–10m	10–20m	20–30m	30–40m	40–50m	50–60m	60–70m	> 70m	X	X
	<b>Pontuações</b>	-0,071	-0,214	-0,357	-0,5	-0,643	-0,786	-0,929	-1.00		
<b>Vegetação</b>	<b>Classes</b>	Vegetação em todo o perfil		Vegetação na base e outra porção		Vegetação só na base		Vegetação em alguma porção do perfil		Sem vegetação na base	
	<b>Pontuações</b>	0.11		0.33		0.55		0.78		1.00	

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Com as falésias de maior elevação e inclinações mais íngremes tendo maior potencial de instabilidade. Para isso, a inclinação e a elevação foram mapeadas usando a ferramenta *Profile tool*, complemento do QGIS, a partir de dados topográficos obtidos do Modelo Digital de Elevação (MDE). Os MDE foram provenientes da missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), apresentando resolução espacial de 30 metros. Foram obtidos gratuitamente através do acervo do TOPODATA, *website* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As observações de campo também auxiliaram no refinamento dos dados.

As falésias raramente ultrapassam 50 metros de altura. Portanto, as pontuações das classes de altura foram determinadas dividindo-se a altura máxima de cada classe por 50 (Tabela 2). Já com relação a inclinação, as falésias com amplitude de 90 graus são as que foram pontuadas com o maior potencial de instabilidade, e, por isso, o ângulo de inclinação em cada classe foi normalizado para 90 graus para calcular as pontuações de inclinação das falésias (Tabela 2).

As praias atenuam a força das ondas e, conseqüentemente, reduzem a suscetibilidade das falésias à instabilidade e à erosão (Gerivani; Stephenson; Afarin, 2020; Silva *et al.*, 2020). Assim, a pontuação das classes da largura da praia reflete a relação entre a taxa de erosão das falésias e a largura da praia, evidenciando uma correlação negativa. Para determinar o efeito protetor das praias, a área entre a base das falésias e o nível médio da água foi utilizada para medir a largura das praias. No mapa base, a linha da falésia foi dividida em seções conforme a largura da praia, e, posteriormente, a largura média da praia em frente a cada seção foi calculada.

A largura média da praia em cada seção da linha costeira foi normalizada para o valor de 70 metros, considerado por Gerivani, Stephenson e Afarin (2020) como suficiente para proporcionar proteção completa às falésias, e multiplicada por -1 para obter a pontuação de cada seção. Para seções cuja largura de praia excedeu 70 metros (valor normalizado maior que 1), foi atribuída uma pontuação fixa de -1 (Tabela 2).

Foi incluso no IPI a variável vegetação, visto que essa apresenta papel significativo na estabilização de encostas, principalmente em locais que apresentam taxas de precipitações elevadas. A vegetação atua como um elemento mitigador, reduzindo a erosão superficial e melhorando a coesão do solo por meio do entrelaçamento das raízes, que aumentam a resistência mecânica do substrato. Assim, quanto menor a presença de vegetação em um trecho, maior a nota no índice de instabilidade (Tabela 2). A variável vegetação não foi analisada nos estudos de Gerivani, Stephenson e Afarin (*op. cit.*), realizada nas falésias no Irã. Uma vez que,

segundo os autores, na sua área de estudo, fatores como baixa precipitação e pouca variação ambiental tornam seus efeitos irrelevantes na análise de instabilidade das falésias, permitindo que sejam desconsiderados sem comprometer os resultados.

Após quantificar os diversos fatores que afetam a instabilidade, classificando-os e atribuindo-lhes pontuações, foi criada uma camada raster para cada fator. Nesta etapa, essas camadas de mapa foram cruzadas no QGIS, na ferramenta calculadora raster, para produzir uma única camada de mapa, que incluiu as 105 seções, vinte uma para cada fator. O Índice de Perigo de Instabilidade (IPI) foi calculado para cada seção a partir da seguinte expressão:

$$\text{IPI} = (\text{ALTU} * 17,9) + (\text{DECL} * 17,9) + (\text{LITO} * 32,1) + (\text{LARP} * 15,4) + (\text{VEG} * 16,7)$$

Onde: ALTU = Altura; DECL = Declividade; LITO = Litologia; LARP = Largura da praia; VEG = Vegetação. A nova camada gerada a partir do resultado foi utilizada para representar o Índice de Perigo de Instabilidade ao longo das falésias de Carro Quebrado. Os pesos foram ajustados para manter os valores proporcionais aos originais.

### 3.2.3.2 Análise Taxa de recuo das falésias

Os procedimentos metodológicos adotados na segunda parte, análise da taxa de recuo, visou identificar e quantificar os locais onde ocorreu significativo recuo das reentrâncias dos topos das falésias analisadas. Dessa forma, a sequência metodológica utilizada se deu por: revisão bibliográfica e cartográfica sobre o tema e a área; aquisição e processamento de imagens de satélite; vetorização e análise da série temporal da linha de topo das reentrâncias das falésias; determinação da taxa de recuo e; sua posterior discussão.

Para a delimitação e análise no presente estudo, foi utilizada a linha da borda da falésia derivada de imagens da Maxar Technologies e Airbus, dos anos de 2002 e 2024, obtidas gratuitamente através do catálogo de imagens do *software* Google Earth Pro. O processamento dos dados vetoriais e matriciais foi realizado utilizando as ferramentas nativas do *SIG* QGIS, versão 3.28.6, empregando o sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum SIRGAS 2000, Fuso 25 Sul.

Após uma criteriosa checagem das linhas traçadas com as imagens dos anos de 2002 e 2024, foi realizado o procedimento de junção dessas linhas e a transformação para polígono, seguido da extração do plano de informação, resultando no polígono de área de recuo. Em

seguida, a área foi dividida em três setores: norte, central e sul, diferenciados com base nas características geomorfológicas e de uso e ocupação da terra (Figura 14). Para cada setor, foram avaliados: a extensão da linha de borda da falésia em quilômetros, a área de retração em metros quadrados, o percentual de retração entre os três setores e a taxa média de recuo anual em metros quadrados.

**Figura 14 - Vista do setor sul (A); vista do setor central (B) e; vista do setor norte (C).**



Fonte: Acervo do autor (2024).

Por fim, com base na interpretação conjunta das observações de campo, na comparação com os mecanismos descritos em diversos estudos e na análise da taxa de retração em ambiente *SIG*, foi discutido os processos de recuo da linha de costa da área estudada. Os resultados foram apresentados na forma de mapas poligonais e tabelas, representando as áreas e quantitativos de recuo da borda dos tabuleiros costeiros onde estão estruturadas as falésias de Carro Quebrado. Tais informações estão subdivididas e apresentadas por setor mapeado, totalizando 3 setores, com características morfológicas, processos e formas de uso e ocupação que possibilitaram suas individualizações.

### 3.2.4 Identificação e classificação dos riscos geomorfológicos

#### 3.2.4.1 Diagnóstico dos mecanismos de ruptura das falésias

A primeira etapa da identificação e classificação dos riscos geomorfológicos conta com um estudo sobre o meio físico e dos condicionantes ao risco de desastres na área. A metodologia para a identificação dos mecanismos de ruptura e seus consequentes riscos geomorfológicos foi baseada nas seguintes etapas: identificação e análise dos mecanismos de ruptura e dos movimentos de massa em campo, integração e processamento dos dados espaciais em *SIG*, e elaboração do mapa das condicionantes ao risco de desastres.

As atividades de campo foram desenvolvidas com o objetivo de identificar os parâmetros que condicionam os movimentos de massa. Para isso, foram realizados levantamentos detalhados, observando os aspectos litológicos e estruturais, com ênfase nos processos intempéricos e diagenéticos que possam influenciar a resistência física dos depósitos sedimentares que compõem essas escarpas costeiras. Foram utilizadas técnicas clássicas expeditas, como, por exemplo, a identificação e medição das estruturas geológicas com a bússola geológica ao longo das falésias. Foram realizados dois trabalhos de campo, o primeiro em 18 de julho de 2023 e o segundo em 31 de outubro de 2024. Os levantamentos de campo foram realizados em condições de baixa-mar e preamar, pois em certos trechos só é possível o percurso nessas condições. Os campos tiveram duração três horas e meia.

No levantamento de campo, todas as áreas passaram por inspeções detalhadas para confirmar os aspectos mencionados na revisão da literatura. Nesse processo, foram observadas as características geométricas das falésias, altura e inclinação, a presença ou ausência de proteção na base das falésias, seja por faixa de praia ou blocos de arenito, as características mecânicas dos materiais por meio de análise tátil-visual, cicatrizes erosivas, além de identificação os tipos de movimentos de massa presentes na área.

Para a identificação e caracterização dos processos de erosão marinha e continental foi adotado o uso de *checklist*, que foram aplicados a uma equidistância de 200 metros, onde foram registradas as observações e classificações das características estruturais, litológicas e morfológicas dos taludes, além das observações a respeito de atividades socioeconômicas e estruturas edificadas presentes. Os dados coletados serviram de subsídio para caracterização dos fatores desencadeadores da erosão costeira e dos movimentos de massa. Ainda, tiveram como objetivo validar os mapas temáticos, identificar a ação dos processos erosivos na linha de costa, investigar possíveis estruturas de contenção existentes e equipamentos de infraestrutura para o escoamento das águas superficiais.

O uso de *checklist* na linha de costa é imprescindível para a identificação dos pontos onde ocorrem maiores recuos e maior intensidade da erosão (Camara, 2018). Já que as evidências das cicatrizes erosivas ficam registradas nas morfologias locais. O modelo de *checklist* adotado nesta etapa foi uma adaptação do *checklist*, formulário de perigo, apresentado pelo projeto GIDES (2018), no qual são levados em considerações critérios topográficos e indícios de instabilidade no terreno. As adaptações buscaram complementar este com os fatores que são trabalhados pelo Projeto Falésias (2021) e Silva *et al.* (2023).

Os fatores avaliados na análise da estabilidade morfodinâmica e de perigo a movimentos gravitacionais de massa no Projeto Falésias (2021) foram os seguintes fatores: grau de diagênese e laterização; grau de fraturamento; ângulo da escarpa; estratigrafia do depósito; posição da falésia em relação à linha de costa; ângulo de ataque do *trend* de ondas; ocorrência de rampa de *tálus* e/ou colúvio; existência de feições erosivas pluviais; presença de berma; presença de vegetação na encosta.

Já Silva *et al.* (2023), em seu estudo sobre erosão costeira e movimentos gravitacionais de massa na Praia de Pipa, também fazem apontamento de outros geoindicadores e de intensidade de indícios, em geral complementares, tais como: lançamento de água ou esgoto no topo e no talude da falésia ativa; deformações em infraestruturas; cicatrizes de deslizamento e/ou queda de blocos; o sentido do escoamento superficial através de tubulações residenciais ou comerciais; pontos de alagamento e escoamento em direção à praia e taludes; presença de estruturas de contenção em locais impactados diretamente por ondas; estado de conservação das estruturas; evidências de processos erosivos costeiros nas praias, como erosão laminar e a abrasão marinha, e nos taludes, a erosão devido à ação combinada de chuvas e ondas ou *splash*, incisão basal, zonas de fratura e fissuras.

Esses dados foram coletados e registradas no *checklist* adaptado, foram posteriormente georreferenciadas e plotados no *software* QGIS. Com esses dados em ambiente SIG, foi possível realizar a elaboração do mapa das condicionantes ao risco de desastres e de movimentos de massa para a Praia de Carro Quebrado. No qual foram indicados no mapa os deslizamentos recentes nos taludes, tais como deslizamentos e queda de blocos, a presença de infraestruturas e estruturas de contenções, os pontos de alagamento e a direção do fluxo do escoamento superficial.

#### 3.2.4.2 Mapeamento e caracterização dos riscos

O mapeamento e a classificação dos riscos geomorfológicos têm como objetivo qualificar e delimitar as áreas de perigo. As áreas foram delimitadas com base nos apontamentos do Projeto GIDES (2018), de Projeto Falésias (2021) e de Silva *et al.* (2023). Bem como nos resultados obtidos nas etapas anteriores deste estudo, como o mapeamento do uso e ocupação do solo no topo das falésias, o Índice de Perigo de Instabilidade, as taxas de retração e o mapa diagnóstico das condicionantes dos mecanismos de ruptura das falésias, que incluem a

ocorrência de fraturas, deslocamentos, feições de pré-colapso, cicatrizes de colapso, incisões basais e movimentos de massa.

A metodologia de análise de risco descrita no Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos de Massa do Projeto GIDES serviu de base para os trabalhos realizados no Projeto Falésias (2021). Onde foram realizadas diversas adaptações ao contexto das áreas de falésias, principalmente devido à dinâmica distinta da erosão costeira em comparação com encostas não marinhas. No Projeto Falésias também foi adotada uma abordagem empírica com princípios sistêmicos, para fundamentar todos os resultados nos dados coletados. Essa sistematização empregada pelo Projeto também serviu de parâmetro para a identificação e classificação dos riscos geomorfológicos em Carro Quebrado.

Já o estudo de Silva *et al.* (2023), sobre a erosão costeira e movimentos gravitacionais de massa para o trecho urbano da praia de Pipa, utilizou uma análise integrada em um Sistema de Informações Geográficas. Teve como um dos resultados a produção de um mapa de risco, que forneceu uma compreensão da sinergia entre os processos continentais e marinhos que contribuem para a retrogradação da linha de costa, além de fornecer subsídios para o planejamento e controle ambiental costeiro e, de tomadas de decisões sobre intervenções adequadas visando à redução de desastres.

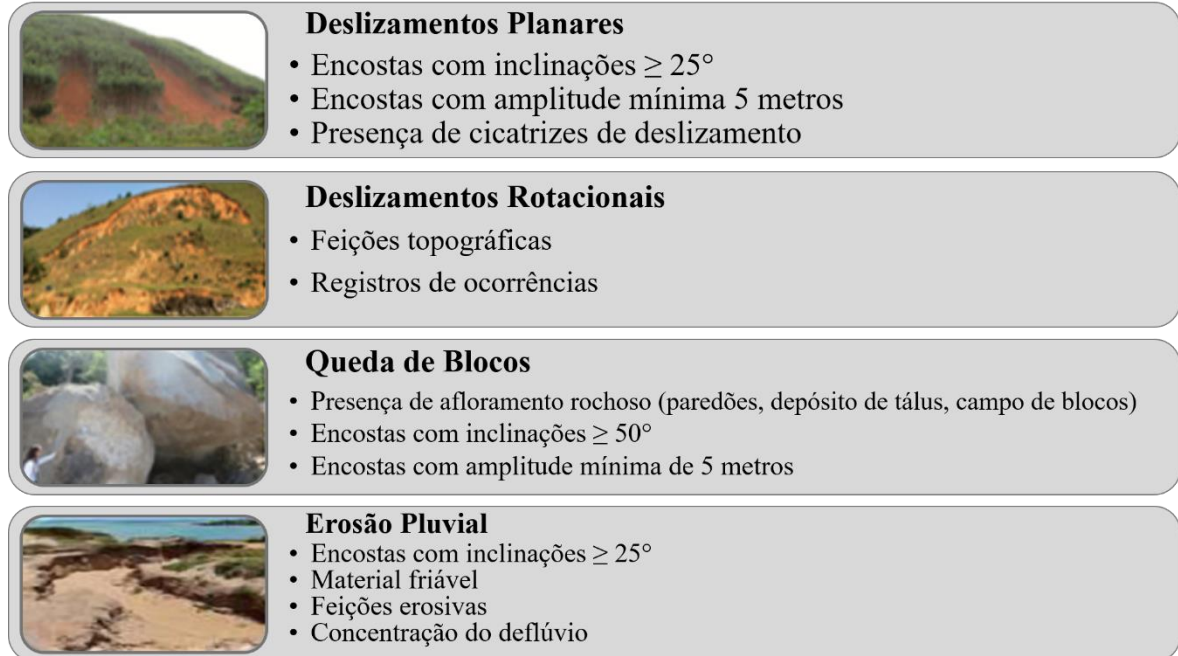
A metodologia para a identificação dos riscos geomorfológicos foi baseada nas seguintes etapas: identificação dos movimentos de massa em campo, qualificação e delimitação do perigo, integração e processamento dos dados espaciais em SIG, e elaboração do mapa de risco a movimentos gravitacionais de massa. Esta abordagem permitiu uma análise detalhada e a visualização das áreas de risco.

Para identificação dos movimentos de massa, considerou as cicatrizes erosivas e seus depósitos correlatos, as feições pré-colapso, os relatos de pessoas que trabalham ou frequentam a área (Projeto Falésia, 2021). Também foram adotados os critérios topográficos utilizados para identificação das áreas mais propensas à geração dos movimentos gravitacionais de massa do Projeto GIDES (2018) (Figura 15).

