



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
RELATÓRIO DE GRADUAÇÃO

**MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO ASSOCIADAS A
MOVIMENTOS DE MASSA NAS FALÉSIAS DO LITORAL SUL NO RIO GRANDE
DO NORTE**

DÉBORA JOYCE DO NASCIMENTO ROCHA

Natal/RN
Julho de 2023

DÉBORA JOYCE DO NASCIMENTO ROCHA

**MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO ASSOCIADAS A
MOVIMENTOS DE MASSA NAS FALÉSIAS DO LITORAL SUL NO RIO GRANDE
DO NORTE**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito à obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Helenice Vital (UFRN)

Coorientador: Dr. Melquisedec Medeiros Moreira (INPE)

NATAL/RN

Julho de 2023

**MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO ASSOCIADAS A
MOVIMENTOS DE MASSA NAS FALÉSIAS DO LITORAL SUL NO RIO GRANDE
DO NORTE**

Aprovado em: 7 de Julho de 2023

BANCA EXAMINADORA

1º Examinador: Prof^a. Dr^a. Helenice Vital

Orientador

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

2º Examinador: Dr^o. Melquisedec Medeiros Moreira

Coorientador e Membro Externo

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

3º Examinador: Prof^o. Dr^o. Ricardo Farias do Amaral

Membro Interno

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

NATAL/RN

Julho de 2023

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Setorial Prof. Ronaldo Xavier de Arruda - CCET

Rocha, Débora Joyce do Nascimento.

Mapeamento e caracterização de áreas de risco associadas a movimentos de massa nas falésias do litoral sul no Rio Grande do Norte / Débora Joyce do Nascimento Rocha. - 2023.

107 f.: il.

Monografia (graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Departamento de Geologia, Curso de Geologia. Natal, RN, 2023.

Orientação: Profa. Dra. Helenice Vital.

Coorientação: Dr. Melquisedec Medeiros Moreira.

1. Geologia - Monografia. 2. Falésias - Monografia. 3. Erosão costeira - Monografia. 4. Movimento de massa- Monografia. 5. Risco - Monografia. I. Vital, Helenice. II. Moreira, Melquisedec Medeiros. III. Título.

RN/UF/CCET

CDU 551.1/.4

RESUMO

A faixa litorânea a leste do Estado do Rio Grande do Norte, localizado no Nordeste do Brasil, apresenta características distintas que incluem falésias ativas, campos de dunas sobrepostas e praias arenosas adjacentes. As áreas objeto de estudo neste trabalho correspondem as praias de Cotovelo, Barra de Tabatinga, Praia de Pipa, e Praia do Porto, todas compreendem falésias ativas com altura média de cerca de 20m. Esses ambientes estão propícios a deslizamentos de massa influenciados por forças externas como a pluviosidade e ocupação humana. Assim o principal objetivo deste trabalho foi identificar e delimitar as áreas de alto e muito alto risco de ocorrência desses movimentos. Nesse contexto, a presente pesquisa apresenta uma abordagem que propõe uma metodologia fundamentada na utilização de bancos de dados espaciais gratuitos em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) para identificar e categorizar áreas com potencial de risco nas falésias do Litoral sul do Rio Grande do Norte sob o ponto de vista da segurança e preservação ambiental. Além disso, foram empregados princípios que seguem a metodologia proposta pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Após analisar os elementos físicos do terreno e considerar a vulnerabilidade natural e ambiental da região foi obtido como resultado um diagnóstico dos riscos relacionados aos movimentos gravitacionais de massa, influenciados pela complexa dinâmica costeira e pela intervenção humana, tais como a pluviosidade e ocupação habitacional. Foi observado que as ações humanas exercem um impacto significativo nas unidades geoambientais, resultando em várias consequências negativas, como por exemplo a sobrecarga excessiva nas falésias ativas, a gestão inadequada das águas pluviais e residuais provenientes do uso humano, a falta de sistemas de drenagem e contenção, entre outros. Considerando o conceito de risco geológico e a classificação de risco em alto (R3) e muito alto (R4), todas as praias investigadas neste estudo apresentam um nível de risco R4. No entanto, as praias de Baía Formosa, Barra de Tabatinga e Pipa possuem uma proporção maior desse risco, devido à concentração populacional mais significativa em suas áreas costeiras. Isso as torna mais vulneráveis a problemas relacionados aos movimentos de massa. Espera-se que o estudo seja utilizado para promover a conscientização das populações locais e dos turistas, além de fornecer subsídios aos gestores para orientar os usos e ocupações do solo de forma mais apropriada, especialmente nas áreas costeiras dos municípios de Parnamirim, Nísia Floresta, Tibau do Sul e Baía Formosa.

Palavras-chaves: Falésias; Erosão costeira; Movimentos de massa; Risco.

ABSTRACT

The coastal strip east of the State of Rio Grande do Norte, located in the Northeast of Brazil, presents distinct characteristics that include active cliffs, overlapping dune fields and adjacent sandy beaches. The areas object of study in this work correspond to the beaches of Cotovelo, Barra de Tabatinga, Praia de Pipa, and Praia do Porto, all comprising active cliffs with an average height of about 20m. These environments are prone to landslides influenced by external forces such as rainfall and human occupation. Thus, the main objective of this work was to identify and delimit the areas of high and very high risk of occurrence of these movements. In this context, this research presents an approach that proposes a methodology based on the use of free spatial databases in a Geographic Information System (GIS) to identify and categorize areas with potential risk on the cliffs of the south coast of Rio Grande do Norte from the point of view of safety and environmental preservation. In addition, principles that follow the methodology proposed by the Geological Survey of Brazil (CPRM) were employed. After analyzing the physical elements of the land and considering the natural and environmental vulnerability of the region, a diagnosis of risks related to gravitational mass movements, influenced by the complex coastal dynamics and human intervention, such as rainfall and housing occupation, was obtained as a result. It was observed that human actions have a significant impact on geoenvironmental units, resulting in several negative consequences, such as excessive overload on active cliffs, inadequate management of rainwater and wastewater from human use, lack of drainage and containment systems, among others. Considering the concept of geological risk and risk classification as high (R3) and very high (R4), all beaches investigated in this study have a risk level of R4. However, the beaches of Baía Formosa, Barra de Tabatinga and Pipa have a higher proportion of this risk, due to the more significant population concentration in their coastal areas. This makes them more vulnerable to problems related to mass movements. It is expected that the study will be used to promote the awareness of local populations and tourists, in addition to providing subsidies to managers to guide land uses and occupations more appropriately, especially in the coastal areas of the municipalities of Parnamirim, Nísia Floresta, Tibau do Sul and Baía Formosa.

Keywords: Cliffs; Coastal erosion; Mass movements; Risk

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Mapa de localização das áreas selecionadas para estudo no litoral sul do Rio Grande do Norte.....	14
Figura 2.1 – Esquema ilustrativo da ação erosiva sobre as falésias. 1 – Encosta estável; 2 – Erosão da Encosta; 3 – Instabilidade da encosta; 4 – Queda de blocos; 5 – Acumulo de blocos na base	17
Figura 2.2 – Perfis esquemáticos mostrando como acontece a erosão nas falésias influenciada pela ação do mar na base da falésia representada em A. Em B pela água da chuva no topo da falésia	18
Figura 2.3 - Comportamento pluviométrico nas mesorregiões potiguares.	23
Figura 2.4 – Vegetação arbórea em Baía Formosa	26
Figura 2.5 – Vegetação herbácea em Barra de Tabatinga	27
Figura 2.6 – Vegetação do tipo arbustiva na praia de Barra de Tabatinga	29
Figura 3.1 – Mapa geológico das áreas estudadas	34
Figura 3.2 - Aspecto de campo das rochas do Grupo Barreiras. Observa-se a configuração tabular. Praia de Sibaúma, município de Tibau do Sul	35
Figura 3.3 - Intercalações de arenitos de coloração avermelhados a branco exibindo estratificações plano-paralelas no topo e níveis conglomerados. Praia de Barra de Tabatinga, Nísia Floresta	35
Figura 3.4 - Arenito ferruginoso em contato com conglomerado	37
Figura 3.5 - Aspecto de campo dos depósitos eólicos não vegetadas na Praia de Tabatinga (Nísia Floresta/RN)	38
Figura 3.6 - Aspecto de campo dos depósitos litorâneos praias. nota-se a coloração escura representada pelos minerais pesados	39
Figura 4.1 - Nomenclatura e limites do sistema praias	41
Figura 4.2 – Ilustração dos movimentos de massa por queda, tombamento e rolamento respectivamente	44
Figura 4.3 – Ilustrações dos tipos de movimentos de massa por deslizamento	45
Figura 4.4 – Ilustração do fluxo de detritos e lama	45
Figura 4.5 – Ilustração de subsidência e colapso	46
Figura 4.6 - Diagrama de análise da relação entre Perigo, Exposição e Vulnerabilidade como elementos de interseção do desastre	48
Figura 5.1 – Fluxograma das etapas para a confecção deste TCC	55

5.2 Composição RGB432 das imagens CBERS 4A fusionadas de 2m de resolução espacial das quatro áreas estudadas	59
Figura 5.3 – Composição RGB432 colorida de falsa cor da praia de Cotovelo com as principais observações feitas no pré-campo	60
Figura 5.4 – Composição RGB432 colorida de falsa cor da praia de Barra de Tabatinga com as principais observações feitas no pré-campo	62
Figura 5.5 - Composição RGB432 colorida de falsa cor da praia da Pipa com as principais observações feitas no pré-campo	63
Figura 5.6 - Composição RGB432 colorida de falsa cor da praia de Baía Formosa com as principais observações feitas no pré-campo	65
Figura 5.7 – Mapa da distribuição dos pontos visitados	66
Figura 5.8 – Mapa dos setores de acordo com o município de praia	66
Figura 6.1 – MDE Alos Palsar. Em destaque os municípios analisados	69
Figura 6.2 – Mapas de declividade em % de cada praia estudada	72
Figura 6.3 – Falésias da praia de Cotovelo. Em destaque verifica-se uma visão ampliada de um trecho das falésias exibindo algumas cavidades erosivas. Em sua base nota-se a presença da plataforma de abrasão demarcada em amarelo	75
Figura 6.4 – Vista de cima das falésias de Cotovelo. A parte coberta por vegetação apresenta uma inclinação mais suave em comparação com a área desprovida de vegetação. O trecho com uma inclinação mais pronunciada sofreu desabamentos alguns meses antes da realização da atividade de campo	76
Figura 6.5 – Em A, nota-se a proximidade do muro e uma caixa d’água do restaurante com a placa indicando risco de deslizamento. Em B, nota-se a presença da edificação, apesar de estar localizado em uma altitude menor, não deixa de ser considerada uma área de risco, pois não se pode descartar a possibilidade de desabamento	77
Figura 6.6 – Falésias da Praia de Cotovelo. Em destaque o material que sofreu deslocamento	78
Figura 6.7 – Mapa de setorização de áreas de risco na Praia de Cotovelo, município de Parnamirim	79
Figura 6.8 – Falésias da Praia de Barra de Tabatinga. Nota-se a presença de várias fendas nas rochas da Formação Barreiras. Atenta-se também uma menor quantidade de material na plataforma de abrasão marinha do que na Praia de Cotovelo	80
Figura 6.9 – Trecho de uma via que desmoronou a poucos dias antes do campo. Observa-se que o trecho não é pavimentado e é uns dos principais acesso a praia e a parte urbanizada ..	81
Figura 6.10 – Estabelecimentos em cima e bem próximos a escarpas das falésias em Barra de Tabatinga	81

Figura 6.11 – Mapa de setorização de áreas de risco na Praia de Barra de Tabatinga, município de Nísia Floresta	82
Figura 6.12 – Aspecto das falésias da formação Barreiras localizadas na Praia de Sibaúma, Tibau do Sul. Em destaque diversas cavidades erosivas presente no material rochoso	82
Figura 6.13 – Em A, nota-se a presença de ravinas acentuadas e ao lado uma turista. Em B, visão de cima das ravinas. Em C, observa-se a proximidade com qual os carros chegam próximos a escarpa das falésias; E em D, configura-se a mesma situação, em destaque um carro de turistas que visitavam o local	83
Figura 6.14 – Em A, vários visitantes tirando fotografias em cima do topo das falésias com algumas feições de ravinamento. Em B, presença de placa de perigo indicando risco de queda de blocos no mesmo local	84
Figura 6.15 – Mapa da delimitação das classes de risco na Praia da Pipa	84
Figura 6.16 – Em A, nota-se a proximidade de algumas casas com a encosta. E em B, a rede de esgoto que passa por dentro da encosta para o escoamento da água até o mar	85
Figura 6.17 – Trechos com cicatrizes de deslizamentos. Tanto em A quanto em B, observa-se o material colapsado logo em baixo da encosta, com placas indicativas de risco de deslizamento	85
Figura 6.18 – Tanto em A quanto em B, observam-se várias fendas nas falésias da praia do Porto, indicadas por setas. Em B, destaca-se o fato de que o material rochoso está em um estágio bastante avançado, aumentando a probabilidade de ocorrer o tombamento de blocos	86
Figura 6.19 – Diversas árvores inclinadas indicando movimento de massa	86
Figura 6.20 - Registro fotográfico da estrutura de contenção (muro de arrimo) danificado na Praia do Porto, localizada no município de Baía Formosa. A foto foi capturada em 25 de outubro de 2022, destacando que a última revitalização ocorreu em junho de 2022	87
Figura 6.21 – Moradores locais sentados na base da encosta que se encontra instável, indicada plena inclinação das árvores	88
Figura 6.22 – Mapa de setorização de áreas de risco na Praia do Porto município de Baía Formosa	89
Figura 6.23 - Mapa índice de Risco com os setores definidos como R3 (alto risco) e R4 (muito alto risco), no que se refere à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa na Praia de Cotovelo – Parnamirim/RN	90
Figura 6.24 - Mapa índice de Risco com os setores definidos R4 (muito alto risco), no que se refere à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa na Praia de Barra de Tabatinga – Nísia Floresta/RN	91
Figura 6.25 - Mapa índice de Risco com os setores definidos como R3 (alto risco) e R4 (muito alto risco), no que se refere à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa na Praia da Pipa– Tibau do Sul/RN	92

Figura 6.25 - Mapa índice de Risco com os setores definidos como R3 (alto risco) e R4 (muito alto risco), no que se refere à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa na Praia do Porto -Baía Formosa/RN	93
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Classificação do risco a partir da probabilidade de ocorrer movimentos gravitacionais de massa	49
Tabela 5.1 – Principais características das câmeras do sensor CBERS 4A	57
Tabela 5.2 - Características e indícios a serem observados durante a setorização de áreas de risco a movimentos de massa	65

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 – Precipitação média de Baía Formosa	23
Gráfico 2.2 – Precipitação média de Nísia Floresta	23
Gráfico 2.3 – Precipitação média de Parnamirim	24
Gráfico 2.4 – Precipitação média de Tibau do Sul	24