Posteriormente, as feições e os processos erosivos e de movimentos de massa foram qualificados com base no conceito de perigo, definido como uma "condição ou fenômeno com potencial para causar uma consequência desagradável dentro de um certo período de tempo" (Projeto GIDES, 2018), e no conceito de risco, que relaciona a probabilidade de ocorrer um movimento de massa com a magnitude dos danos ou consequências para a sociedade. Assim, "considera-se o risco como uma função do perigo, da vulnerabilidade e do dano potencial"

(Tominaga, 2012a, p. 151 *apud* GIDES, 2018). A definição do risco seguiu os princípios estabelecidos pelo Projeto GIDES (2018), adaptando-os, quando necessário, ao contexto específico das falésias. Para isso, serão consideradas as particularidades dos processos erosivos das escarpas costeiras, sua importância paisagística e econômica, além dos tipos de uso.

**Figura 15 - Critérios geomorfológicos e topográficos para definição das áreas de Perigo.**



Fonte: Adaptado de Projeto GIDES, 2018 e Projeto Falésias, 2021.

Com relação a delimitação do perigo, o Projeto GIDES (2018) aponta que o zoneamento de perigo aplicado a movimentos gravitacionais de massa visa identificar todos os processos que possam impactar uma área de estudo, estabelecendo a frequência, volume ou velocidade associados às tipologias relevantes. Este procedimento geralmente incorpora os resultados do mapeamento de suscetibilidade, que envolve a caracterização cartográfica dos tipos de movimentos, existentes ou potenciais, em termos de área, volume, distribuição espacial e alcance.

A etapa seguinte envolveu a integração e processamento dos dados espaciais em SIG, essa etapa possibilitou o tratamento das informações e a delimitação e qualificação do perigo nos recortes espaciais em análise. Com base nesse direcionamento, posteriormente, será realizada a qualificação dos riscos. Para ambas as análises, a delimitação de faixas horizontais em relação à escarpa da falésia, adotada pelo Projeto Falésias, será considerada como ponto inicial, adotando 5 faixas de riscos: 5 m praia, 10 m praia, 5 m tabuleiro, 10 m tabuleiro e 15 m tabuleiro, detalhadas da seguinte forma:



**“5 m praia.** Essa faixa foi definida para identificar a área na base da escarpa onde pode ocorrer um movimento de massa e atingir uma pessoa que esteja passando ou parada. Os 5 metros se aplicam aos locais onde a falésia é escalonada e apresenta cobertura vegetal.

**10 m praia.** Essa faixa foi definida para identificar a área na base da escarpa onde pode ocorrer um movimento de massa e atingir uma pessoa que esteja passando ou parada. Os 10 metros se aplicam aos locais onde a escarpa é bem definida e mais elevada, não se identificam escalonamento. Nos locais onde as escarpas apresentam até 30 de altura, um pequeno bloco de laterita ou arenito com apenas 500 gramas, caindo dessa altura já pode provocar ferimentos graves, caso atinja uma pessoa.

**5 m tabuleiro.** Faixa relacionada ao risco de uma pessoa ou veículo cair da borda da falésia. Foi definida levando-se em consideração as dimensões das cicatrizes de movimentos de massas identificadas nos trechos de falésias analisados. Ressalta-se que essa faixa deve acompanhar os recuos da falésia, ou seja, quando houver um movimento de massa deve-se recuar a faixa de risco.

**10 m tabuleiro.** Essa faixa foi definida da borda da escarpa em direção ao continente e se refere aos riscos de movimentos de massa comprometerem construções. É importante ressaltar que essa faixa deve acompanhar os recuos da falésia, ou seja, quando houver um movimento de massa deve-se recuar a faixa de risco.

**15 m tabuleiro.** Essa faixa foi definida da borda da escarpa em direção ao continente, quando há recobrimento de sedimentos muito friáveis, tipo de depósitos eólicos recobrimo a Formação Barreiras e pós-barreiras.” (Projeto Falésias, 2021).

Para a análise de risco, foram considerados o Índice de Perigo de Instabilidade, os tipos de uso do solo nas áreas de falésias, com ênfase na presença de construções, visitação turística, trânsito de pedestres na borda superior e na base das escarpas, estradas próximas, o diagnóstico dos mecanismos de ruptura das falésias, além da incidência de ondas e o recuo da linha de borda de falésia para o período entre 2002 e 2024, baseados em imagens de sensoriamento remoto de resolução espacial alta, desenvolvida na etapa anterior.

A partir da compilação dessas informações, especializadas em mapas diagnósticos, foi elaborado o mapa de risco a movimentos gravitacionais de massa, contendo a setorização de áreas definidas como de risco alto (R3) e risco muito alto (R4) (Quadro 3) e com destaque para trechos considerados de desastre iminente devido à conexão entre vários dos critérios em um único local. A definição do risco seguiu as orientações gerais para classificação dos graus de risco a movimentos de massa de Lana, Jesus e Antonelli (2021), bem como os apontamentos do Projeto GIDES (2018) e pelo Projeto Falésias (2021). Para isso, foram consideradas as particularidades dos processos erosivos de escarpas costeiras, sua importância paisagística e econômica, além dos tipos de uso.

Quadro 3 - Orientações gerais para classificação dos graus de risco a movimentos de massa, erosões, subsidência, solapamento ou colapso, movimentação de dunas, expansão e contração de argilas (Modificado de Ministério das Cidades & IPT, 2007).

Risco	Descrição
Alto (R3)	<p>1. Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno etc.) e o nível de intervenção no setor são de ALTA POTENCIALIDADE para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos.</p> <p>2. Observa-se a presença significativa de sinais/feições/evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes etc.). Processo de instabilização em PLENO DESENVOLVIMENTO, mas ainda sendo possível monitorar a evolução do processo.</p> <p>3. Mantidas as condições existentes, é PERFEITAMENTE POSSÍVEL a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</p>
Muito Alto (R4)	<p>1. Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de muito ALTA POTENCIALIDADE para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos.</p> <p>2. Os sinais/feições/evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de deslizamento, feições erosivas, proximidade da moradia em relação a margem de córregos, etc.) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em AVANÇADO ESTÁGIO de desenvolvimento. É a condição mais crítica, sendo impossível monitorar a evolução do processo, dado seu elevado estágio de desenvolvimento.</p> <p>3. Mantidas as condições existentes, é MUITO PROVÁVEL a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</p>

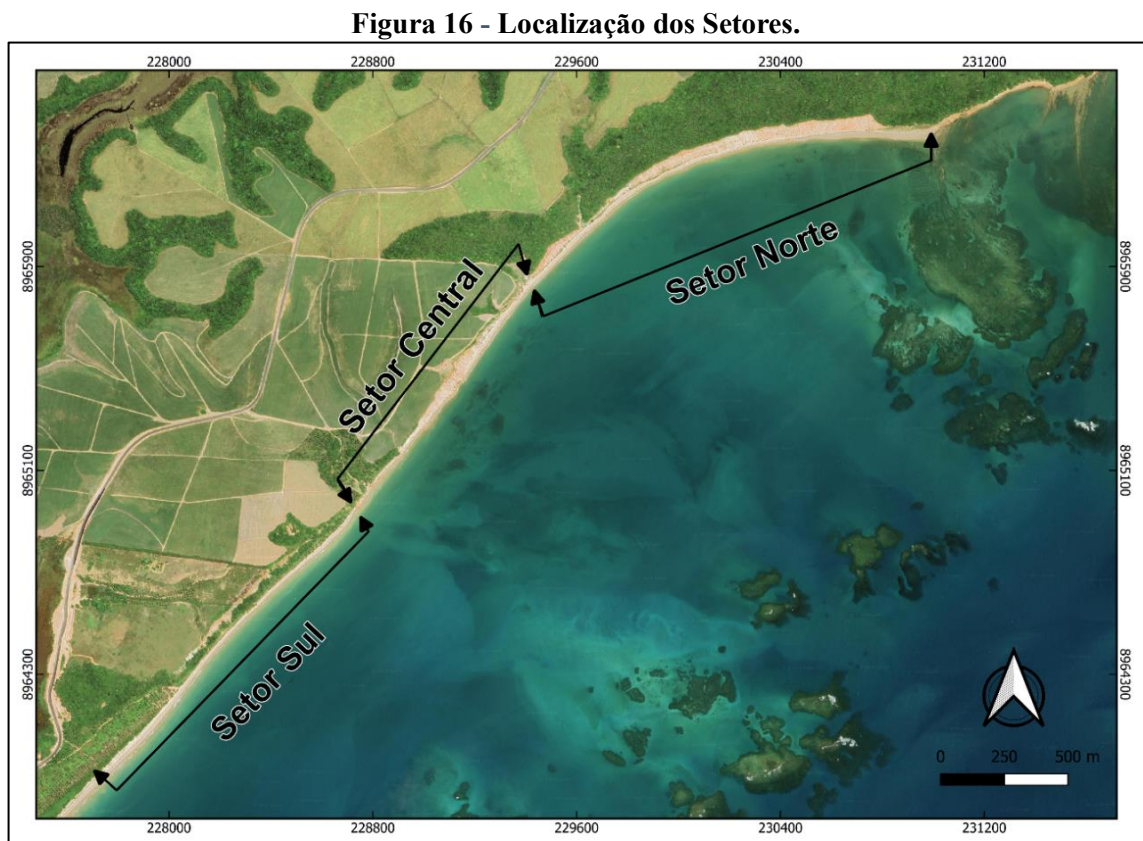
Fonte: Adaptado de Lana, Jesus e Antonelli (2021).

A definição de uma faixa de alto risco de 10 e 15 metros, medidas a partir da borda da falésia, fundamenta-se na avaliação da profundidade de voçorocas, fraturas, deslocamentos da escarpa, feições pré-colapso e cicatrizes de movimentos de massa (Projeto Falésias, 2021). A classificação de risco muito alto (R4) setores da orla marítima com menor ocupação residencial, caso da Praia de Carro Quebrado, se justifica pela constante circulação de pessoas e pelo uso intermitente das praias, conforme destacado por Silva *et al.* (2023).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização geomorfológica

Os resultados da caracterização geomorfológica foram organizados e apresentados de acordo com as características geomorfológicas e de estabilidade, identificados em campo, conforme ilustrado na figura 16. A análise possibilitou uma divisão em três setores distintos: Norte, Central e Sul, cada um com características que refletem as dinâmicas naturais e as condições ambientais da paisagem.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O Setor Norte apresenta falésias ativas, mas com maior estabilidade quando comparado ao Setor Central, é marcado pela presença da vegetação no seu topo e na escarpa, apesar de esparsa, quando comparado ao Setor Sul, o de cobertura vegetal mais densa. O topo dessas falésias possui vegetação arbórea de médio e grande porte (Figura 17). Os depósitos de sedimentos recentes, sobrepostos ao perfil, principalmente os que são abastecidos pelas falésias,

na forma de rampa de colúvio de sedimentos inconsolidados, são rapidamente removidos pela ação da hidrodinâmica marinha.

**Figura 17 - Vista panorâmica de sul para norte de área representativa do Setor Norte (A); Vista oposta à anterior, aqui de norte para o sul (B).**

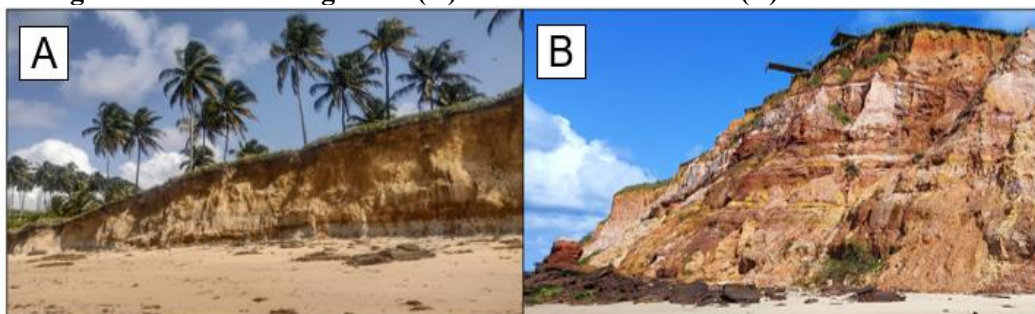


Fonte: Acervo do autor (2024).

No extremo norte deste setor, há falésias íngremes e densamente vegetadas em sua porção superior. Apesar da proteção vegetal nesse trecho, as falésias aqui também são ativas, sofrendo influência direta da abrasão marinha basal e também de fluxos superficiais, frente aos eventos pluviais mais intensos e duradouros. No entanto, nos trechos onde há a presença das rampas de colúvio, próximos ao Setor Central, essas atuam como fatores atenuantes da ação da abrasão marinha no sopé das encostas. Também podem ser encontrados trechos estruturados em folhelhos, litologias antigas litificadas, oferecendo maior resistência a base das falésias. Essas rochas estão restritas ao extremo norte do Setor Norte, resultantes de blocos arqueados tectonicamente na Bacia de Alagoas, litologias exumadas afloram na forma de *beach rocks*.

O Setor Central é caracterizado pela presença de falésias ativas, belezas cênicas e, conseqüentemente infraestrutura de acesso e lazer, com maior presença da atividade turística em toda Praia. A paisagem é composta por falésias íngremes e falésias escalonadas em degraus (Figura 18), patamares estruturais de controle litológico. Este é o setor que possui a maior instabilidade ao longo dos perfis morfológicos, em todo esse trecho é possível identificar marcas de deslizamentos recentes e antigos.

**Figura 18 - Falésias íngremes (A) e falésias escalonadas (B) no Setor Central.**



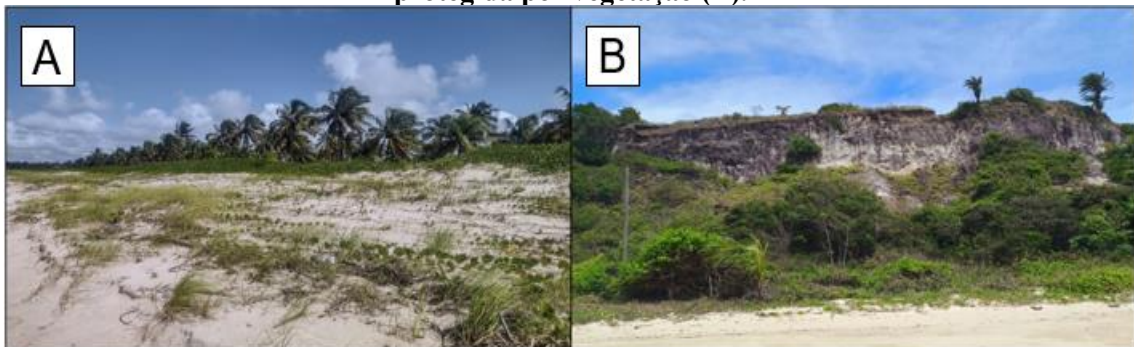
Fonte: Acervo do autor (2024).



Essas encostas possuem declividades acentuadas  $\geq 45^\circ$ , cobertura vegetal rala e esparsa em sua base e meia encosta, o que favorece a ação da abrasão marinha basal e processos superficiais de origem pluvial nas porções superiores. A erosão marinha não favorece a consolidação de rampas de colúvio, derivadas do empilhamento sedimentar, sua presença foi encontrada apenas em porções restritas. Isso se deve a ação marinha no período de preamar, que remove rapidamente esses depósitos inconsolidados, e mantém o ângulo abrupto nas escarpas (Projeto Falésias, 2021). Essas configurações favorecem a maior instabilidade no setor, criando os cenários, frente ao maior uso, para a exposição dos visitantes a perigos/riscos.

O Setor Sul é caracterizado pela predominância de paleofalésias, onde as encostas apresentam níveis mais elevados de estabilidade e cobertura vegetal adensada e de grande porte. As ondas não escovam o sopé dessas falésias e em todo setor é possível encontrar a presença de vegetação no topo, na face e na base dos perfis. A presença de vegetação densa e com sucessão ecológica na base dessas morfologias é um indicativo de que essas áreas não estão mais sofrendo com a ação da abrasão marinha, o que possibilita a deposição de areias e a formação de uma planície costeira de largura variável e com presença de dunas frontais, colonizadas por vegetação pioneira de restinga (Figura 19).

**Figura 19 - Dunas frontais com a presença de vegetação pioneira (A); Encosta do tabuleiro protegida por vegetação (B).**



Fonte: Acervo do autor (2024).