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 APRESENTAÇÃO	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivos específicos.....	14
1.3 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	14
2 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	15
2.1 GEOMORFOLOGIA.....	16
2.2 CLIMA.....	21
2.3 COBERTURA VEGETACIONAL	26
2.4 HIDRODINÂMICA COSTEIRA	29
3 CONTEXTO GEOLÓGICO	30
3.1 GEOLOGIA LOCAL.....	34
3.1.1 Grupo Barreiras	36
3.1.2 Depósitos eólicos litorâneos não vegetados	38
3.1.3 Depósitos Litorâneos Praiais.....	39
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	40
4.1 PRAIAS ARENOSAS E A EROSÃO COSTEIRA NO RIO GRANDE DO NORTE ...	41
4.2 MOVIMENTOS DE MASSA	45
4.3 RISCO GEOLÓGICO	48
4.4 AMPARO LEGAL.....	51
5 METODOLOGIA	56
5.1 COMPILAÇÃO BIBLIOGRÁFICA E FOTOINTERPRETAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITES	56
5.2 LEVANTAMENTO DE CAMPO.....	64
5.3 DELIMITAÇÕES DAS ÁREAS DE RISCOS.....	67
5.4 ELABORAÇÃO DOS MAPAS ÍNDICES	68
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	69
6.1 ANÁLISE DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO E CLASSE DE RISCOS	69
6.2 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS E MAPAS DE DELIMITAÇÃO DE RISCO	72
6.1.1 Setor 1 – Praia de Cotovelo.....	74
6.1.2 Setor 2 – Praia de Barra de Tabatinga	79
6.1.3 Setor 3 – Praia da Pipa	82
6.1.4 Setor 4 – Praia do Porto.....	85
6.3 MAPAS ÍNDICES	90

7 SUGESTÕES PARA MITIGAÇÃO DAS ÁREAS.....	95
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Nos últimos anos, tem se tornado cada vez mais evidente a necessidade de estudos voltados para o mapeamento e caracterização das áreas de risco associadas a desmoronamentos de massa em regiões costeiras. No litoral sul do Rio Grande do Norte, essa preocupação se torna ainda mais relevante devido à presença de falésias e encostas que apresentam propensão a instabilidades geotécnicas.

As falésias, características marcantes desse trecho da costa, são formações rochosas verticais que podem ser submetidas a processos erosivos intensos, principalmente pela ação das ondas e correntes marinhas. Essa erosão compromete a estabilidade das paredes das falésias, aumentando o risco de desmoronamentos e colocando em perigo as comunidades e infraestruturas localizadas nas áreas adjacentes.

Além disso, a região do litoral sul do Rio Grande do Norte também está sujeita a influências climáticas, como a sazonalidade das chuvas, que podem desencadear processos de instabilização de encostas. A combinação desses fatores naturais torna fundamental o desenvolvimento de estudos que visem identificar e caracterizar as áreas de risco, proporcionando informações precisas e atualizadas para o planejamento urbano e a adoção de medidas de prevenção e mitigação de desastres.

Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo principal realizar o mapeamento e a caracterização das áreas de risco associadas a desmoronamentos de massa nas praias de Cotovelo, no município de Parnamirim, Barra de Tabatinga, no município de Nísia Floresta, Pipa, no município de Tibau do Sul e a Praia do Porto, no município de Baía Formosa, todas localizadas no litoral sul do Rio Grande do Norte. Para isso, serão utilizadas técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e análise geotécnica, aliadas a levantamentos de campo, com o intuito de obter uma visão abrangente e detalhada das áreas propensas a desmoronamentos.

Espera-se que os resultados deste estudo contribuam para o conhecimento aprofundado das áreas de risco e auxiliem no desenvolvimento de estratégias eficientes de prevenção e gestão de desastres. Compreender os processos geotécnicos envolvidos nos desmoronamentos de massa e identificar as áreas mais vulneráveis será fundamental para garantir a segurança das

comunidades e a preservação das infraestruturas costeiras, promovendo o desenvolvimento sustentável da região do litoral sul do Rio Grande do Norte.

1.2 OBJETIVOS

O trabalho tem como objetivo a identificação de áreas de riscos associados a deslizamentos de massa em falésias nas praias situadas nos municípios de Parnamirim, Nísia Floresta, Tibau do Sul e Baía Formosa.

1.2.1 Objetivos específicos

- Mapear as áreas costeiras que apresentam possíveis riscos de deslizamento;
- Classificar as áreas com maiores potenciais de deslizamento;
- Confeccionar mapas temáticos com base no levantamento de campo e técnicas de Sensoriamento Remoto;
- Propor medidas mitigadoras para diminuir o risco de acidentes;

1.3 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

O mapeamento foi realizado nas praias de Cotovelo, Barra de Tabatinga, Pipa e a Praia do Porto. A principal via de acesso é dada pela BR 101. Para acesso às praias de Cotovelo e Barra de Tabatinga pela RN-063, para a Praia de Pipa pela RN-003 e a Praia do Porto pela RN-062 (Figura 1.2).

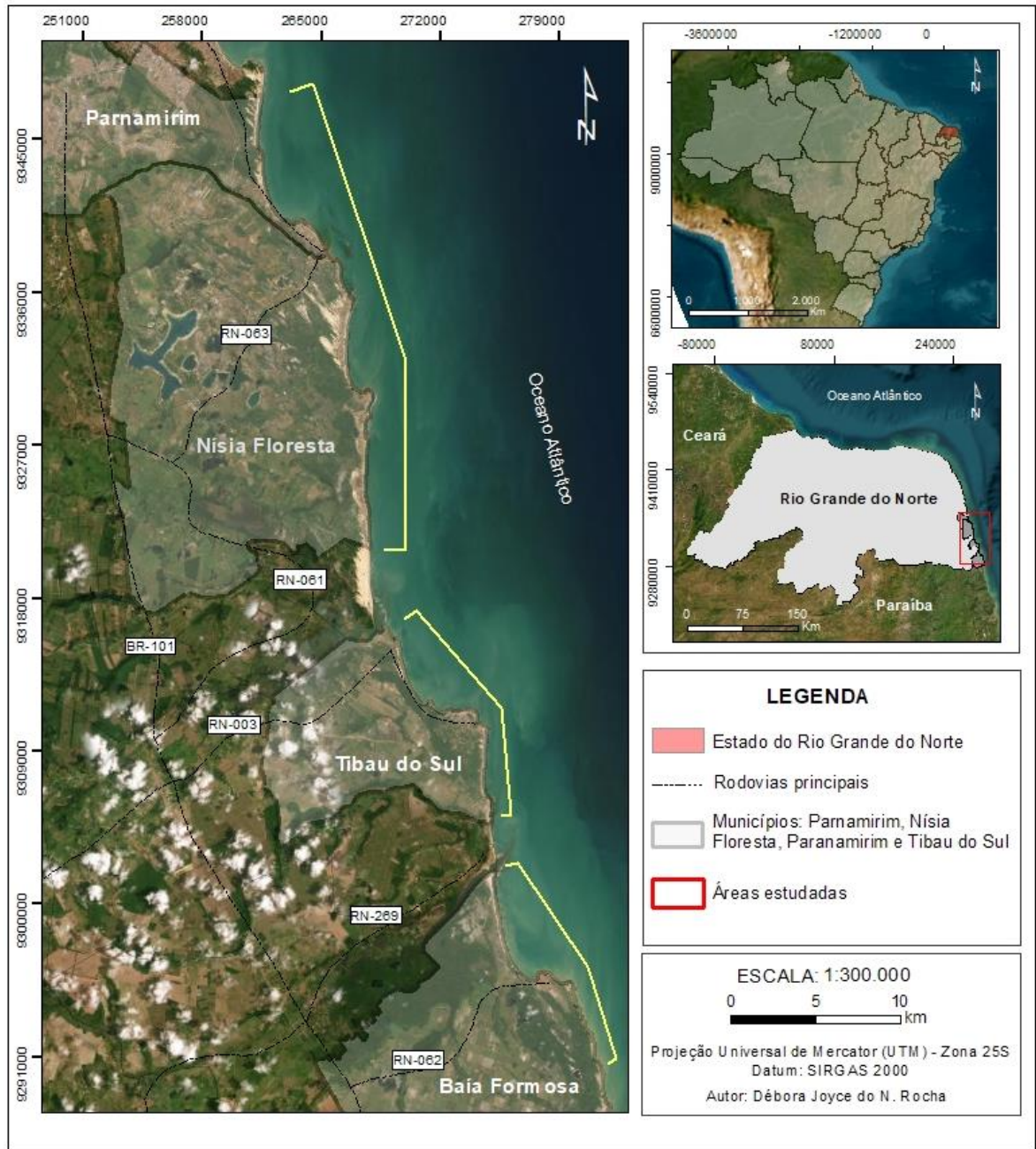


Figura 1.1– Mapa de localização das áreas selecionadas para estudo no litoral sul do Rio Grande do Norte.

2 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

A faixa litorânea do Rio Grande do Norte é caracterizada por inter-relações complexas entre o oceano, continente e atmosfera, que resultam em uma dinâmica morfológica e evolutiva intensa. Nesse contexto, os eventos geológico-geomorfológicos relacionados ao risco de movimentos gravitacionais de massa na zona costeira são, em parte, consequências naturais desses processos. Eles estão associados aos sistemas climáticos em diferentes escalas, à presença de vegetação, às energias hidrodinâmicas (ventos, ondas, correntes e marés) e às

características de ocupação do território. É importante destacar esses conceitos para fornecer subsídios às interpretações apresentadas neste trabalho.

2.1 GEOMORFOLOGIA

Partindo de uma visão regional, as áreas estudadas englobam dois macrocompartimentos do relevo: Planícies costeiras e os Tabuleiros costeiros.

- ***Tabuleiros Costeiros***

Os Tabuleiros Costeiros configuram-se em formas de relevo tabulares esculpidas em rochas sedimentares, em geral, pouco litificadas e dissecadas por uma rede de canais com baixa a moderada densidade de drenagem e padrão dendrítico, com predomínio de processos de pedogênese e formação de solos espessos e bem drenados, com baixa suscetibilidade à erosão.

Eles estão posicionados em cotas entre 30 e 100 m, sendo que estas são crescentes à medida que essas formas de relevo avançam em direção ao interior. As amplitudes de relevo locais variam de 20 a 50 m, com geração de vastas superfícies planas a suavemente inclinadas nos topos. Próximo ao litoral, os tabuleiros estão frequentemente sotopostos aos campos de dunas e, por vezes, atingem a linha de costa, formando falésias. Os canais principais esculpem vales amplos e encaixados em forma de “U”, resultantes de processos de entalhamento fluvial e notável alargamento das vertentes do vale, via recuo erosivo de suas encostas.

Os Tabuleiros Costeiros são individualizados em duas seções principais: uma porção voltada para o litoral leste, de clima úmido a semiúmido em zona de Mata Atlântica transicional para o agreste; uma porção voltada para o litoral norte, de clima semiárido em zona de Caatinga.

Os localizados no litoral leste (onde se configura os pontos estudados) estão invariavelmente embasados em rochas sedimentares pouco litificadas, de idade terciária, do Grupo Barreiras. Esses tabuleiros estão delimitados, a leste, pelas planícies costeiras e, a oeste, pelas superfícies aplainadas da Depressão Sertaneja. Predominam solos espessos e de baixa fertilidade natural, tais como Latossolos Amarelos distróficos, Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos e Neossolos Quartzarênicos. Esses solos planos e bem drenados, sob clima úmido, são propícios à expansão da monocultura canavieira, restrita ao sul do estado, entre a divisa com o estado da Paraíba e a cidade de Canguaretama.

No litoral do estado do Rio Grande do Norte, é possível encontrar tanto falésias ativas quanto falésias inativas. As falésias ativas são aquelas que sofrem a ação direta do mar em sua base, enquanto as falésias inativas estão localizadas a uma certa distância da linha de preamar,

o que reduz os fatores naturais que contribuem para os processos erosivos que as tornam instáveis.

Os Tabuleiros Costeiros do litoral norte, por sua vez, estão embasados em rochas sedimentares, pouco litificadas, de idade terciária, dos grupos Barreiras e Tibau, e por calcários e calcarenitos da Formação Jandaíra (esta, pertencente à Bacia Potiguar). Esses tabuleiros estão compreendidos pelas planícies costeiras a norte; a sul, pelos baixos platôs da Bacia Potiguar. Predominam solos espessos, arenosos e de baixa fertilidade natural, tais como Neossolos Quartzarênicos, Latossolos Amarelos distróficos e Argissolos Vermelho- -Amarelos distróficos e, subordinadamente, Argissolos Vermelho-Amarelos eutróficos. Esses solos planos e bem drenados, sob clima semiárido, apresentam uma ocupação bem mais rarefeita. A única localidade de expressão nessa unidade é o município de Pedra Grande (DANTAS & FERREIRA, 2010).

Neste trabalho, são utilizados os conceitos de taludes naturais relacionados às falésias ativas no contexto em questão. As falésias são declives acentuados compostos por diferentes tipos de sedimentos, encontrados próximos à costa e ocasionalmente sujeitos a movimentos de solo que alteram sua topografia, evidenciando a ocorrência de processos erosivos na superfície dos Tabuleiros Costeiros (AB'SABER, 2001). A ação das ondas e correntes marinhas na base da falésia resulta na erosão, o que acarreta o colapso das suas paredes, levando-a a assumir uma forma verticalizada (Figura 2.1).

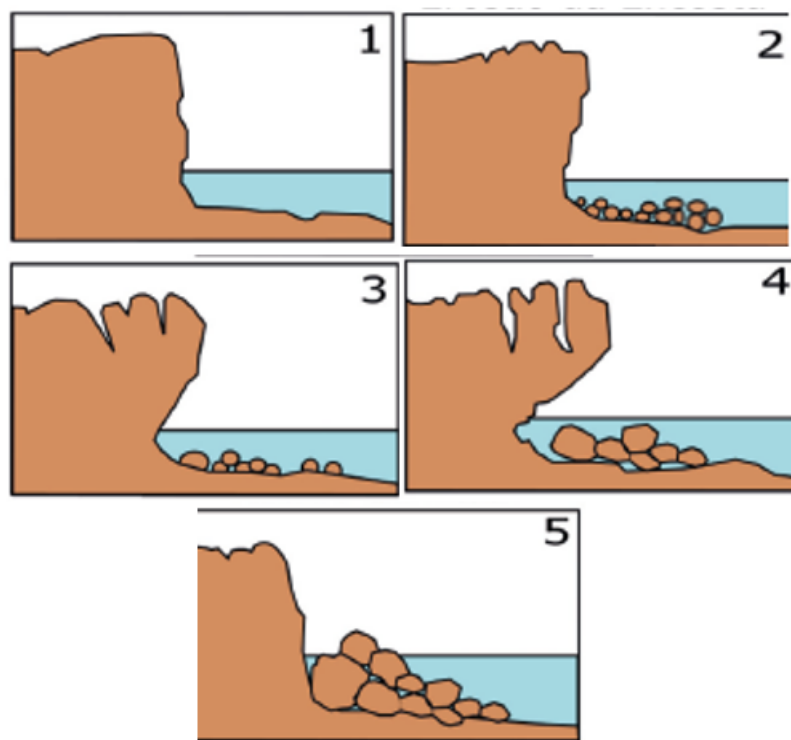


Figura 2.1 – Esquema ilustrativo da ação erosiva sobre as falésias. 1 – Encosta estável; 2 – Erosão da Encosta; 3 – Instabilidade da encosta; 4 – Queda de blocos; 5 – Acumulo de blocos na base. Fonte: Modificado de Malta *et al.* (2021).