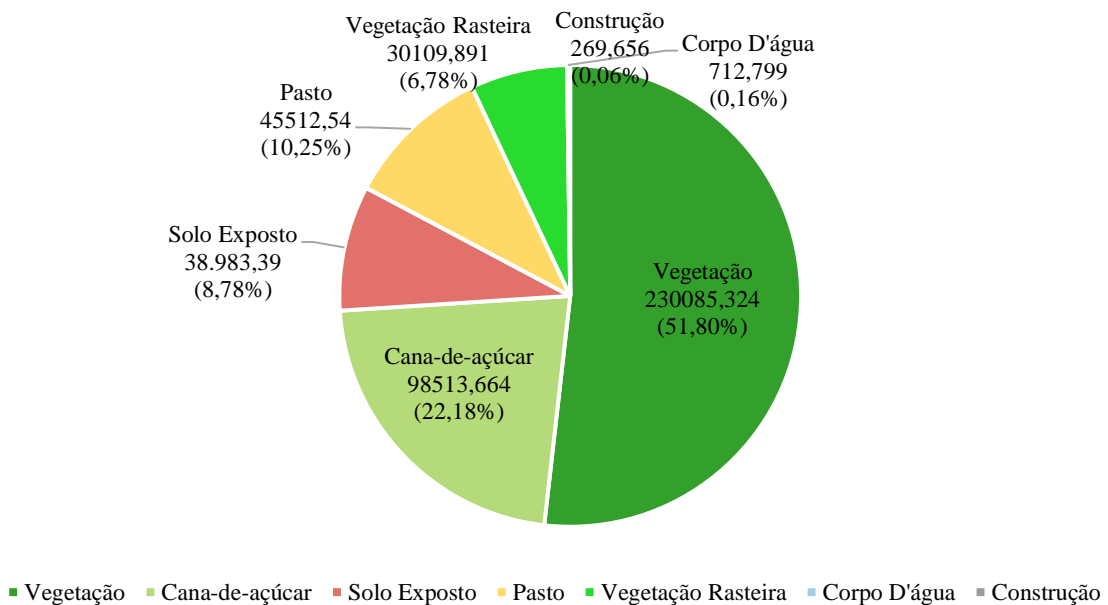
Este é o único trecho onde são encontrados setores praias escalonados, praia e pós-praia, bem definidos e com certo histórico de permanência na paisagem. Nessas unidades morfológicas há a presença de cobertura vegetal composta por gramíneas, salsa de praia, coqueiros, e algumas outras espécies arbóreas, nativas e exóticas. Ainda é possível encontrar a presença de dunas frontais, cobertas por vegetação pioneira incipiente, evidências de estabilização, mesmo que em processo inicial.

## 4.2 Mapeamento das formas de uso e ocupação das terras

De posse do mapeamento de uso e cobertura da terra do topo do tabuleiro costeiro bordado pelas falésias, foram analisadas as áreas próximas à crista das mesmas, com o objetivo de observar como os terrenos são ocupados em suas proximidades. O detalhamento da cobertura e uso da terra foi delimitado em distâncias de 10 metros, 33 metros, 50 metros e 100 metros da crista. Como resultado dessa análise, foram identificadas sete classes distintas de uso e cobertura das terras: vegetação, vegetação rasteira, cana-de-açúcar, pasto, solo exposto, construções e corpo d'água (Figura 20).

Na faixa de 100 metros analisada, Áreas de Preservação Permanente, os dados indicam uma predominância da classe vegetação, que ocupa 230.085,324 m<sup>2</sup>, correspondendo a 51,80% da área total (Gráfico 3). Esta prevalência é positiva no contexto de preservação ambiental, considerando a importância da vegetação nativa para a estabilidade dos solos, a mitigação da erosão e a manutenção da biodiversidade, conforme previsto no Código Florestal e no SNUC.

**Gráfico 3 - Uso e ocupação na faixa dos 100 metros.**



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

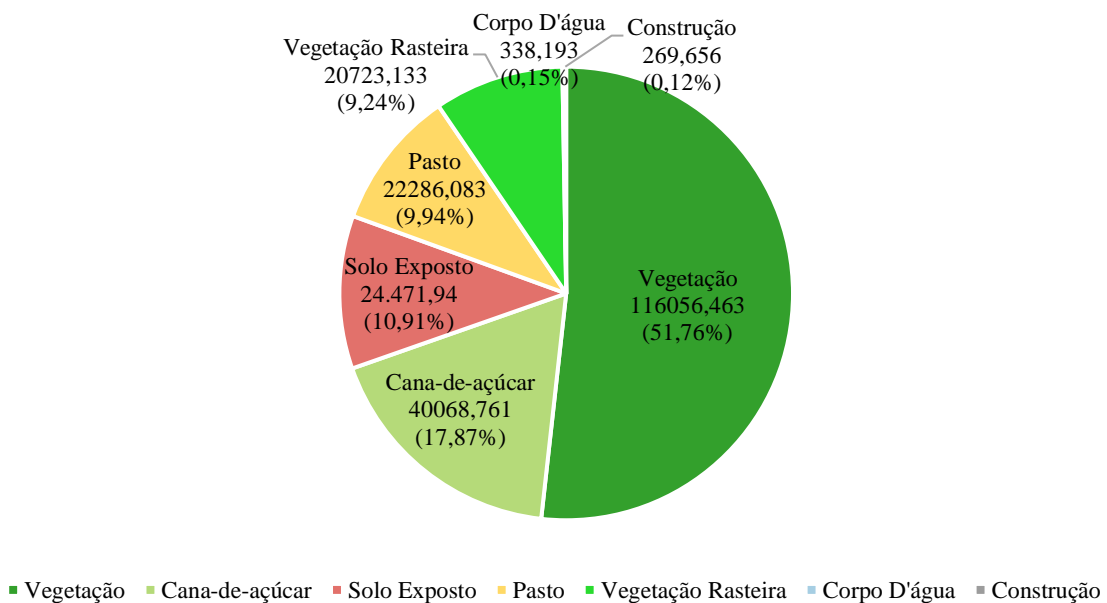
As práticas agrícolas também ocupam uma parcela significativa da área, com o cultivo de cana-de-açúcar (98.513,664 m<sup>2</sup>, ou 22,18%) e pastagem (45.512,54 m<sup>2</sup>, ou 10,25%). Esses usos representam potenciais conflitos de ocupação e ferem a legislação ambiental, uma vez que

ocorrem em APP, conforme os limites estabelecidos no Código Florestal (Lei nº 12.651/2012) e pela Resolução CONAMA nº 303/2002. No qual a faixa de 100 metros deve ser protegida para garantir a estabilidade geológica, a biodiversidade e a proteção do solo. A ocorrência dessas classes nessas áreas pode comprometer essas funções ao compactar o solo, reduzir a infiltração de água e aumentar os riscos de erosão, agravando os impactos ambientais.

O solo exposto, que corresponde a 38.983,39 m<sup>2</sup> (8,78%), é outro indicativo de vulnerabilidade ambiental, expondo a área a processos erosivos e possíveis movimentos de massa, situações intensificadas pela ausência de cobertura vegetal. As classes com menor área em m<sup>2</sup> na faixa dos 100 metros são: vegetação rasteira, ocupando 30.109,891 m<sup>2</sup> (6,78%), seguida pelos corpos d'água, com 712,799 m<sup>2</sup> (0,16%), e construções, que correspondem a 269,656 m<sup>2</sup> (0,06%). As construções existentes estão localizadas próximas à borda das falésias, onde a expansão dos usos pode intensificar a realização de cortes na encosta, comprometendo a estabilidade e agravando os riscos de colapsos e acidentes nesses locais.

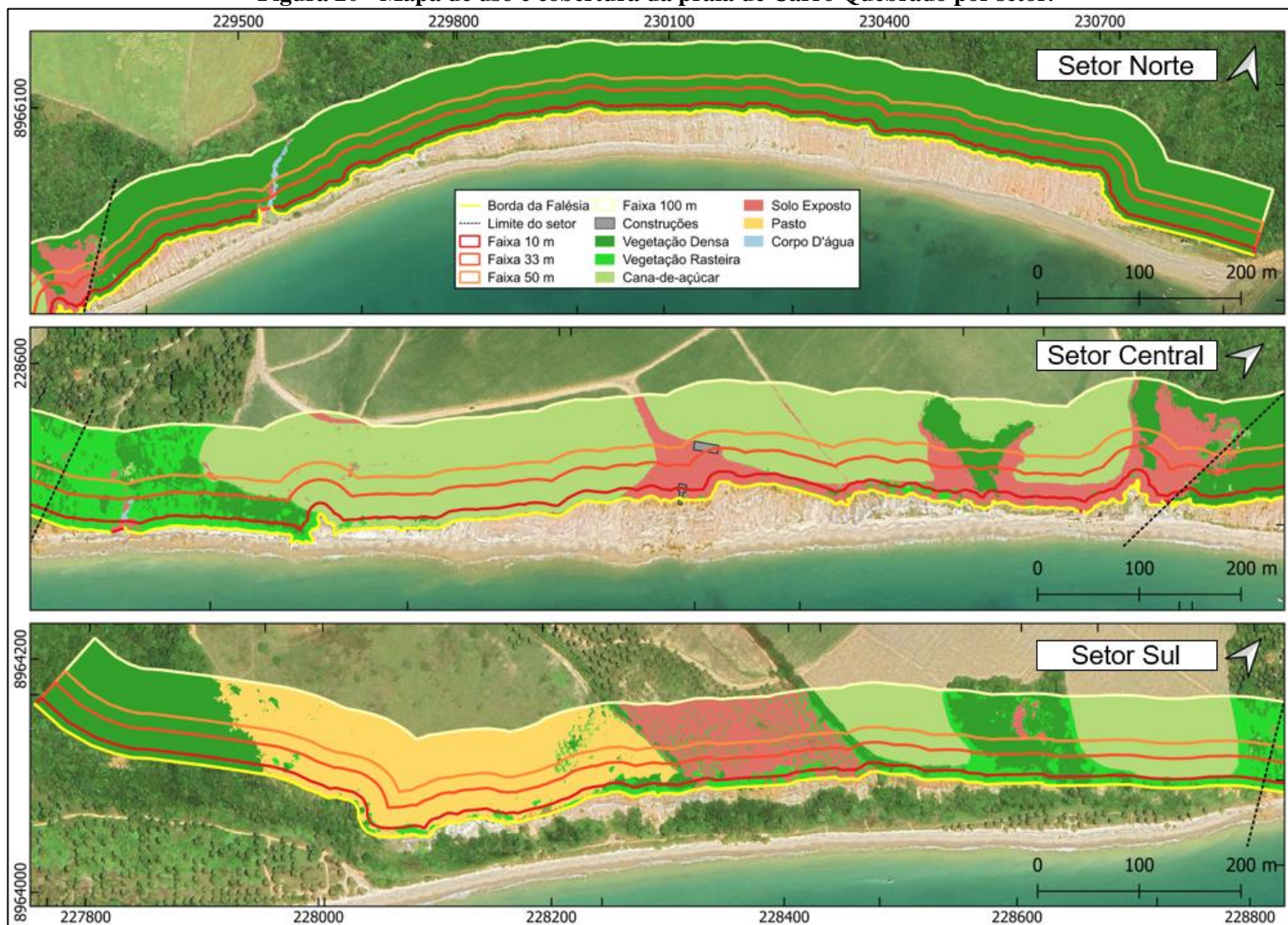
Na faixa de 50 metros também predomina as áreas de vegetação natural, totalizando 116.056,463 m<sup>2</sup>, o que corresponde a 51,76% do total (Gráfico 4). A predominância dessa cobertura tem sua importância para a estabilização de encostas e para a preservação de serviços ecossistêmicos, como a contenção de processos erosivos e o suporte à biodiversidade local.

**Gráfico 4 - Uso e ocupação na faixa dos 50 metros.**



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 20 - Mapa de uso e cobertura da praia de Carro Quebrado por setor.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

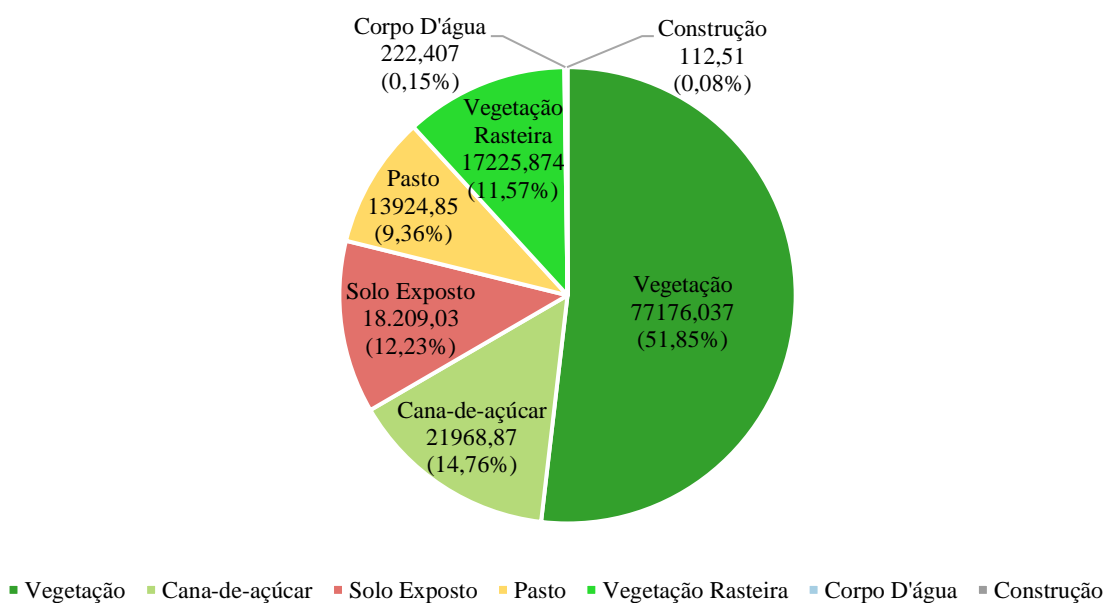


Nos 50 metros, a cultura de cana-de-açúcar ocupa 40.068,761 m<sup>2</sup>, equivalente a 17,87% da área, configurando-se como a segunda classe mais representativa. Esse dado reflete a continuidade de práticas agrícolas, mesmo em uma área ambientalmente sensível. O solo exposto, que totaliza 24.471,94 m<sup>2</sup> (10,91%), pode sinalizar processos de degradação, indicando necessidade de manejo adequado para minimizar impactos na faixa da orla marítima.

O pasto, representando 22.286,083 m<sup>2</sup> (9,94%), e a vegetação rasteira, com 20.723,133 m<sup>2</sup> (9,24%), compõem outras classes significativas. Essas categorias, relacionadas à agropecuária e formações vegetais de menor porte, desempenham papéis específicos no contexto ecológico e socioeconômico da área. As classes menos expressivas incluem corpos d'água, que somam 338,193 m<sup>2</sup> (0,15%), e áreas de construção, totalizando 269,656 m<sup>2</sup> (0,12%). Esses números refletem uma ocupação mínima na faixa, reforçando seu caráter predominantemente natural e rural.

A análise dos terrenos de marinha, faixa de 33 metros, revela uma dinâmica significativa em termos de cobertura do solo, com diferentes atividades e características ambientais presentes (Gráfico 5). A classe vegetação ocupa a maior parte dessa faixa, totalizando 77.176,037 m<sup>2</sup>, o que corresponde a 51,85% da área, indicando que a vegetação nativa ainda desempenha um papel importante na manutenção da integridade ecológica. Esta classe de uso do solo é essencial para a proteção contra a erosão e a preservação da biodiversidade local, sendo fundamental em áreas de falésias.

**Gráfico 5 - Uso e ocupação na faixa dos 33 metros.**



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Porém, outras classes de uso também merecem atenção. A cana-de-açúcar ocupa 21.968,87 m<sup>2</sup>, o que corresponde a 14,76% da área, indicando que a atividade agrícola exerce um impacto considerável na área, substituindo a vegetação natural e podendo afetar negativamente o equilíbrio ecológico local, especialmente nas proximidades das falésias, onde a estabilidade do solo é crucial. A presença dessa atividade econômica não deveria estar presente nessa faixa, uma vez que os terrenos de marinha compreendem Patrimônio da União e não deveriam ser utilizados sem a devida autorização da União.

O solo exposto soma 18.209,03 m<sup>2</sup>, o que equivale a 12,23% da área, e é uma preocupação, pois essas áreas são mais suscetíveis à erosão e podem agravar os processos de degradação do solo em terrenos de falésias. O pasto ocupa 13.924,85 m<sup>2</sup>, o que representa 9,36% da área, o que também pode contribuir com a degradação do solo, embora com menos impacto do que as áreas de solo exposto, mas ainda assim representando uma forma de uso do solo que altera a vegetação original e pode contribuir para o aumento da erosão. Estando também essa última classe de uso em discordância com a Legislação que disciplina os terrenos de marinha.