No litoral do estado do Rio Grande do Norte, é possível encontrar tanto falésias ativas quanto falésias inativas. As falésias ativas são aquelas que sofrem a ação direta do mar em sua base, enquanto as falésias inativas estão localizadas a uma certa distância da linha de preamar, o que reduz os fatores naturais que contribuem para os processos erosivos que as tornam instáveis (IBGE, 1999). No âmbito deste estudo, serão abordadas exclusivamente as falésias ativas, uma vez que estão diretamente ligadas à maior propensão de riscos geológicos, em conjunto com os fatores naturais de erosão, como a pluviosidade e a ação do mar. A figura 2.1 abaixo mostra como esses dois fatores influenciam no desgaste das falésias.

Observa-se que na figura 2.2 A, quando o mar avança, a água entra em contato direto com a base da falésia. Ao longo do tempo, ocorre o desgaste o seu desgaste, resultando em incisões na sua base e no preenchimento por areia de praia. Nesse processo, são formadas zonas de ruptura que, sem sustentação na base, podem ceder e causar acidentes. Por outro lado, as características influenciadas pela ação da chuva levam à formação de fendas de tração, que são preenchidas por água, infiltrando-se na rocha e fragilizando-a. Isso origina zonas de ruptura que podem levar à queda de material rochoso.

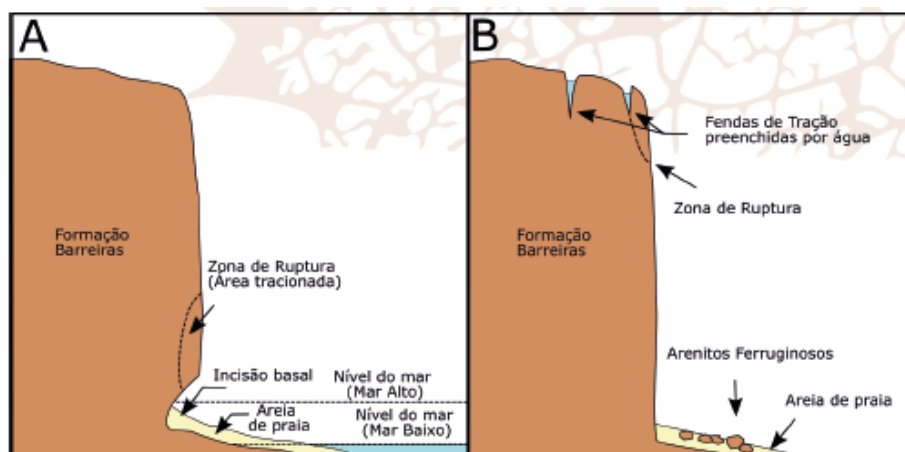


Figura 2.2 – Perfis esquemáticos mostrando como acontece a erosão nas falésias influenciada pela ação do mar na base da falésia representada em A. Em B pela água da chuva no topo da falésia. Fonte: Modificado de Malta *et al.* 2021.

- **Planície Costeira**

A Planície Costeira do Rio Grande do Norte abrange uma estreita, mas extensa franja ao longo do litoral potiguar, invariavelmente posicionada entre a linha de costa e os Tabuleiros Costeiros, sendo que estes estão, em grande parte, sustentados por rochas sedimentares pouco litificadas do Grupo Barreiras ou, em muito menor expressão, por rochas sedimentares das formações Tibau e Jandaíra. Por vezes, esses tabuleiros estão diretamente colocados junto à linha de costa, formando falésias com desnivelamentos superiores a 20 m de grande beleza cênica. Nesses trechos, localizados no litoral leste do estado, principalmente entre os municípios de Baía Formosa e Natal, as planícies costeiras são descontínuas ao longo do litoral. Esse domínio geomorfológico apresenta um diversificado conjunto de padrões de relevo deposicionais de origens eólica, fluvial e marinha, dentre os quais se destacam Campos de Dunas e Planícies Fluviomarinhas, apresentando extensos manguezais.

A Planície Costeira do Rio Grande do Norte pode ser individualizada em duas seções principais: litoral leste, de clima úmido em zona de Mata Atlântica, com ocorrência de chuvas mais intensas ao longo do inverno, devido às precipitações promovidas pela massa Equatorial Atlântica (mEa) (clima As, segundo Köppen); litoral norte, de clima semiárido, em zona de Caatinga, com prolongada estiagem e um curto período chuvoso entre o verão e o outono, associado à atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (clima Bsh, segundo Köppen). O litoral leste se estende desde Baía Formosa até uma área compreendida entre o lendário Cabo de São Roque (notável ponto de inflexão da linha de costa nordeste brasileira e

importante marco geográfico desde tempos coloniais) e Touros. O litoral norte, por sua vez, estende-se desde uma área compreendida entre Touros e São Miguel do Gostoso até Tibau.

Os Campos de Dunas ocupam grande parte da planície costeira potiguar, tanto no litoral leste quanto no litoral norte, embora as acumulações eólicas mais expressivas abranjam um extenso trecho entre Tibau do Sul e Touros, no litoral leste. A remobilização eólica dos sedimentos arenosos marinhos é tão expressiva que não foram mapeadas planícies de cordões arenosos no litoral potiguar; muitas formações de dunas “cavalgam” as falésias do Grupo Barreiras e geram imensos campos eólicos sobre a superfície dos tabuleiros. Esse fato está associado à menor pluviosidade (e maior ação dos ventos e da erosão eólica) do litoral potiguar, em relação aos outros estados do Nordeste Oriental e, possivelmente, às condições paleoclimáticas pretéritas com aridez muito mais severa ao longo do Pleistoceno.

As dunas, associadas às praias e as falésias, formam um cenário geomorfológico de espetacular beleza cênica para todo o litoral leste potiguar, com excelente aproveitamento turístico. Localidades como Natal, Pipa e Genipabu representam áreas de atração de turismo internacional, com expressiva geração de emprego e renda para a população local. Extensas áreas de manguezais também se desenvolvem ao longo de estuários e baixos cursos dos rios Cunhaú, Japi, Potengi, Ceará-Mirim, Maxaranguape, Caramupim (este, desaguando na ria afogada de Guamaré-Galinhas), Piranhas-Açu e Apodi. Apesar de os mangues consistirem em áreas de preservação permanente (APPs), de grande relevância para a biota costeira (área de reprodução de peixes, crustáceos e aves), expressivas áreas de manguezais foram destruídas para implantação de polos de carcinocultura (criação de camarão), assim como no litoral norte, nos baixos cursos dos rios Piranhas-Açu e Apodi, para produção de sal. Macau e Areia Branca constituem o mais importante polo salineiro do país.

Algumas das principais cidades do estado do Rio Grande do Norte, incluindo sua capital, além de diversas estâncias de veraneio, estão situadas no litoral, ocupando sua planície costeira, destacando-se: Natal, Baía Formosa, Tibau do Sul, Maxaranguape, Touros, São Miguel do Gostoso, Caiçara do Norte, Guamaré, Macau e Areia Branca.

O intenso afluxo turístico sobre esses frágeis terrenos (seja sobre solos de mangue ou de dunas, com ocorrência de Gleissolos Sálícos e Neossolos Quartzarênicos, respectivamente) exige atenção especial quanto aos impactos ambientais decorrentes da expansão urbana e da “indústria do turismo” sobre essas áreas valorizadas, em especial, no que concerne ao

saneamento ambiental (coleta e tratamento de efluentes domésticos e disposição de resíduos) e preservação da vegetação nativa (DANTAS & FERREIRA, 2010).

2.2 CLIMA

Os mecanismos dinâmicos que produzem chuvas no Nordeste do Brasil podem ser classificados em mecanismos de grande escala, mesoescala e microescala, sendo os primeiros responsáveis pela maior parte da precipitação observada no Rio Grande do Norte (MOLION e BERNARDO 2002).