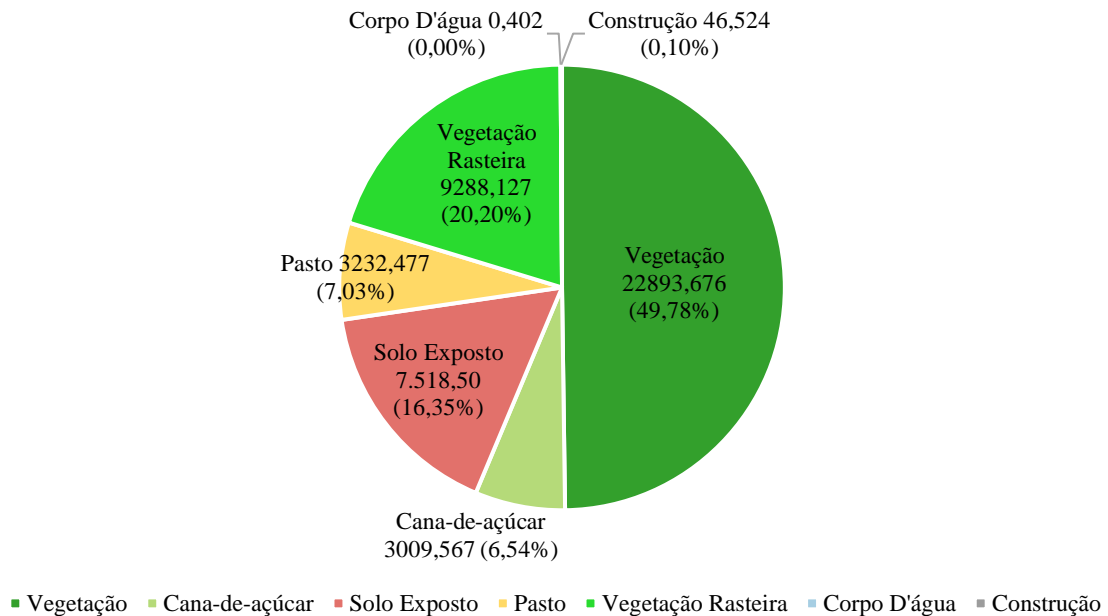
A vegetação rasteira, com 17.225,874 m<sup>2</sup>, representa 11,57% da área, e embora tenha um papel na cobertura do solo, sua capacidade de proteger contra a erosão é limitada. A presença de corpos d'água, com 222,407 m<sup>2</sup> ocupa 0,15% da área. Essas áreas podem interagir diretamente com os processos erosivos, especialmente nas bordas das falésias, impactando a dinâmica do relevo e a estabilidade do solo. A classe construção, com 112,51 m<sup>2</sup>, ocupa 0,08% da área, refletindo uma taxa limitada nas proximidades das falésias, mas que pode ter um potencial de expansão.

A análise da faixa de 10 metros, que corresponde às áreas de maior risco devido à constante erosão nas falésias, revela uma distribuição de uso e ocupação do solo que reflete as características ambientais mais vulneráveis dessas regiões (Gráfico 6). A vegetação ocupa 22.893,676 m<sup>2</sup>, o que representa 49,78% da área, estando pela primeira vez em uma taxa menor que 50%. A vegetação nessa faixa desempenha um papel fundamental na proteção contra a erosão, especialmente considerando a proximidade das falésias e a necessidade de estabilidade do solo.

A cana-de-açúcar, com 3.009,567 m<sup>2</sup>, ocupa 6,54% da área, o que representa uma menor presença em relação às faixas mais largas, mas ainda assim reflete uma prática agrícola que pode contribuir para a degradação do solo e a intensificação dos processos erosivos. O solo exposto, somando 7.518,50 m<sup>2</sup> (16,35%), é uma das classes mais preocupantes dessa faixa. O solo exposto em áreas tão próximas às falésias é altamente suscetível à erosão, sendo uma das principais causas

de desestabilização do solo nessas regiões, especialmente durante períodos de chuvas fortes ou ventos.

**Gráfico 6 - Uso e ocupação na faixa dos 10 metros.**



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

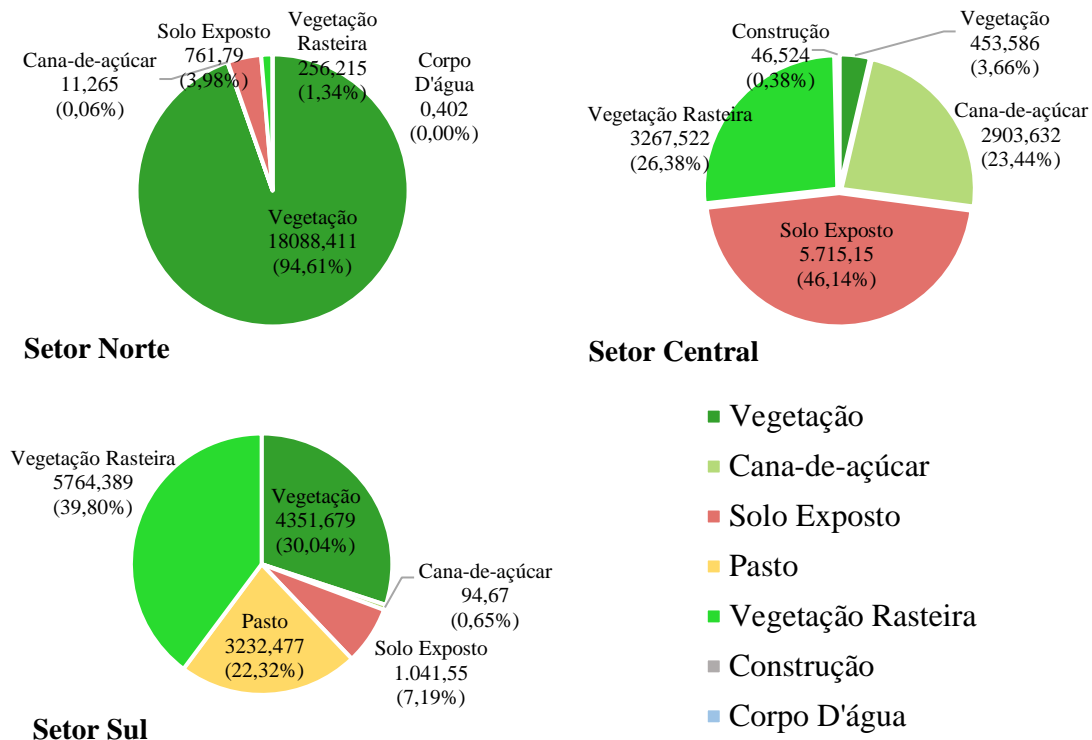
O pasto ocupa 3.232,477 m<sup>2</sup>, correspondendo a 7,03% da área, sendo uma classe de uso do solo que também está ligada ao processo de degradação, uma vez que a pastagem tende a substituir a vegetação nativa e comprometer a cobertura do solo, aumentando a vulnerabilidade à erosão. A vegetação rasteira, com 9.288,127 m<sup>2</sup>, representa 20,20% da área. Embora a vegetação rasteira possa ajudar a minimizar os efeitos da erosão, a mesma possui uma capacidade de proteção limitada, principalmente em áreas sujeitas a processos erosivos intensos, como as bordas de falésias. O corpo d'água, com 0,402 m<sup>2</sup>, não impacta significativamente os processos de erosão, mas pode indicar pequenas acumulações de água que interagem com o relevo.

Por fim, as construções ocupam 46,524 m<sup>2</sup>, correspondendo a 0,10% da área, essa ocupação está correlacionada com a construção de edificações, no mirante de Carro Quebrado, para o atendimento ao setor turístico na área. Essa taxa apesar de pequena em relação aos demais usos, pode representar riscos mais elevados, principalmente quando associada a falta de controle e gestão da atividade turística na área.

Assim, por ser a faixa de maior risco, se faz necessário uma análise detalhada dessa faixa para cada setor. A análise comparativa entre os setores norte, central e sul da faixa dos 10 metros revela algumas diferenças importantes nas classes de uso e ocupação do solo (Gráfico 7). Essa

comparação pode ser feita considerando a área de cada classe, a sua porcentagem dentro de cada setor e como esses dados se relacionam com a dinâmica de cada região.

**Gráfico 7 - Uso e ocupação na faixa dos 10 metros por setor.**



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O uso e cobertura da área dos 10 metros do setor norte é composto majoritariamente pela classe vegetação, que corresponde a 94,61% da área total, com uma área de 18.088,411 m<sup>2</sup>. A vegetação rasteira apresenta uma área de 256,215 m<sup>2</sup>, representando apenas 1,34% do total da faixa. A área de solo exposto é pequena (761,79 m<sup>2</sup>, 3,98%), concentrados nas bordas das falésias, geralmente sendo produtos de movimentos de massa. Desta forma, esse é um setor dominado por cobertura vegetal, com pouca intervenção humana direta, dado que a classe cana-de-açúcar representa apenas 0,06% da área, com 11,265 m<sup>2</sup>.

Em suma, no setor norte a faixa de 10 metros demonstra uma predominância de vegetação, com uma pequena presença de solo exposto e uso agrícola, configurando-se como uma área com um certo nível de proteção natural contra os processos erosivos em seu topo. A vegetação, em especial, desempenha um papel crucial para a estabilidade dessa área, ajudando a minimizar os impactos da erosão que afeta as falésias na área.

Já o setor central tem uma distribuição mais diversificada de classes de uso e ocupação. A vegetação representa uma proporção pequena, com apenas 3,66% (453,586 m<sup>2</sup>), contrastando com

o setor norte. A cana-de-açúcar tem uma proporção considerável, com 2.903,632 m<sup>2</sup>, representando 26,38% da área total, o que indica a maior presença dessa monocultura. A classe do solo exposto também tem uma área relevante, com 5.715,15 m<sup>2</sup>, representando 46,14%, o que pode sugerir maior vulnerabilidade à erosão, em comparação ao setor norte, onde essa classe é menor.

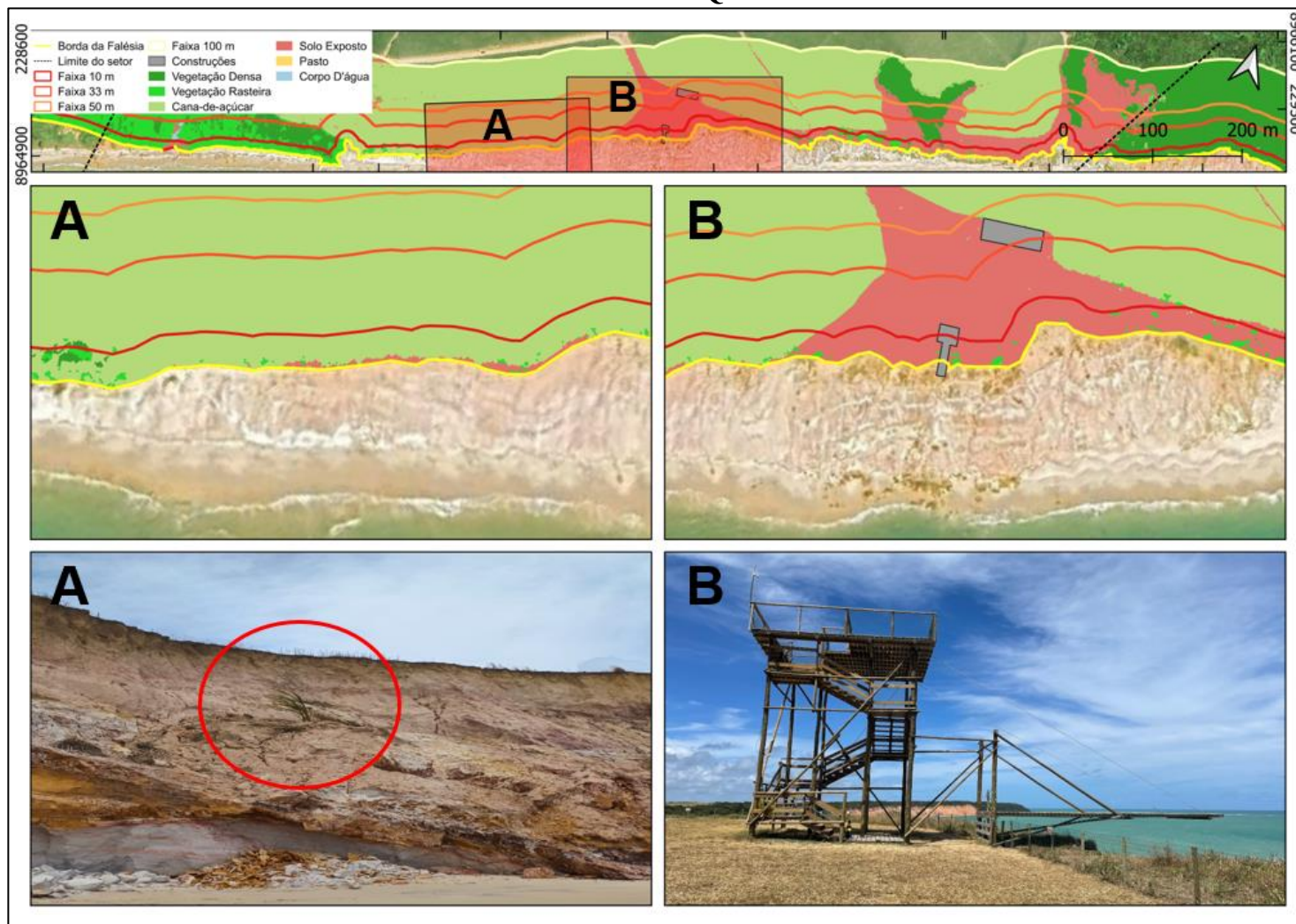
A grande presença das classes de solo exposto e cana-de-açúcar no setor central é um indicativo de que essas áreas são mais impactadas por atividades humanas, além de serem mais vulneráveis suscetível à erosão. Em campo é possível observar vários trechos onde as plantações de cana-de-açúcar já são afetadas pela erosão e o conseqüente recuo da borda destas falésias (Figura 21, ponto A). Também é nessa área que se concentra a taxa de construção no topo das falésias, a estrutura do mirante, que eleva consideravelmente os riscos para os frequentadores da área (Figura 21, ponto B).

Em síntese, o setor central da faixa de 10 metros apresenta uma configuração preocupante, com uma predominância de solo exposto e uso agrícola. A vegetação, embora presente, é reduzida em comparação com outras áreas, e a alta porcentagem de solo exposto, junto com o cultivo de cana-de-açúcar, pode aumentar significativamente os riscos de erosão, instabilidade do solo e conseqüentes movimentos de massa. A presença de vegetação rasteira, embora benéfica, não é suficiente para contrabalançar os impactos negativos dessas práticas.

O setor sul apresenta um padrão semelhante ao setor central no que diz respeito ao uso da vegetação rasteira, que ocupa a maior parte da área (com 5.764,389 m<sup>2</sup>, ou 39,80%). A classe vegetação, por sua vez, ocupa apenas 30,04% da área (4.351,679 m<sup>2</sup>). O solo exposto também é relevante, com 1.041,55 m<sup>2</sup> (representando 7,19%). A cana-de-açúcar aparece em uma área muito pequena, 94,67 m<sup>2</sup>, 0,65%.

O grande diferencial nesse setor é a classe pasto, que é a segundo mais representativa. Essa classe apresenta uma área de 3.232,477 m<sup>2</sup>, correspondendo a 22,32% do total. Esses dados refletem a distribuição do uso e ocupação do solo na faixa de 10 metros do setor sul, destacando que a vegetação rasteira é a classe predominante, seguida pelo pasto e a vegetação. A cana-de-açúcar e o solo exposto ocupam áreas menores, com a classe cana-de-açúcar apresentando a menor proporção.

**Figura 21 - Classes em destaques no setor central, (A) retração da borda com plantio de cana-de-açúcar, (B) destaque para a construção no mirante de Carro Quebrado.**



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Desse modo, a comparação entre os setores na faixa de 10 metros revela diferenças notáveis nas configurações de uso e ocupação do solo. Sendo o setor norte dominado por vegetação natural, indicando maior preservação ambiental. O setor central destaca-se pelo solo exposto e cana-de-açúcar, refletindo maior impacto humano e vulnerabilidade à erosão no topo das falésias. No setor sul, predomina a vegetação rasteira, sugerindo a presença de cobertura vegetal secundária e de pastagens, com dinâmicas distintas de ocupação das terras.

A intervenção e gestão adequadas dessas áreas, com foco na recuperação da vegetação nativa e na contenção de práticas que agravam a erosão, são essenciais para mitigar os impactos ambientais, principalmente no setor central, e garantir a estabilidade das falésias na faixa de risco. A pequena taxa da classe de construções nas faixas analisadas pode estar associada a sobreposição de leis convergentes na proteção de falésias, contra ocupações indevidas e usos diretos dos recursos, que impossibilitam novas ocupações e adequam as existentes aos objetivos das Unidades de Conservação (UC) e APPs (Câmara; Silva, 2021). Ainda conforme os autores, a influência das UCs tem dificultado a expansão da ocupação irregular das terras e limitando a especulação imobiliária em APPs de falésias, sendo reforçada pela presença e aplicação de documentos normativos como o Projeto Orla e o Plano de Manejo.

Diante desses resultados, é fundamental fortalecer a aplicação da legislação ambiental, assegurando a proteção das APPs e das áreas costeiras. Além disso, recomenda-se a recuperação de áreas degradadas, priorizando o reflorestamento com espécies nativas para estabilizar os solos e reduzir a suscetibilidade a processos erosivos. O planejamento adequado do uso e ocupação do solo é igualmente crucial, devendo limitar práticas de alto impacto, como agricultura intensiva e construções, principalmente nas proximidades da borda das falésias. Por fim, é essencial promover ações de educação ambiental para sensibilizar a população local quanto à importância da preservação dessas áreas, reforçando seu valor paisagístico, ecológico, econômico e social.

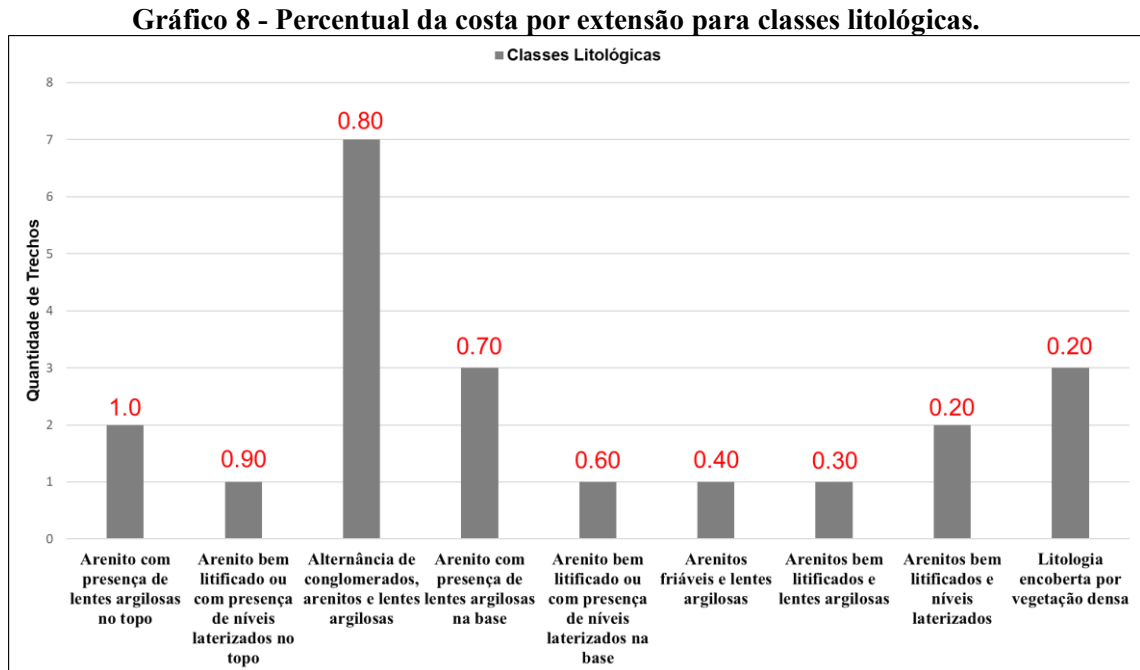
### 4.3 Susceptibilidade aos movimentos de massa

#### 4.3.1 Índice de Perigo de Instabilidade

A análise da litologia, nos pontos observados, indicou que mais de 30% dos trechos são compostos por arenito com presença de lentes argilosas no topo, sendo atribuída as mesmas uma pontuação de 1. Arenito bem litificado ou com presença de níveis laterizados no topo, com pontuação de 0,9, cobre 11% dos pontos analisados. Outras litologias, como a alternância de



conglomerados, arenitos e lentes argilosas (pontuação de 0,8), abrangem 35% das unidades estudadas. Litologias com pontuação de 0,2, como arenitos bem litificados e níveis laterizados, e litologia encoberta por vegetação densa, representam 15% das amostras, enquanto outras combinações de arenitos friáveis e lentes argilosas, com pontuação de 0,3 e 0,4, correspondem a menos de 10% da área estudada (Gráfico 8 e Figura 22).



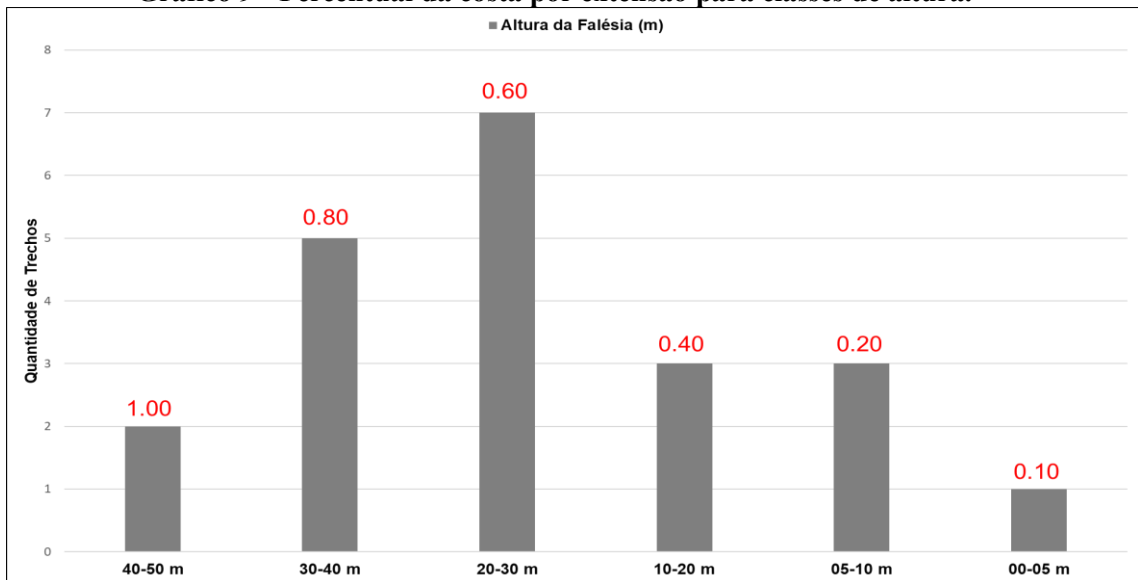
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Cerca de 35% dos trechos estudados possuem altura média entre 20-30 metros acima do nível do mar, com pontuação de 0,6. As segunda e terceira classes mais frequentes estão nas faixas de 30-40 e 10-20 metros de elevação, correspondendo a 25% e 15% dos trechos, com pontuações de 0,8 e 0,4, respectivamente. Classes com elevações extremas na área, como 40-50 metros e 0-5 metros, são menos representadas, correspondendo a cerca de 10% e 5% dos trechos, com pontuações de 1 e 0,1 (Gráfico 9).

Em relação às inclinações, os trechos na Praia de Carro Quebrado foram alocados em apenas duas classes. Com a maioria dos trechos (67%) pertencendo à classe mais íngreme, de 70-90 graus, com pontuação máxima de 1, enquanto 33% estão na faixa intermediária de 50-70 graus, com pontuação de 0,78 (Figura 22). No tocante a litologia, faz-se necessário entender que cada classe atribuída representa um conjunto litológico relacionado também com sua setorização geomorfológica como detalhado na Tabela 3.



Gráfico 9 - Percentual da costa por extensão para classes de altura.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

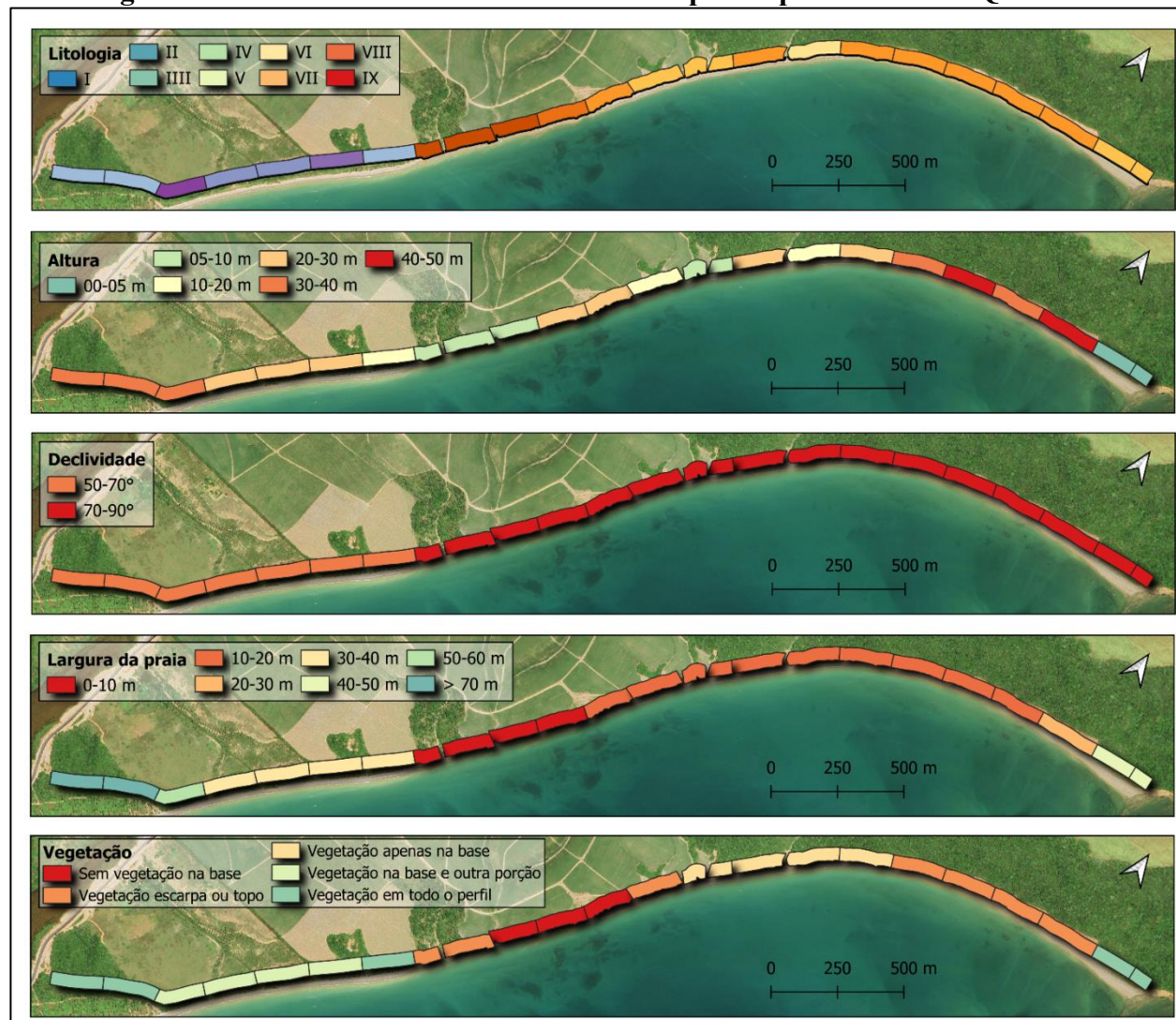
Na área de estudo cerca de 47% dos trechos apresentam larguras entre 10-20 m, com pontuação de -0,214, apresentando uma estabilidade moderada. Aproximadamente 16% dos trechos possuem larguras inferiores a 10 m, com pontuação de -0,071, representando as condições mais instáveis. Por outro lado, cerca de 11% dos trechos apresentam larguras superiores a 70 m, associadas à pontuação de -1, o que reflete uma maior estabilidade. As classes intermediárias, com larguras entre 20-60 m, correspondem a 26% das áreas estudadas, com pontuações variando de -0,357 a -0,786 (Figura 22).

Tabela 3 - Classes litológicas na área de estudo e suas pontuações atribuídas.

Categoria	Heterogênea					Homogênea			
	Resistência no topo		Resistente alternada ao longo do perfil	Resistente na base		Resistência Baixa	Resistência Alta		
Litologia na área de estudo	Arenito com presença de lentes argilosas	Arenito bem litificado ou com presença de níveis laterizados	Alternância de conglomerados, arenitos e lentes argilosas	Arenito com presença de lentes argilosas	Arenito bem litificado ou com presença de níveis laterizados	Arenitos friáveis e lentes argilosas	Arenitos bem litificados e lentes argilosas	Arenitos bem litificados e níveis laterizados	Litologia encoberta por vegetação densa
Classes	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	I
Pontuação	1.00	0.90	0.80	0.70	0.60	0.40	0.30	0.20	0.20

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

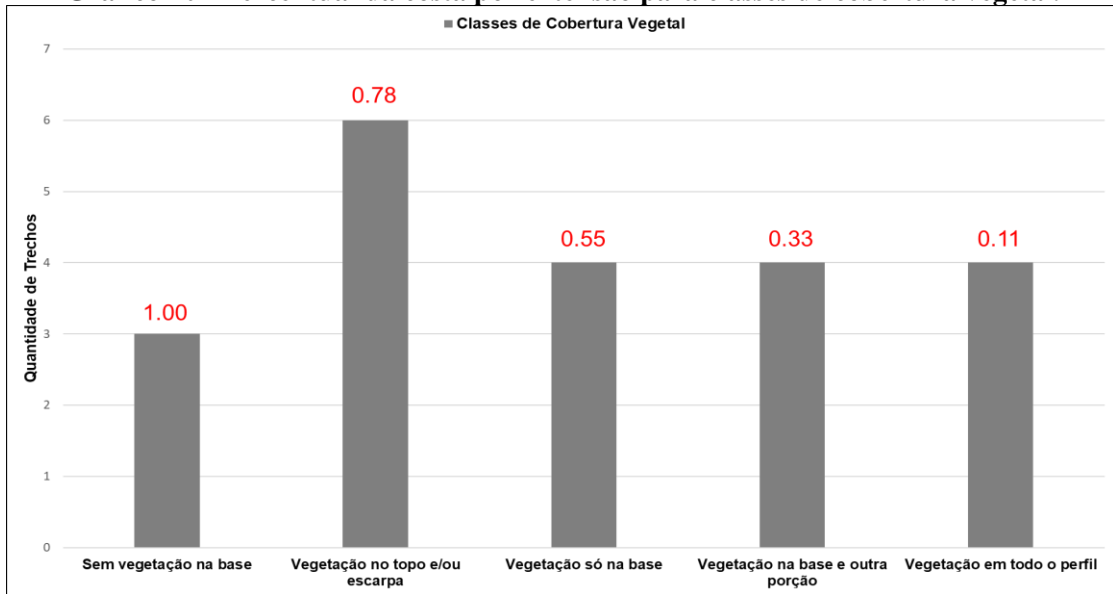
**Figura 22 - Zoneamento dos diferentes fatores para a praia de Carro Quebrado.**



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Com relação a distribuição da cobertura vegetal, 30% dos trechos estão em áreas com vegetação no topo e/ou escarpa, apresentando um grau moderado de instabilidade. As classes vegetação na base, parcialmente vegetada e vegetada, que representam 20% cada, estão associadas a diferentes níveis de instabilidade, sendo a vegetação na base, a menos estável, e a classe vegetada, indicando maior estabilidade. A classes sem vegetação na base, a classe mais instável, correspondeu a 15% dos trechos analisados na Praia (Gráfico 10).

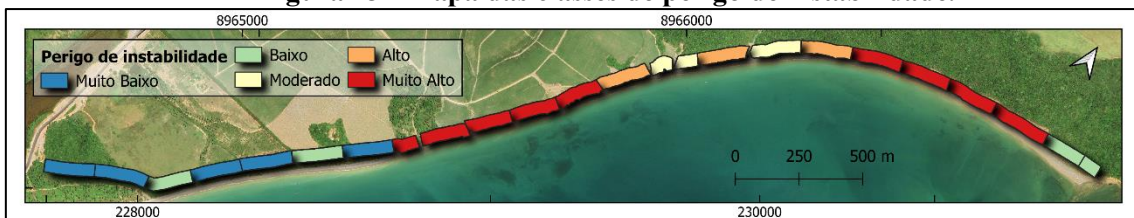
**Gráfico 10 - Percentual da costa por extensão para classes de cobertura vegetal.**



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Os valores obtidos a partir do cálculo do Índice de Perigo de Instabilidade (IHI) variaram entre 21,139 e 73,136. Desse modo, os valores foram organizados em cinco classes de perigo com intervalos iguais: muito baixo ( $IHI \leq 31,54$ ), baixo ( $31,54 < IHI \leq 41,94$ ), moderado ( $41,94 < IHI \leq 52,34$ ), alto ( $52,34 < IHI \leq 62,74$ ) e muito alto ( $IHI > 62,74$ ). Com base nessas classificações, foi elaborado um mapa que representa o perigo de instabilidade das falésias na área de estudo. Os resultados indicam que mais da metade das costas analisadas apresenta índices classificados como alto e muito alto (Figura 23).

**Figura 23 - Mapa das classes de perigo de instabilidade.**



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A classe de perigo muito alto, associada às condições mais críticas de instabilidade, representa aproximadamente 34% da distância total analisada. Mais uma vez os setores central e norte se destacam, pois, a classe de perigo muito alta se concentra nesses setores. O setor central apresenta 16% (904.191 m), e o setor norte tendo 15% (836.821 m). A classe de perigo alto abrange 22% da extensão total (598.528 m), sendo mais predominante no setor norte, com 15% (399.202 m), e aparecendo também no setor central, com 7% (199.326 m), evidenciando risco elevado em várias partes da costa.

O perigo moderado representa cerca de 14% (401.070 m), distribuindo-se entre o setor central, com 7% (201.070 m), e o setor norte, com 7% (200.000 m). O perigo baixo soma 24% (640.869 m), destaque para o setor sul, com 15% (400.000 m), e uma menor extensão no setor norte, com 9% (240.869 m). A classe de perigo muito baixo é exclusiva do setor sul, totalizando 45% (1.200.000 m), refletindo maior estabilidade nessa área.