No Rio Grande do Norte, o único sistema de grande escala responsável por precipitações pluviométricas é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), uma vez que frentes frias não ocorrem em território potiguar. Todo o estado está sob influência da ZCIT, considerado o sistema gerador mais importante de precipitação sobre a região equatorial dos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico e nas áreas continentais adjacentes (Melo *et al.*, 2009) como no caso do RN. O sistema compõe o que Nímer (1977) denominou de correntes perturbadas de Norte.

A ZCIT pode ser definida como uma grande faixa de nebulosidade formada pela confluência dos ventos alísios de nordeste e sudeste, constituindo-se no principal sistema meteorológico indutor de chuvas no Nordeste e Norte brasileiro, durante o primeiro semestre, concentrando-se entre os meses de fevereiro a maio. A forma de esse sistema atuar está associada à configuração de condições atmosféricas e oceânicas apresentadas pelos oceanos Pacífico e Atlântico (PINHEIRO *et al.*, 2010).

A figura 2.3 a seguir mostra comportamento pluviométrico das mesorregiões potiguares:

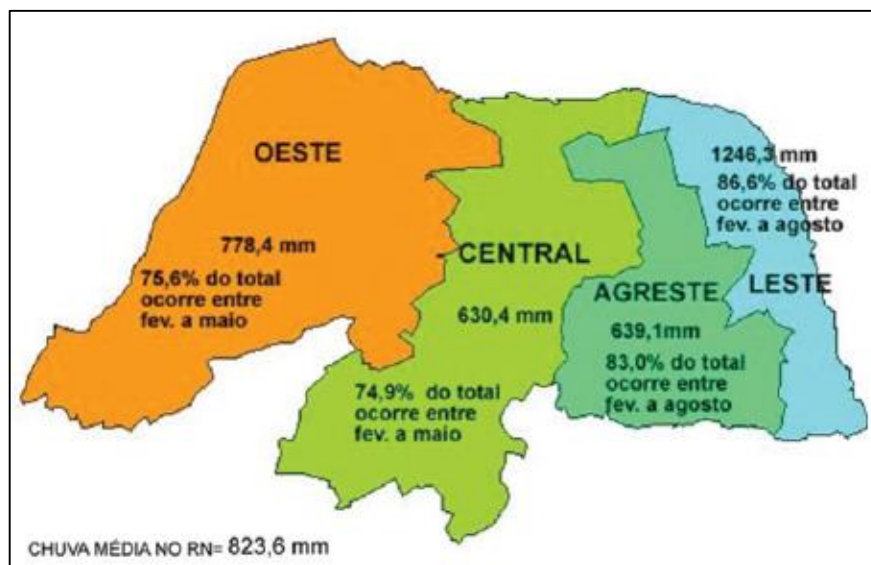


Figura 2.3 - Comportamento pluviométrico nas mesorregiões potiguares. Fonte: Pinheiro *et al.*, 2010

- ***Influência dos oceanos no regime pluviométrico do nordeste brasileiro***

De acordo com O regime pluviométrico do Nordeste brasileiro (NEB), no qual se insere o estado do Rio Grande do Norte, está diretamente ligado às condições oceânicas e atmosféricas dos oceanos Pacífico e Atlântico.

No Oceano Pacífico o fenômeno El Niño, definido como um evento de escala global, afeta a circulação geral da atmosfera, caracterizando-se pelo aquecimento anômalo das águas superficiais do oceano Pacífico equatorial. No Brasil, as consequências advindas desse fenômeno remetem à redução de chuvas no semiárido do Nordeste brasileiro e excesso de chuvas nas regiões Sul e Sudeste do país. Os grandes períodos de estiagem ocorridos no Nordeste brasileiro (como as grandes secas de 1958, 1983, 1998) foram consequências diretas da atuação do fenômeno El Niño. Este, além de influenciar o regime das chuvas da região, favorece um aumento significativo da temperatura do ar sobre o setor oriental do Nordeste. Entretanto, quando o oceano Pacífico equatorial apresenta águas mais frias que o normal, caracteriza-se um fenômeno inverso, conhecido como La Niña, o qual propicia a ocorrência de chuvas acima do normal no Nordeste brasileiro e redução da precipitação no Sul do país.

Em relação ao Oceano Atlântico há dois cenários apresentados que favorecem ou inibem chuvas no semiárido do Nordeste brasileiro:

- Cenário favorável: Quando, na bacia equatorial do Atlântico Norte, as águas superficiais apresentam-se menos aquecidas que as águas superficiais da bacia equatorial do Atlântico sul. Essa configuração faz com que o sistema de Alta Pressão do Atlântico Norte (APAN) se torne

mais intenso que o sistema de Alta Pressão do Atlântico Sul (APAS) e os ventos alísios de Nordeste mais intensos que os ventos alísios de Sudeste, deslocando a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) para posições ao sul da Linha do Equador.

- Cenário desfavorável: Quando, na bacia equatorial do Atlântico Norte, as águas superficiais apresentam-se mais aquecidas que as águas superficiais da bacia equatorial do Atlântico Sul, o sistema de Alta Pressão do Atlântico Norte (APAN) se torna menos intenso que o sistema de Alta Pressão do Atlântico Sul (APAS). Essa configuração ocasiona ventos alísios de Nordeste menos intensos que os ventos alísios de Sudeste, mantendo a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) ao norte da linha do Equador.

- ***A influência da pluviosidade na análise de risco***

A pluviosidade é um dos principais fatores para que ocorram movimentos gravitacionais em regiões de falésias, pois dependendo da quantidade de chuva que cai em uma determinada área afeta a estabilidade das falésias. A água da chuva pode infiltrar-se no solo, tornando-o mais fraco e suscetível a deslizamentos de terra. A umidade também pode enfraquecer as rochas e contribuir para a erosão desses ambientes aumentando o risco de colapso. Diante disso, foi feita uma caracterização pluviométrica nas áreas estudadas.

Os gráficos que serão apresentados a seguir foram confeccionados com base nos dados disponibilizados pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte – EMPARN.

O município de Baía Formosa apresenta um clima tropical chuvoso (CARVALHO *et al.* 2008). Observa-se para o município duas estações pluviométricas: um período de estiagem, de maior duração, que se estende de agosto a março; e uma estação chuvosa que se concentra nos meses de abril a julho (Gráfico 2.1). Sua pluviometria anual é de 1.552,1 mm.

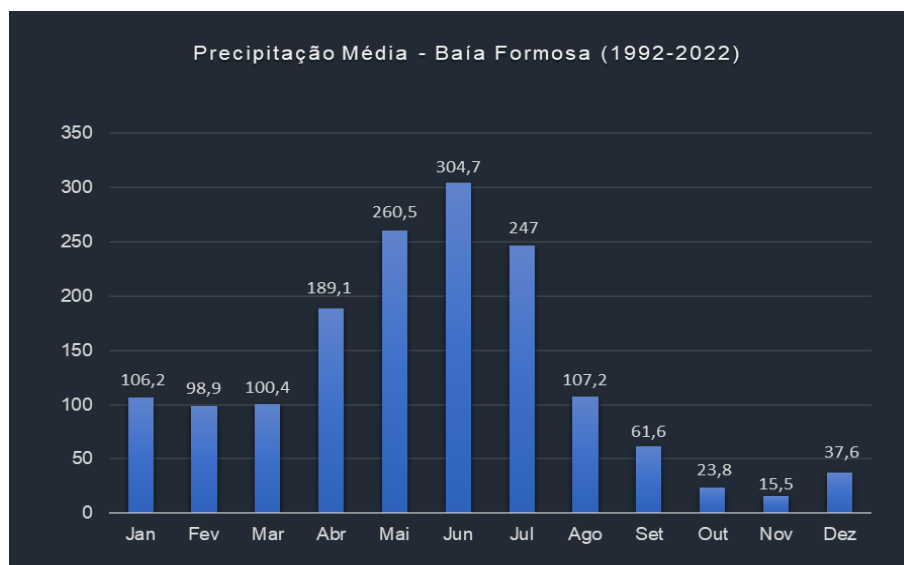


Gráfico 2.1 – Precipitação média de Baía Formosa. Fonte: EMPARN (2023)

O município de Nísia Floresta também apresenta um clima tropical chuvoso, com um período de estiagem entre os meses de agosto a fevereiro e os meses mais chuvosos de estendem nos meses de março a julho (Gráfico 2.2). Possui uma pluviometria anual de 1.525,2 mm.