De acordo com o índice calculado de instabilidade (IPI), o setor sul apresenta as condições mais estáveis, enquanto os setores central e norte concentram os maiores níveis de instabilidade, correspondendo juntos a 70% da extensão com classes de alto ou muito alto risco. Todos os indícios de movimentos de massa, deslizamentos e quedas de blocos, identificados em campo estão localizados nestes setores, nos trechos onde os índices de instabilidade foram classificados como muito altos.

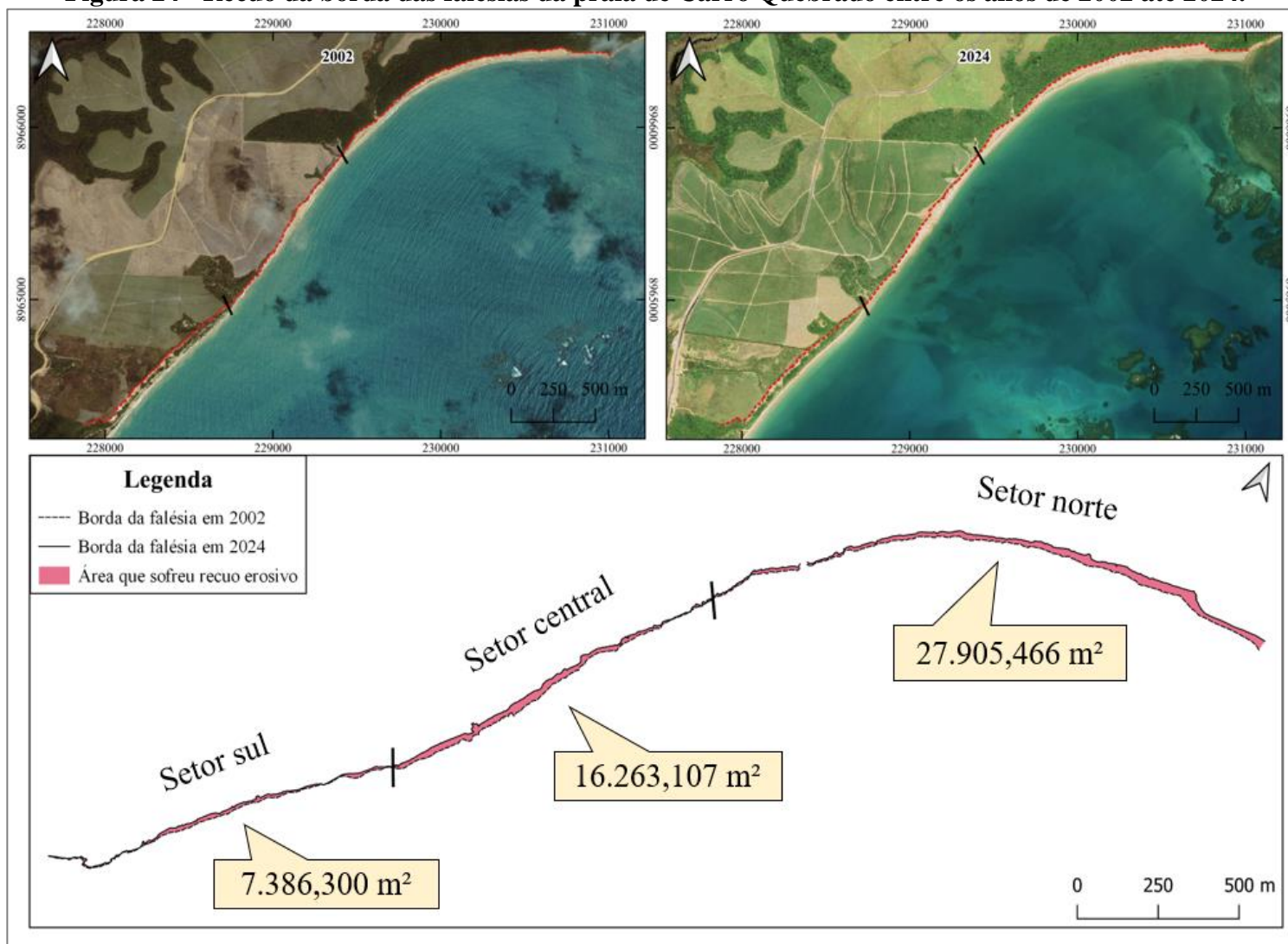
#### 4.3.2 Taxa de recuo das falésias

A análise dos resultados mostra que houve recuo da borda das falésias, com intensidades diferentes para a retrogradação em cada setor (Figura 24). A taxa média anual de retração foi de 1268,43 m<sup>2</sup> para o setor norte; 739,23 m<sup>2</sup> no setor central e; 335,74 m<sup>2</sup> no setor sul. Essa diferenciação da taxa de recuo é correlacionada a capacidade de modelagem em cada setor e a resistência litológica dos materiais, ora mais atacados por processos basais, ora por processos superficiais, refletindo as variações significativas no impacto dos processos erosivos.

A Tabela 4 apresenta as métricas totais da área e as específicas de cada setor, a partir da aquisição e tratamento dos produtos de sensoriamento remoto com uso de *SIG* entre 2002 e 2024, revelando um total de 51.554,873 m<sup>2</sup> de retração nos 4,100 m de comprimento da borda de falésia analisados. Os resultados médios calculados para os três setores mostram uma média anual de retração de cerca 2.343,4 m<sup>2</sup>, sendo o setor norte o de maior contribuição para os valores médios aqui apresentados.



**Figura 24 - Recuo da borda das falésias da praia de Carro Quebrado entre os anos de 2002 até 2024.**



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Tabela 4 - Métricas por Setor.

Variáveis	Setor Norte	Setor Central	Setor Sul	Total
Extensão em metros da Linha de borda da falésia	1827 m	1120 m	1,153 m	4100 m
Percentual	44.56%	27.32%	28.12%	100%
Área de retração das falésias em m <sup>2</sup>	27905,466 m <sup>2</sup>	16263,107 m <sup>2</sup>	7386,3 m <sup>2</sup>	51554,873 m <sup>2</sup>
Percentual da retração da área	54.13%	31.55%	14.33%	100%
Taxa Média Anual de Recuo da falésia	1268,43 m <sup>2</sup>	739,23 m <sup>2</sup>	335,74 m <sup>2</sup>	2343,4 m <sup>2</sup>

Fonte: Autor (2024).

O setor norte possui uma extensão de aproximada 1,827 km, caracterizado pela conservação da cobertura de vegetação nativa, formações pioneiras da Mata Atlântica. Também apresenta a menor concentração de formas de uso, dentre os três setores analisados. No entanto, foi o setor que apresentou o maior recuo da borda da falésia, cerca de 127.905,466 m<sup>2</sup>, o que corresponde a cerca de 54,13% de todo o recuo calculado para a área.

As falésias nesse setor são do tipo ativas, as quais sofrem abrasão marinha ao longo da maior parte do ano, o que explica as mais altas taxas de retração de suas bordas. Além disso, ao longo dos perfis de exposição, essas encostas apresentam evidências de cicatrizes erosivas e a ausência de depósitos basais e rampas de colúvio, bem como, menor cobertura vegetal. Apresentam maior ângulo de inclinação, acima dos 45°, o que potencializa o escoamento superficial e, conseqüentemente, os processos morfodinâmicos atuantes na área.

A forma íngreme das falésias, nesse setor, mostra a maior influência da abrasão marinha em detrimento a erosão pluvial no topo, bem como, a menor eficiência da cobertura vegetal na proteção das morfologias. A presença de vegetação arbórea de médio e grande porte no topo também contribui para o seu maior recuo, sobrecarregando as bordas em períodos chuvosos, ajudando no desencadeamento de movimentos gravitacionais, contribuindo com lubrificação e infiltração de fluidos superficiais (Projeto Falésias, 2021; Lima; Maia, 2023).

O setor central, segunda área analisada, apresenta a menor extensão, cerca de 1,120 km, configurando como menor deles, possui a maior pressão antrópica, com presença de estruturas voltadas ao turismo de lazer e plantio de cana-de-açúcar. Durante os anos de análise, essa área recuou 16.263,107 m<sup>2</sup>, o que equivale a 31,55% do total de retração e corresponde a uma taxa de recuo médio de 739,23 m<sup>2</sup> ao ano.

Caracterizado pela presença de falésias ativas, belezas cênicas e, conseqüentemente, infraestrutura de acesso e lazer, há uma maior presença da atividade turística ao longo de toda a praia. A paisagem é composta por falésias íngremes e falésias escalonadas em degraus,

patamares estruturais de controle litológico. As encostas possuem declividades acentuadas  $\geq 45^\circ$ , cobertura vegetal rala e esparsa, em sua base e meia encosta, o que favorece a ação da abrasão marinha e processos superficiais de origem pluvial e fluvial, pequenos riachos efêmeros que alimentados por canais de drenagem das plantações circundantes.

A erosão marinha não favorece a consolidação de rampas de colúvio, as quais são verificadas ao sul, derivadas do empilhamento sedimentar, possuindo apenas exemplares em porções restritas. Isso ocorre devido à ação marinha no período de preamar, especialmente quando das marés de sizígia, que remove rapidamente esses depósitos inconsolidados e mantendo o ângulo abrupto nas escarpas (Projeto Falésias, 2021). A erosão pluvial, em algumas canalizações de fluxo no topo do tabuleiro, também incide diretamente sobre as encostas, causando o desgaste desta e afetando sua estabilidade, resultando em pequenas incisões que evoluem para ravinamentos e voçorocamentos. Todos esses elementos favorecem e ajudam a explicar a maior instabilidade morfodinâmica e, conseqüentemente, o maior nível de retração dos taludes, quando comparado com o setor sul.

Este é o setor que mais apresenta risco para os visitantes devido à maior instabilidade das escarpas frente a maior presença de pessoas. Em todo o trecho, é possível identificar marcas de deslizamentos recentes e antigos, além de blocos invertidos, quando de maior resistência litológica. O aumento do nível de risco aos visitantes, neste setor, se deve as suas características processuais e a falta de planejamento, regulação e fiscalização no crescente turismo de sol e mar no Litoral Norte do estado de Alagoas.

O setor sul, terceira área analisada, possui aproximadamente 1,153 km, apresentou um recuo de 335,74 m<sup>2</sup>, correspondendo apenas a 14,33% do recuo total. As falésias desse setor foram as que apresentaram a menor taxa de recuo, isso mesmo possuindo uma extensão maior que o setor central. Essa menor taxa de retração em relação aos outros setores se deve ao fato de o setor sul se caracterizar por falésias mais vegetadas e paleofalésias. As escarpas das falésias inativas apresentam naturalmente níveis mais elevados de estabilidade, frente a suavização dos taludes e maior adensamento e eficiência da vegetação na proteção do solo.

Nesse setor, as ondas não escovam o pé das falésias e em todo o setor é possível encontrar a presença de vegetação no topo, na face e na base das falésias. A presença de vegetação basal constitui um indicativo de que essas áreas não estão mais sofrendo com a ação da abrasão marinha, o que possibilita a deposição de areias e a formação de uma planície costeira de largura variável e com presença de uma densa vegetação pioneira de restinga. Assim, a retração no setor sul se dá principalmente pela erosão pluvial no topo e ao longo da encosta.

As métricas mais elevadas identificadas nos setores norte e central são similares às taxas médias de retração anual observadas em outras falésias brasileiras, estruturadas na Formação Barreiras. Nas falésias de Areia Branca, município do Rio Grande do Norte, na porção noroeste, o recuo da borda da falésia foi de 31.634 m<sup>2</sup> entre os anos de 1984 a 2014, o que resulta em uma taxa de aproximadamente 1.054,47 m<sup>2</sup>/ano. Já na porção sudeste, o recuo foi de 78.060 m<sup>2</sup>, o que corresponde a uma taxa de 2.602 m<sup>2</sup>/ano. Os valores também são semelhantes à taxa média de recuo das falésias de Tibau do Sul, localizadas na porção centro-sul deste município, entre os anos de 1986 a 2014, que apresentaram um recuo total de 32.402 m<sup>2</sup>, o que resulta em uma taxa de retração média anual de 1.157,21 m<sup>2</sup>/ano (Camara, M. *et al*, 2019).

A alta taxa de erosão nessas falésias no Rio Grande do Norte foram associadas a diversos fatores, como a presença de material consolidado mais friável, que reage intensamente com a dinâmica dos processos costeiros desse ambiente. Como a escassez de vegetação, que contribui para uma erosão pluvial mais intensa e, a influência antrópica, como desmatamentos e a presença de construções, que potencializam ainda mais o processo de degradação nessas porções analisadas.

Nas falésias de Carro Quebrado, a taxa de recuo mais elevada nos setores norte e central pode estar associada à intensidade do impacto das ondas na base da falésia. Visto que, no setor norte, apesar de apresentar uma cobertura vegetal densa em seu topo, ele ainda registra a maior taxa de retração. A ausência de vegetação tanto na base da falésia quanto na escarpa favorece um maior impacto das ondas. Já no setor sul, onde a vegetação é mais marcante, sua presença ajuda a reduzir significativamente a erosão pluvial e também atua como uma feição natural de contenção contra o desmoronamento da borda dessas feições.

#### 4.4 Identificação e classificação dos riscos geomorfológicos

##### 4.4.1 Mecanismos de ruptura nas falésias

Durante os trabalhos de campo, foram identificadas diversas cicatrizes erosivas nas falésias, além de depósitos coluvionares associados a movimentos de massa, tanto recentes quanto antigos, evidenciando o recuo dessas estruturas. Os principais movimentos de massa observados foram deslizamentos planares e quedas de blocos, que se concentraram nos setores norte e central. No setor sul foram encontradas apenas cicatrizes erosivas no topo dessas falésias, o que evidencia uma maior prevalência de fatores erosivos pluviais.



No setor norte, a maior parte das falésias são ativas, sendo o trecho norte desse setor onde se encontram os maiores indícios de instabilidade (Figura 25), com diversos resquícios de deslizamentos e quedas de blocos (Figura 25, pontos I, II e V). Também é possível identificar cicatrizes de deslizamentos marcadas no perfil dos taludes (Figura 25, pontos II e IV). Sendo frequentes os deslizamentos, com acúmulo de depósitos de tálus carreando vegetação do topo da falésia. Grande parte desses deslizamentos é recente, uma vez que a vegetação presente nas áreas afetadas ainda apresenta pigmentação clorofílica preservada.

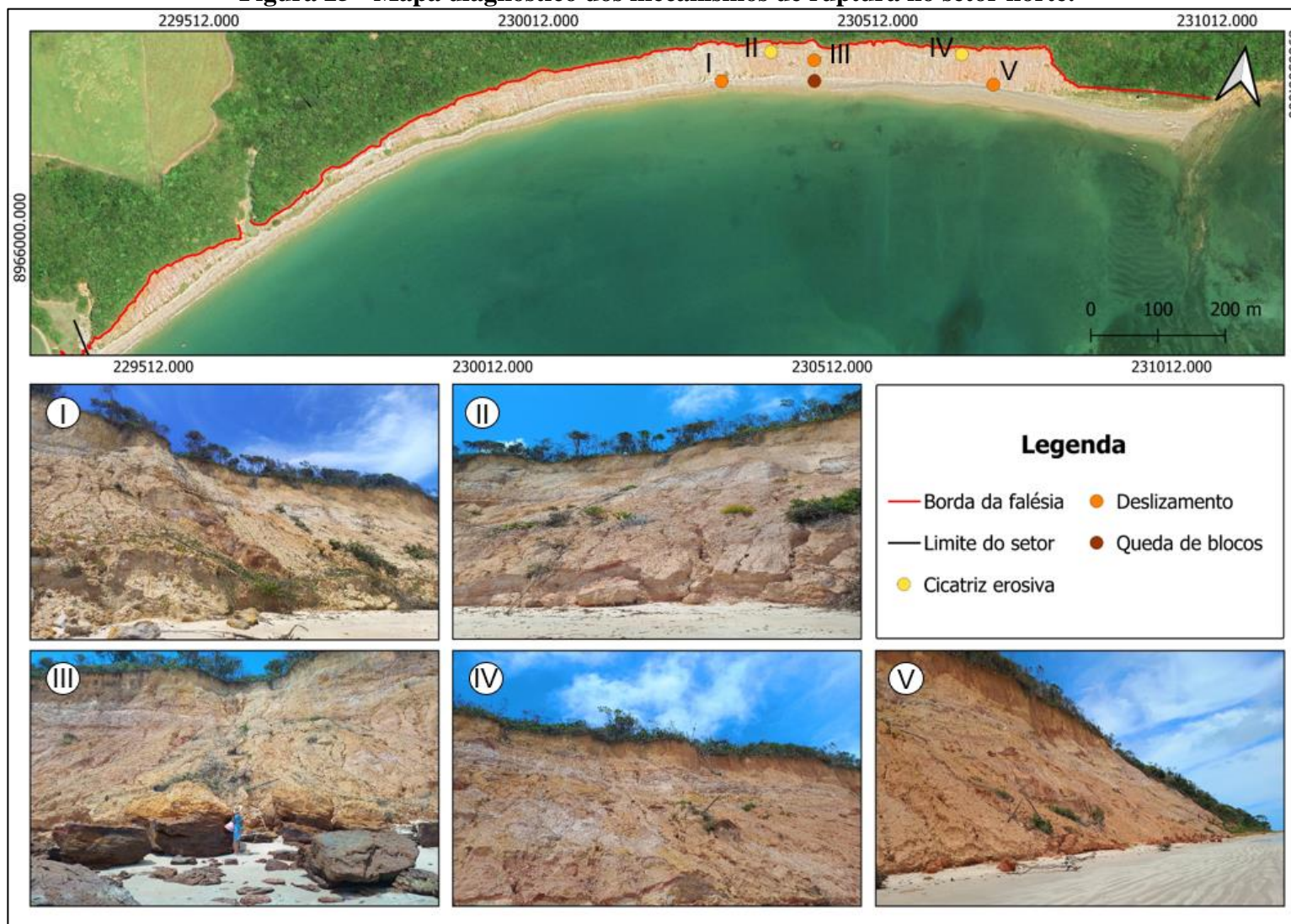
Após o desmoronamento, os sedimentos podem ser parcial ou totalmente removidos durante a maré alta subsequente, contribuindo para o suprimento sedimentar que mantém as praias. Durante o processo erosivo, causado tanto pelo impacto das ondas quanto pela ação da água da chuva, os sedimentos das litofácies mais friáveis são transportados pelas ondas, enquanto que os blocos de laterita maiores, ao se desprenderem, permanecem acumulados na base da falésia (Figura 25, ponto III).

Nos trechos mais estáveis do setor, próximo ao setor central, as ondas alcançam os depósitos gerados pelos movimentos de massa, onde se estabelece uma vegetação arbustiva, que contribui para sua proteção. O acúmulo desses depósitos atua como uma barreira natural, reduzindo a intensidade do impacto das ondas sobre as rochas da base das falésias e, conseqüentemente, contribuindo para uma maior estabilidade no trecho ao longo do tempo.

O Setor Central é caracterizado pela presença de intensa atividade morfodinâmica, resultando em movimentos de massa frequentes, com diversos pontos de deslizamentos e quedas de blocos identificados (Figura 27). Exemplos de quedas e deslizamentos de massa, recorrentes nesse setor, podem ser vistos na Figura 27, nos pontos I e III. Além disso, nesse setor, é comum a presença de fissuras, rachaduras e desagregação, que são conseqüências da intensificação dos processos denudacionais.

Os movimentos de massa identificados podem ser comparados aos de outras falésias no Brasil. No Rio Grande do Norte, os tipos mais comuns de erosão são escorregamentos, deslizamentos rotacionais ou translacionais, quedas de blocos, tombamentos/colapsos, fluxos de detritos e fluxos de terra (Camara et al., 2019). No Litoral Sul da Bahia, predominam deslizamentos translacionais, quedas de blocos, deslizamentos rotacionais e movimentos de massa mistos (Lima; Maia, 2023). A principal exceção são os fluxos de detritos, pois não foram identificados registros de sua ocorrência ou critérios topográficos.

**Figura 25 - Mapa diagnóstico dos mecanismos de ruptura no setor norte.**



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

No setor, observou-se a presença de diversas incisões basais, resultantes da ação das ondas que escavam a base das escarpas, formando colunas instáveis que contribuem para a ocorrência de novos movimentos de massa (Figura 27, pontos II e III). Durante a preamar, é comum a escavação da base das falésias pelas ondas, criando reentrâncias erosivas e, conseqüentemente, instabilidade, o que pode levar ao desmoronamento da face da falésia.

Nos trechos em que as falésias apresentam uma coloração mais avermelhada, maior presença de cimentação por óxido de ferro, é possível identificar, desde o topo até a base, a ocorrência de inúmeros sulcos e ravinamentos pervasivos no terreno, frequentemente associados a zonas de fraturas nas rochas, ocasionalmente resultando no desprendimento de blocos. Na parte superior da falésia, no ponto IV da figura 30, observa-se a presença de uma fenda de tração, um mecanismo de ruptura que facilita a queda de blocos e tombamentos, fortemente influenciado pela erosão pluvial. No trecho do mirante de Carro Quebrado, ocorrem depósitos de tálus, blocos de arenitos e conglomerados bem litificados cimentados por óxido de ferro, níveis laterizados da Formação Barreiras, que ajudam a reduzir o impacto das ondas no sopé das falésias ativas (Figura 27, pontos V).

Outro fator que intensifica os processos erosivos neste setor é o escoamento de água pluvial, algumas canalizações de fluxo, no topo do tabuleiro. Esses fluxos incidem diretamente sobre a encosta, causando o desgaste desta e afetando a sua estabilidade, ravinamentos e voçorocamentos. Foi possível identificar trechos onde a ação da atividade turística vem intensificando a ação da erosão pluvial (Figura 26).

**Figura 26 - Estrutura de acesso (A) e ravinamento em acesso à Praia (B).**



Fonte: Acervo do autor (2023).



Figura 27 - Mapa diagnóstico dos mecanismos de ruptura no setor central.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Esses fluxos superficiais vêm contribuindo para a formação de sulcos e ravinas no terreno, nas áreas de trilhas e corredores de acesso a praia e as edificações rústicas ligadas ao turismo de lazer, presentes no sopé das falésias, em uma planície costeira incipiente, estruturada em rampas de colúvio e bermas estreitas. Esses processos, a médio e longo prazos, podem ter efeitos significativos na paisagem e na dinâmica dos ecossistemas, afetando o turismo local.

O setor sul abrange as paleofalésias, caracterizando-se como o mais estável em relação aos demais setores. Nesse contexto, os fatores condicionantes dos movimentos de massa estão diretamente relacionados à ação da erosão pluvial. Assim, os movimentos de massa nesse setor são mais comuns durante os períodos chuvosos, uma vez que as chuvas impactam significativamente ao aumentar o grau de saturação na encosta, reduzindo a resistência ao cisalhamento e tornando o setor mais suscetível a rupturas nesses períodos (Lima; Maia, 2023; Silva *et al.*, 2020). No topo desse setor, foram identificadas cicatrizes erosivas (Figura 28, pontos I, II e IV), resultantes de processos erosivos intensificados pela ação pluvial.

Na base, essas falésias apresentam uma cobertura vegetal significativa (Figura 28, pontos III e V), o que restringe o acesso e dificulta a circulação de pedestres próximos à sua base. Essa vegetação, além de funcionar como uma barreira natural que limita a dispersão dos materiais oriundos de movimentos de massa provenientes do topo, também contribui para a estabilização superficial do solo, reduzindo o impacto de processos erosivos ao longo do perfil.

De uma forma geral, os principais movimentos de massa identificados na área de estudo foram o deslizamento planar, quedas de blocos e o deslizamento rotacional. Esses movimentos podem causar instabilidade nas falésias, resultando em desmoronamentos e deslocamentos material, como rochas, sedimentos e vegetação, o que pode afetar a segurança das áreas próximas. Os principais movimentos de massa identificados são semelhantes aos observados em outras falésias esculpturadas na Formação Barreiras, em outras porções do Nordeste do Brasil.



Figura 28 - Mapa diagnóstico dos mecanismos de ruptura no setor sul.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

#### 4.4.2 Mapeamento de riscos geomorfológicos

No mapeamento das áreas de riscos geomorfológicos foram espacializadas as porções com marcadores, morfologias e evidências de risco nos setores norte e central. Devido a maior estabilidade no setor sul, evidenciada ao longo dos demais resultados, não foram encontradas áreas que se enquadrassem como áreas de risco alto (R3) e risco muito alto (R4) neste setor.

No setor norte foi delimitado uma faixa de 10 metros na praia, a partir da base da falésia (Figura 29), estabelecida para delimitar a área na base da escarpa onde existe o risco de um movimento de massa alcançar uma pessoa que esteja transitando ou parada no local. Essa porção foi delimitada por compreender uma área em que a falésias apresentam altura elevada, superior aos 12 metros de altura, e inclinação acentuadas, com a declividade superiores a 70°.

Nessa faixa também foram identificadas cicatrizes erosivas e movimentos de massa atuais e pretéritos, deslizamentos e quedas de blocos. A combinação da topografia, com a borda de tabuleiro de perfil íngreme, e das condições climáticas, valores pluviométricos elevados, favorece a ocorrência de áreas de risco muito alto na faixa dos 10 metros. Além disso, esse trecho é continuamente percorrido por turistas e pescadores, aumentando a exposição ao risco, visto que vários pontos de pesca são encontrados no extremo norte da praia.

Com relação as faixas de riscos no setor central, os riscos aqui estão associados não só aos movimentos de massa, os quais podem vitimar pessoas na base da escarpa costeira, mais também com a queda de pessoas e veículos na parte superior da falésia. Uma vez que o setor central é o que apresenta a maior concentração de visitantes e da atividade turística na praia, além de ser um dos principais acessos a área.

Assim, a figura 30 apresenta três faixas de riscos, uma tendo como referência a borda da escarpa, tendo uma faixa de 5 m (R4), que leva em conta a queda de pessoas, veículos e erosão. A segunda faixa é a de 5 m (R4) da praia, iniciada a partir da base das falésias, onde é possível que aconteça um deslizamento, alcançando uma pessoa que esteja transitando ou parada. A terceira faixa, dos 10 m (R4), também representam áreas onde possam acontecer deslizamentos, mas se diferencia da faixa dos 5 m, pois essas áreas apresentam critérios topográficos mais agravantes, como topografias mais elevadas.

Figura 29 - Faixa de risco no setor norte.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).



Figura 30 - Faixas de risco no setor central.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O destaque na figura 30, apresenta mais detalhadamente a área do mirante de Carro Quebrado, onde se observa a faixa de 5 m no topo, no qual se tem um acesso para a praia. A justificativa para essa área ser de risco muito alto, deve-se a característica do seu uso e ocupação no topo, onde há a concentração de turistas para admirar a beleza paisagística da área. A construção do mirante tão próxima da borda da falésia, já se apresenta como o grande agravante para elevação do risco. Estruturas de contenção são limitadas as bordas próximas dessa estrutura, mas possuem distâncias inferiores a 5 m.

Já no caminho de acesso à praia, não há nenhum tipo de estrutura de acesso ou segurança que previna a queda de pessoas ou veículos, nem placas de sinalização alertando sobre os riscos de queda de blocos ou movimentos de massa. Sinalizações com essa função também não estão presentes na base das falésias, mesmo essa porção se diferenciando dos demais setores pela maior circulação de turistas e uma pequena concentração de comerciantes. Na parte logo abaixo do mirante, os turistas se concentram para registrar fotografias com os resquícios de antigos deslizamentos e enormes blocos ferruginosos, resistentes na paisagem frente a ação hidrodinâmica e intempéries.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da estabilidade geomorfológica das falésias de Carro Quebrado permitiu caracterizar e zonestar a praia em três setores, norte, central e sul. Cada setor apresentou dinâmicas distintas, e de formas diferentes de uso e ocupação das terras, a partir das análises dos resultados das metodologias propostas. Os setores norte e central apresentaram os maiores níveis de instabilidade morfodinâmica. A partir do cálculo do Índice de Perigo de Instabilidade, nos quais concentraram a totalidade das classes de perigo muito alto, 15% (836.821 m) no setor norte e, 16% (904.191 m) no setor central. Além da classe de perigo alto, sendo 15% (399.202 m) no setor norte e 7% (199.326 m) no setor central. O setor sul apresentou apenas as classes mais estáveis, variando apenas entre as classes de perigo baixo e a de perigo muito baixo.

A análise da taxa de retração da borda das falésias também confirmou essa dinâmica entre os setores. Nos quais, conforme a análise realizada, para os três setores, tornou-se possível a detecção da variação nas taxas de retração, influenciadas por fatores geomorfológicos e antrópicos. Tendo o setor norte apresentado uma maior taxa de recuo, evidenciando a ação preponderante da abrasão marinha, mesmo possuindo a proteção de cobertura vegetal no topo e uma menor pressão antrópica. O setor central, apesar de menor em extensão, teve uma significativa taxa de recuo, com as atividades de uso e ocupação, como turismo e a presença da cana-de-açúcar, contribuindo significativamente na morfodinâmica da falésia, principalmente pela canalização de águas e do surgimento de ravinas. O setor sul apresentou a menor taxa de recuo, corroborando com o índice de instabilidade, e devido às suas características morfológicas, de paleofalésias, confirmando como o mais estável em relação aos demais.

Com relação à identificação e classificação dos riscos geomorfológicos, a partir dos trabalhos de campo e posterior processamento em ambiente SIG, foi possível realizar o diagnóstico e a representação dos mecanismos de ruptura das falésias. As feições erosivas, resultantes tanto da erosão pluvial como a erosão marinha, concentraram-se preponderantemente nos setores norte e central. Havendo apenas algumas cicatrizes erosivas pontuais no setor sul. A delimitação das áreas de risco também, eventualmente, destacou locais de riscos muito altos no setor norte, na base, e no setor central, tanto no topo como na base, dessas falésias.

A utilização de SIG, por meio de tecnologias de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento, se mostrou promissora na aplicação e na análise dos dados e das metodologias propostas, possibilitando mapear, classificar e analisar dados espaciais e o

monitoramento erosivo das falésias. O incentivo a novas aplicações, em estudos futuros, poderá trazer novas contribuições e fornecer dados que poderão ser utilizados, quando adotados, na regulação, planejamento e gestão territorial.

Os resultados mostraram também as influências marinhas e dos processos morfodinâmicos superficiais na esculturação dessas morfologias, assim como a potencialização dos processos frente às formas de uso e ocupação das terras, demonstrando a presença dos riscos potenciais. Além disso, a análise evidencia a necessidade de um planejamento e gestão territorial mais eficazes para mitigar esses riscos e garantir a proteção da área.

O dinamismo processual das paisagens é responsável pela contínua elaboração e reafeiçoamento das suas morfologias, o que, muitas vezes, se traduz na forma de risco na ocupação e estruturas edificadas nessas áreas. Nos ambientes costeiros, a erosão acelerada tende a ser realidade comum, especialmente quando as características naturais e as limitações em seu uso não são inseridas no processo de planejamento, gestão e fiscalização das atividades desenvolvidas nessas áreas.

Desta forma, os resultados atingidos podem apoiar, quando adotados pelos tomadores de decisão, o planejamento ambiental e turístico, oferecendo informações para embasar decisões voltadas à mitigação dos impactos causados por movimentos de massa na praia de Carro Quebrado. A adoção desse tipo de estratégia, quando aplicada de forma adequada, pode alinhar a segurança pública, a preservação do ambiente costeiro e o desenvolvimento local de forma sustentável e integrada.

Para conscientização do risco e redução dos possíveis danos, recomenda-se: a instalação de placas de alerta indicando perigo, tanto na parte superior como na inferior da falésia; implementação de monitoramento e mapeamento detalhado dos pontos mais suscetíveis a riscos geomorfológicos; emprego de ferramentas estatísticas para análise e previsão; maior transparência por parte da Administração Pública quanto às ações a serem tomadas no enfrentamento dos danos causados pelo risco em seu território; e o estabelecimento de ações preventivas em colaboração com órgãos públicos e a população civil. Essas proposições não foram discutidas em maior profundidade por não fazerem parte do escopo inicial de objetivos do presente estudo, podendo ser incluídas em análises posteriores na área.

## REFERÊNCIAS

ALAGOAS. GOVERNO DO ESTADO DE ALAGOAS. **Perfil Municipal dos Municípios Alagoanos**. 2022. Disponível em: <<https://dados.al.gov.br/catalogo/sr/dataset/perfil-municipal-dos-municipios-alagoanos/resource/33ef4caa-b89f-4dd7-bacd-edf94d2478ab>>. Acesso em: 28 mar. 2024.

AMARO, V. E.; ALMEIDA JÚNIOR, J. E. de; SCUDELARI, A. C.; MATOS, M. de F. A. de; GOMES, W. V. Estimativa do volume erodido e da taxa de retração em curto prazo na falésia marinha ativa da Barreira do Inferno com o uso de Laser Scanner Terrestre. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 3-25, jul./set. 2021.

ARAÚJO, T. C. M. SANTOS, R. C. de A. L.; SEOANE, J. C. S.; MANSO, V. do A. V. Erosão e progradação do litoral brasileiro | Alagoas. *In*: MUEHE, Dieter. (orgs.). **Erosão e progradação no litoral brasileiro**. Brasília: MMA, 2006. p. 197-212.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológica-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. *In*: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1., 1992, Rio de Janeiro. **Anais... [...]**. Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PCRJ, 1992. p. 721-733.

AUGUSTO FILHO, O. **Cartas de risco de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilha Bela, SP**. 1992. 162 f. São Paulo. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J. C. **Estabilidade de Taludes**. Geologia de Engenharia. ABGE, São Paulo, 1998. p. 243-269.