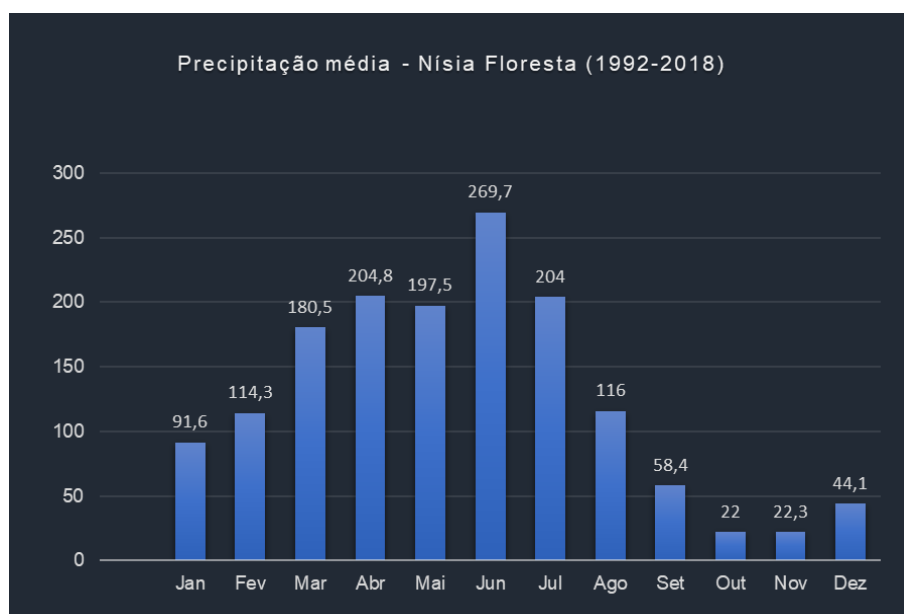


Gráfico 2.2 – Precipitação média de Nísia Floresta. Fonte: EMPARN (2023)

Parnamirim possui um clima tropical chuvoso com verão seco, com um período de estiagem entre os meses de agosto a março, e os meses chuvosos entre abril a julho (Gráfico 2.3). Apresenta uma pluviosidade anual de 1.420,9 mm.

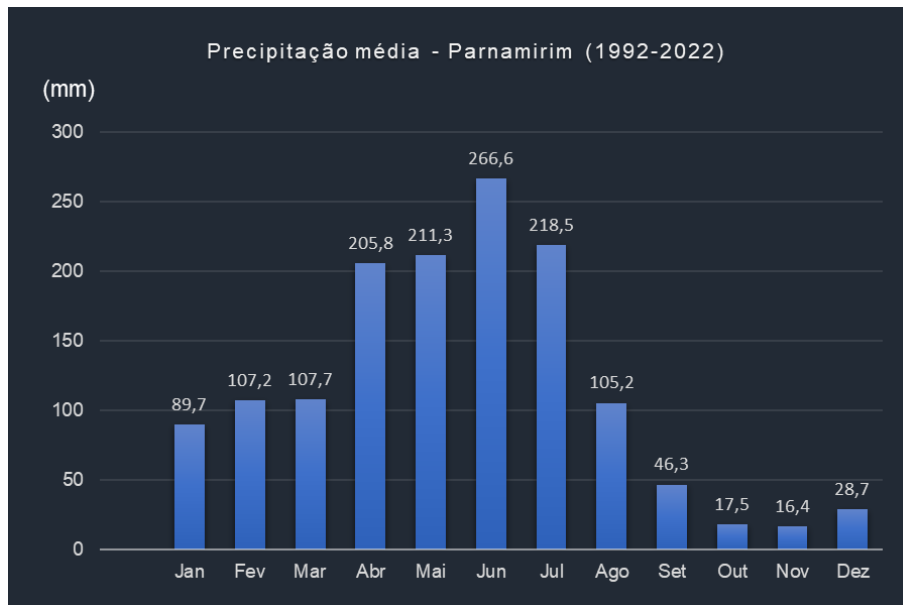


Gráfico 2.3 – Precipitação média de Parnamirim. Fonte: EMPARN (2023)

E o município de Tibau do Sul apresenta um clima tropical chuvoso com meses de estiagem entre agosto a fevereiro e os meses chuvosos entre março a julho (Gráfico 2.4). Com precipitação anual de 1.423,2 mm.

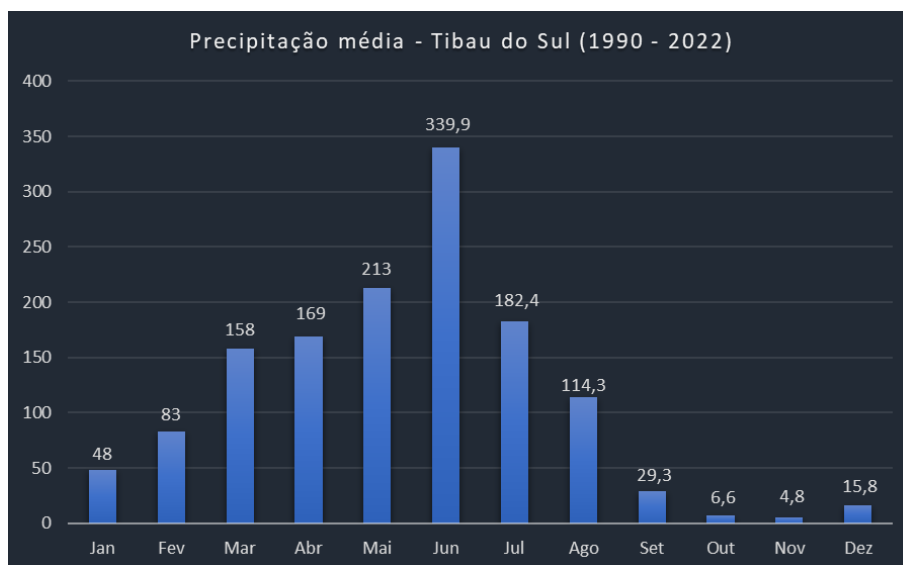


Gráfico 2.4 – Precipitação média de Tibau do Sul. Fonte: EMPARN (2023)

Nota-se que nos quatros municípios há praticamente apenas dois períodos pluviométricos, o de estiagem variando entre os meses de agosto a março e os chuvosos de março a julho, período este mais propício a ocorrência de deslizamentos de massa.

Vale salientar que, as mudanças climáticas globais, incluindo o aumento da temperatura média da Terra e a intensificação de eventos extremos, como tempestades, podem ter um impacto significativo na estabilidade das falésias. A elevação do nível do mar devido ao derretimento de geleiras e ao aumento da quantidade de água oceânica pode levar a uma maior erosão costeira e aumentar os movimentos gravitacionais nas falésias costeiras.

É importante ressaltar também que cada falésia é única e pode ser influenciada por uma combinação desses fatores climáticos. Além disso, outros fatores geológicos e geotécnicos locais também desempenham um papel importante na determinação da sua estabilidade.

2.3 COBERTURA VEGETACIONAL

O Rio Grande do Norte possui uma variedade de vegetação devido à sua localização geográfica e às características climáticas da região. As principais formações vegetais encontradas no estado são a Caatinga, a Mata Atlântica e os Manguezais. Especificamente na sua região litorânea encontra-se remanescentes da Mata Atlântica.