BARRA, O. A. de O. L.; VASCONCELOS, F. P.; ROCHA, C. da S.; CASEMIRO, M. B.; SANTOS, D. V. dos; SILVA, F. E. de S.; AMARAL, D. N. Morfologia costeira em litorais urbanos. *In*: CARVALHO JÚNIOR, O. A. de; GOMES, M. C. V.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T. (orgs.). **Revisões de literatura da geomorfologia brasileira**. Brasília: Universidade de Brasília, 2022. p. 351-380.

BEZERRA, K. dos S.; SILVA, L. M. da; FONSECA FILHO, R. E.; BRAGA, S. de S. Impactos da atividade turística nas falésias de Camocim, Ceará. **Revista Turismo: Estudos & Práticas (RTEP)**, s.l., v. 11, n. 2, jul./dez. 2022.

BIRD, E. C. F. **Coastal geomorphology**. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2008. 411 p.

BRAGA, K. G. **Uso de Checklist para Identificação da Erosão Costeira em Tibau do Sul/RN**. 2005. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. **Decreto de 23 de outubro de 1997**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24 out. 1997.

BRASIL. **Decreto n.º 5.300, de 7 de dezembro de 2004.** Diário Oficial da União, Brasília, DF. 2004.

BRASIL. **Decreto-Lei n.º 9.760, de 5 de setembro de 1946.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 set. 1946.

BRASIL. **Lei n.º 9.985, de 18 de julho de 2000.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2000.

BRASIL. **Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2012.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Capacitação em mapeamento e gerenciamento de risco.** 2014.

BRASIL. Ministério das Cidades. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapeamento de risco em encostas e margem de rios.** Brasília: Ministério das Cidades; IPT, 2007. 176p.

BRUNSDEN, D.; PRIOR, D.B. (eds.). **Slope instability.** Chichester: John Wiley & Sons, 1984. 620 p.

CÂMARA, A. R. A. da. **Resiliência e turismo: o papel da Defesa Civil na gestão de riscos de desastres que envolvem a atividade turística nas áreas de falésias de Tibau do Sul/RN.** 2023. 103 f. Dissertação (Mestrado em Turismo) – Centro Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

CÂMARA, I. F.; SILVA, R. R. Mapeamento e evolução da ocupação irregular em falésias do litoral leste cearense, nordeste do Brasil. **Revista Geociências**, São Paulo, v. 40, n. 4, p. 1033-1046, fev. 2021.

CAMARA, M. R. **Análise do recuo de falésias no litoral do estado do Rio Grande do Norte.** 2018. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

CAMARA, M.; SCUDELARI, A.; AMARO, V.; MATOS, M.; RABELO, T. Geotecnologias como subsídio para gestão de ambientes costeiros: análise do recuo em falésias/arribas no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil, e suas implicações socioambientais. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território, n. 16, p. 53-79, mar. 2019.

CAMPOS 24 HORAS. **Homem morre após cair de falésia na Praia de Guriri, SFI.** Campos 24 Horas, Campos dos Goytacazes, 24 jul. 2024. Disponível em: <<https://campos24horas.com.br/noticia/homem-morre-apos-cair-de-falesia-na-praia-de-guriri-sfi>>. Acesso em: 25 jul. 2024.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** 2. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1980. 188 p.

COELHO, A. L. N. Análise do deslocamento da linha de costa e sua intensidade com base em produtos de sensoriamento remoto. *In*: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L.S. (orgs.). **Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos.** Rio de Janeiro: PGGM, 2020. p. 56-73.

COLLINS, B. D.; SITAR, N. Processes of coastal bluff erosion in weakly lithified sands, Pacifica, California, USA. **Geomorphology**, s.l., v. 97, p. 483-501, 2008.

CONAMA. **Resolução CONAMA n.º 303, de 20 de março de 2002**. 2002. Disponível em: <[http://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=298](http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=298)> Acesso em: 25 de jul. 2023.

CUNHA, C. M. L.; MENDES, I. A.; SANCHEZ, M. C. A cartografia do relevo: uma análise comparativa de técnicas para a gestão ambiental. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 1, p. 1-9, jan./jun. 2003.

FRATTINI, P. et al. Assessment of rockfall susceptibility by integrating statistical and physically-based approaches. **Geomorphology**, s.l., v. 94, n. 3-4, p. 419-437, 2008.

G1. **‘Estava realizando o sonho de conhecer o Nordeste’, diz amigo de turista do RJ que morreu ao cair com quadriciclo de falésia em Pipa**. G1, Rio Grande do Norte, 11 nov. 2022. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rn/rio-grande-do-norte/noticia/2022/11/11/estava-realizando-o-sonho-de-conhecer-o-nordeste-diz-amigo-de-turista-do-rj-que-morreu-ao-cair-com-quadriciclo-de-falesia-em-pipa.ghtml>>. Acesso em: 25 jul. 2024.

G1. **Parte de falésia desaba e mata casal e bebê de 7 meses em Pipa**. G1, Rio Grande do Norte, 17 nov. 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rn/rio-grande-do-norte/noticia/2020/11/17/parte-de-falesia-desaba-em-pipa-pm-confirma-mortes.ghtml>>. Acesso em: 25 jul. 2024.

GERIVANI, H.; STEPHENSON, W.; AFARIN, M. Sea cliff instability hazard assessment for coastal management in Chabahar, Iran. **Journal of Coastal Conservation**, s.l., v. 24, n. 5, p. 1-17, jan. 2020.

GERSCOVICH, D. **Estabilidade de taludes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 166p.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. **The landslide handbook**: a guide to understanding landslides. Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 2008. 129p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182 p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Barra de Santo Antônio**: panorama. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/barra-de-santo-antonio/panorama>>. Acesso em: 21 abr. 2024.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Passo de Camaragibe**: panorama. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/passo-de-camaragibe/panorama>>. Acesso em: 21 abr. 2024.

INFANTI JUNIOR, N.; FORNASARI FILHO, N. Processos de dinâmica superficial. *In*: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S.N.A. (eds.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 131-152.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas (1973-2023)**. Brasília. 2024.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas (2009-2023)** – Direção e velocidade do vento. Brasília. 2024.

ICMBIO. INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Plano de manejo da Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais**. Tamandaré, 2021.

LANA, J. C.; JESUS, D. D.; ANTONELLI, T. 2021. **Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial**: setorização de áreas de risco geológico. Brasília: CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2021. 49 p.

LIMA, C. C. U. de; MAIA, R. P. Fatores condicionantes e processos que promovem o recuo das falésias no litoral sul do estado da Bahia, Brasil. **William Morris Davis - Revista de Geomorfologia**, Sobral, v. 4, n. 2, p. 1-20, dez. 2023.

LIMA, G. G. de. **Análise comparativa de metodologias de mapeamento geomorfológico na Bacia do Rio Salamanca, Cariri Cearense**. 2014. 120 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

LINS-DE-BARROS, F. M.; BATISTA, C. M. Os limites espaciais da zona costeira para fins de gestão a partir de uma perspectiva integrada. *In*: SOUTO, R. D. (org.). **Gestão Ambiental e sustentabilidade em áreas costeiras e marinhas**: conceitos e práticas. v. 1. Rio de Janeiro: Instituto Virtual para o Desenvolvimento Sustentável – IVIDES.org, 2020. p. 22-50.

LISTO, F. de L. R.; NERY, T. D.; BISPO, C. de O.; FERREIRA, F. S.; SANTOS, E. M. dos; Movimentos de massa: estado da arte, escalas de abordagem, ensaios de campo e laboratório e diferentes modelos de previsão. *In*: CARVALHO JÚNIOR, O. A. de; GOMES, M. C. V.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T. (orgs.). **Revisões de literatura da geomorfologia brasileira**. Brasília: Universidade de Brasília, 2022. p. 560-592.

MAIA, R. P.; AMORIM, R. F. Aspectos morfoestruturais e fatores erosivos em Falésias. O caso de Pipa – RN. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 2000-2009, out./dez. 2022.

MAIA, R. P.; AMORIM, R. F.; MEIRELES, A. J. A. **Falésias**: origem, evolução, risco. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2022. 83 p.

MARANDOLA JR, E; HOGAN, D. J. Natural hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos. **Ambiente & Sociedade**, s.l., v. 7, n 2, p. 95-110, jul./dez. 2004.

MARQUES NETO, R. Controle tectônico no setor sul da Costa do Descobrimento (BA): relações com os padrões de drenagem e processos gravitacionais em falésias. **Geografia**, Rio Claro, v. 47, n.1, p. 1-21, 2022.

MORAIS, A. D.; SANTOS JR, O. F.; FREITAS NETO, O. Propriedades geotécnicas de sedimentos da Formação Barreiras nas falésias de Barra de Tabatinga litoral oriental do Rio Grande do Norte/Brasil. **Holos**, Natal, v. 7, p. 1-20, 2020.



MUEHE, D. O sistema praial: formas, termos, processos e medição. *In*: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS F. M.; PINHEIRO, L. de S. (orgs.). **Geografia marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos**. Rio de Janeiro: Caroline Fontelles Ternes, 2020. p. 27-55.

NASCIMENTO, K. A. **Caracterização da Erosão Marinha nas Falésias da Ponta do Retiro, Litoral Norte do RJ**. 2006. 106 f. Dissertação (Mestrado em geologia e Geofísica Marinha) – Universidade Federal do Fluminense, Niterói. 2006.

OGLOBO. **Falésia na Praia de Pipa, onde turista morreu ao cair com quadriciclo, já teve vários acidentes nos últimos anos**. O Globo, Rio de Janeiro, 21 jan. 2024. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/brasil/noticia/2024/01/21/falesia-na-praia-de-pipa-onde-turista-morreu-ao-cair-com-quadriciclo-ja-teve-varios-acidentes-nos-ultimos-anos.ghtml>>. Acesso em: 28 jul. 2024.

OLIVEIRA, L. R. de; VITAL, S. R. de O.; MOURA, C. M. da S. Erosão costeira: um estudo bibliométrico acerca do processo erosivo em falésias. **Entre-Lugar**, Dourados, v. 15, n. 29, p. 243–267, jul. 2024. 2024.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Hazard definition & classification review** (technical report). 2020.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **National Disaster Risk Assessment**. 2017.

PACHECO, G. H. S.; FREITAS NETO, O.; SEVERO, R. N. F. Análise da estabilidade das falésias de Tibau do Sul por métodos de equilíbrio-limite. **Holos**, Natal, v. 2, n. 2, p. 78-100, out. 2006.

PEILA, D.; RONCO, C. Technical note: design of rockfall net fences and the new ETAG 027 European guideline. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, s.l., v. 9, p. 1291-1298, 2009.

PENTEADO, M. M. **Fundamento de Geomorfologia**. 3. ed. IBGE, Rio de Janeiro, 1980. 185 p.

PRÉMAILLON, M.; REGARD, V.; DEWEZ, T.J.B.; AUDA, Y. GlobR2C2 (Global Recession Rates of Coastal Cliffs): a global relational database to investigate coastal rocky cliff erosion rate variations. **Earth Surface Dynam**, s.l., v. 6, p. 651-668, 2018.

PROJETO FALÉSIAS. **Diagnóstico e apontamentos de medidas mitigadoras para o contexto de riscos nas falésias de Pipa e Barra de Tabatinga – RN**. UFRN-UFC-MDR, AMORIM, R. de F.; MAIA, R. P. (coord.). Natal, 2021. 225 p. (Relatório Técnico).

PROJETO GIDES. **Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa – Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Desastres Naturais – Projeto GIDES**. CPRM - PIMENTEL, J.; SANTOS T. D. dos. (coord.). Rio de Janeiro: CPRM/SGB – Serviço Geológico do Brasil, 2018; v 1. 213 p. (E-book).

RECKZIEGEL, B. W.; ROBAINA, L. E. de S. Riscos geológico-geomorfológicos: revisão conceitual. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 65-83, jul./dez. 2005.

REIS, J. C.; ALVES, J. S. Impactos ambientais decorrentes do uso e ocupação do solo na Microbacia do Córrego Água Quente em Rio Quente, Goiás. **Revista Eletrônica Georaguaiá**, s.l., v. 7, n. 1, p. 22-43, 2017.

RIBEIRO, R. S. **Simulação do processo de queda de blocos em encostas com aplicação da mecânica do contato e do método dos elementos discretos**. 2013. 265 f. Tese (Doutorado em Ciências (Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

ROSS, J. L. S.; GOUVEIA, I. C. M. A taxonomia do relevo e a cartografia geomorfológica regional. *In*: CARVALHO JÚNIOR, O. A. de; GOMES, M. C. V.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T. (orgs.). **Revisões de literatura da geomorfologia brasileira**. Brasília: Universidade de Brasília, 2022. p. 701-732.

SAADI, A.; BEZERRA, F. H. R.; COSTA, R. D. da; IGREJA, H. L. S.; FRANZINELLI, E. Neotectônica da plataforma brasileira. *In*: SOUZA C. R. de G. S; SUGUIO K.; OLIVEIRA A. M. dos S.; OLIVEIRA P. E. de. (eds.). **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos, Editora, 2005. p. 211-234.

SANTOS, A. dos. **Vulnerabilidade e riscos geomorfológicos e hidrológicos na região da Grande Aracaju**. 2019. 292 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2019.

SANTOS, J. E. B. dos; MONTEIRO, K. de A. NASCIMENTO, M. C. do. Mapeamento geomorfológico do médio e baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Coruripe, Alagoas. *In*: SANTOS, G. B. dos; FELIPPE, M. F.; MARQUES NETO, R. (orgs.). **Geomorfologia: complexidade e interesalaridade da paisagem**. São José dos Campos, SP: Comum Design, 2022. p. 2447-2455.

SCUDELARI, A. C.; MATOS, M. de F. A. de; AMARO, V. E.; CAMARA, M. R.; CAVALCANTE, A. C. C. Avaliação de curto prazo da retração das falésias de Tibau do Sul-RN. **Revista de geociências do nordeste**, Caicó, v. 7, n. 2, p. 202-214, jul./dez. 2021.

SILVA, B. M. F. da. **Análise probabilística de estabilidade de falésias no litoral do RN**. 2019. 271 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

SILVA, B. M. F. da; SANTOS JÚNIOR, O. F. dos; FREITAS NETO, O. de; SCUDELARI, A. C. Erosão em falésias costeiras e movimentos de massa no Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. **Revista Geociências**, São Paulo, v. 39, n. 2, p. 447-461, 2020.

SILVA, L. R. J. da; AMARO, V. E.; SCUDELARI, A. C.; PINHEIRO, L. R. de S. G.; Mapa de risco à erosão costeira e movimentos gravitacionais de massa no litoral oriental do nordeste do Brasil: estudo de caso na Praia de Pipa/RN. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 1-19, abr./jun. 2023.

SILVA, R. R. da; PINHEIRO, L. de S.; XIMENES NETO, A. R.; MORAIS, J. O. de. Mapeamento lidar nas falésias costeiras do litoral cearense (Nordeste do Brasil). **Revista Geociências**, São Paulo, v. 39, n. 2, p. 463-479, 2020.

SILVA, T. C. L.; FERREIRA, B. Transformações multi-temporais do uso e coberturas das terras no bairro de Cruz das Almas, litoral norte de Maceió, Alagoas, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 12, n. 1. p. 310-325, 2019.

SIQUEIRA, A. C. de A.; MAGINI, C.; DANTAS, E. L.; FUCK, R. A.; SASAKI, J. M. Lateritas do Domínio Médio Coreaú – Comportamento geoquímico de mantos lateríticos do Noroeste do Estado do Ceará. **Brazilian Journal of Geology**, s.l., v. 44, n. 2, p. 249-264, 2014.

SMITH, K. **Environmental hazards: assessing risk & reducing disaster**. London: Routledge, 1992. 324 p.

SUNAMURA, T. **Geomorphology of rocky coasts**. West Sussex, England: John Wiley & Sons, 1992. 302 p.

SWIFT, D. J. P. Continental shelf sedimentation. *In*: STANLEY, D. J.; SWIFT, D. J. P. (orgs.). **Marine sediment transport and environmental management**, John Wiley & Sons, 1976. p. 311-350.

TOMINAGA, L. K. Análise e mapeamento de risco. *In*: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. do (orgs.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 2. ed. São Paulo: Instituto Geológico, p. 147-160. 2012a.

TOMINAGA, L. K. Escorregamentos. *In*: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. do (orgs.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 2. ed. São Paulo: Instituto Geológico, p. 25-38. 2012b.

VARNES, D. J. **Landslides, analysis and control**. Special Report 176, National Academy of Sciences, 1978.

VARNES, D. J. **Landslide hazard zonation: a review of principles and practice**. Paris: UNESCO, 1984.

VILLWOCK, J. A.; LESSA, G. C.; SUGUIO, K.; ÂNGULO, R. J.; DILLENBURG, S. R. Geologia e geomorfologia de regiões costeiras. *In*: SOUZA C. R. de G. S.; SUGUIO K.; OLIVEIRA A. M. dos S.; OLIVEIRA P. E. de. (eds.). **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos, Editora, 2005. p. 94-113.

YILMAZ, I.; YILDIRIM, M.; KESKIN, I. A method for mapping the spatial distribution of rockfall computer program analyses results using ArcGIS software. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, s.l., v. 67, n. 4, p. 547-554, 2008.