Dito o exposto de acordo com o Carvalho *et al.* (2008), os quatros municípios estudados configuram-se no bioma mata atlântica, bioma que originalmente se estendia ao longo da costa leste do Brasil, incluindo partes do Rio Grande do Norte. No entanto, devido ao intenso desmatamento ao longo dos anos, restam apenas pequenos fragmentos desse bioma no estado. Essa vegetação é caracterizada por árvores altas, densa biodiversidade e influência de climas mais úmidos.

Nas áreas objetos de estudo prevalece a vegetação de restinga, que é uma vegetação costeira que ocorre em áreas de acumulação de sedimentos, como praias, dunas e cordões litorâneos. É composta por plantas herbáceas, arbustivas e arbóreas e que sofrem interferências marinhas.

Na praia de Baía Formosa observa-se a vegetação do tipo arbórea (Figura 2.4), herbáceas (Figura 2.5) e arbustivas na praia de Barra de Tabatinga (Figura 2.6).



Figura 2.4 – Vegetação arbórea em Baía Formosa.



Figura 2.5 – Vegetação herbácea em Barra de Tabatinga.



Figura 2.6 – Vegetação do tipo arbustiva na praia de Barra de Tabatinga.

Nos sopés das falésias e, por vezes, na face e bordas dessas unidades, a cobertura com vegetação de restinga é mais densa, em virtude do acúmulo de água das chuvas que infiltra nessa porção (PIÉRRI, 2008). Já nas dunas que recobrem os tabuleiros costeiros se destaca vegetação arbustiva de pequeno porte, mas também partes remanescentes da Mata Atlântica, com espécies de cerrado e caatinga.

Piérrri (2008) menciona que a cobertura vegetal em escarpas inconsolidadas das falésias é capaz de indicar a estabilidade e o potencial de risco de movimentos, uma vez que sugere um baixo potencial erosivo, devido à reduzida infiltração de água e à proteção contra o vento (BUSH *et al.*, 1999). Pois a vegetação desempenha um papel importante na proteção e estabilização das áreas costeiras. Suas raízes ajudam a prevenir a erosão do solo e a dissipar a energia das ondas.

No entanto, é importante destacar que a vegetação de restinga enfrenta ameaças significativas, como a urbanização costeira, o turismo desordenado, a poluição e a extração de areia. Esses fatores têm levado à degradação e perda desse importante ecossistema, tornando a conservação da vegetação de restinga uma questão crucial para a preservação da biodiversidade costeira.

2.4 HIDRODINÂMICA COSTEIRA

O litoral do Rio Grande do Norte, assim como qualquer litoral, está sujeito a várias forças hidrodinâmicas costeiras que influenciam o comportamento das águas e a dinâmica das praias. Alguns dos principais processos hidrodinâmicos costeiros presentes nas regiões analisadas são os seguintes:

- Ondas

No geral, o litoral oriental do Rio Grande do Norte apresenta um padrão consistente de ventos e ondas predominantemente unidirecionais. Os ventos e as ondas são principalmente originados do quadrante ESE. Pinheiro *et al.* (2017) enfatizaram que as ondas que atingem a costa leste do Rio Grande do Norte se deslocam pela plataforma continental, principalmente vindas do sudeste e leste, apresentando alturas significativas médias variando entre 1,38 m e 1,50 m, e prevendo alturas significativas de até 2,9 m. Portanto, observa-se o efeito sinérgico dos ventos alísios juntamente com as ondas provenientes do E e SE.

- Marés

No litoral do Rio Grande do Norte, o regime de marés predominante é o de mesomarés semidiurnas. De acordo com os dados registrados no Porto de Natal, as amplitudes médias das marés de sizígia são de aproximadamente 2,4 metros, enquanto as marés de quadratura possuem amplitudes de 1,1 metro (Carta náutica DHN/MB, n.º 810 - Proximidades do Porto de Natal; DHN, 2009).

- Ventos

A análise realizada neste estudo revela que nos quatro municípios em foco, a direção dos ventos tende a ser predominantemente leste e sudeste (E e SE), acompanhada por uma velocidade média em torno de 4,4 m/s. Nos litorais, durante os períodos de máxima intensidade, os ventos alísios proporcionam a entrada da brisa marítima no continente.

- Correntes Marítimas

Ao longo do litoral oriental do Rio Grande do Norte, há duas correntes marítimas principais: a Corrente do Brasil e a Corrente das Guianas.

A Corrente do Brasil é uma corrente marítima quente que se desloca para o norte ao longo da costa leste do Brasil. Ela é formada pela bifurcação da Corrente Sul Equatorial

próxima ao Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Essa corrente é influenciada pelo sistema de circulação oceânica do Atlântico Sul e transporta águas quentes e salinas em direção ao norte.

A Corrente das Guianas, por sua vez, é uma corrente marítima fria que flui para o norte ao longo da costa das Guianas e se estende até o nordeste do Brasil. Ela é influenciada pelo sistema de circulação oceânica do Atlântico Norte e transporta águas mais frias e menos salinas.

Essas correntes podem influenciar as condições climáticas e o transporte de nutrientes ao longo da costa do Rio Grande do Norte, afetando a temperatura e a produtividade biológica da região. É importante ressaltar que as correntes marítimas podem variar sazonalmente e serem influenciadas por outros fatores, como ventos e marés.

3 CONTEXTO GEOLÓGICO

A extensão da zona sedimentar costeira do estado do Rio Grande do Norte abrange 410 km de costa e é caracterizada principalmente por praias arenosas (72%) e falésias ativas (26%), originárias principalmente da Formação Barreiras (26%). Essa região costuma ser dividida em dois setores distintos de acordo com a direção predominante da linha de costa: o Litoral Oriental, que se estende de Norte a Sul, e o Litoral Setentrional, que se estende de Leste a Oeste.

Geologicamente, o estado do Rio Grande do Norte encontra-se situado na porção oriental da plataforma nordeste da América do Sul, na região conhecida como Província da Borborema. A Província da Borborema foi caracterizada por (ALMEIDA *et al.*, 1977) como uma área complexa e diversificada, onde ocorreram significativos eventos tectônicos, térmicos e magmáticos durante o Neoproterozóico, associados ao ciclo Brasileiro.

O Setor costeiro Norte está situado na bacia Potiguar, enquanto o Setor Leste está localizado na bacia Pernambuco-Paraíba. Durante o Cretáceo superior, durante a fase pós-rifte da formação do Oceano Atlântico, essas bacias se desenvolveram, sendo separadas pelo alto de Touros. A evolução da Bacia Potiguar foi complexa, envolvendo elementos tanto da margem Equatorial quanto do Atlântico Sul. Essa bacia abrange uma porção marinha e outra terrestre, sendo que esta última está relacionada a um tipo de bacia rifte abortado (MILANI & TOMAZ FILHO, 2000). Por sua vez, a bacia Pernambuco-Paraíba representa o segmento mais ao Norte da margem extensional do continente sul-americano. Essa região foi a última a passar pelo processo de rifteamento devido à natureza e à alta rigidez das rochas cratônicas do embasamento pré-cambriano (MATOS, 1998).

Segundo Milani & Thomaz Filho (2000), ocorreram eventos tectônicos na Bacia Potiguar desde o Oligoceno. A compressão L-W, ao longo de falhas pré-existentes com tendência NE-SW, contribui para tornar essa região uma das mais sismicamente ativas do Brasil. Dados históricos e instrumentais também confirmam a teoria de que as bacias de Pernambuco-Paraíba e Potiguar estão localizadas em uma das áreas mais ativas em termos de atividade sísmica dentro da intraplaca da América do Sul (Ferreira *et al.*, 1998, 2008). Ambas as bacias apresentam exposições notáveis de sedimentos Cenozoicos areno-argilosos da Formação Barreiras, que foram depositados por sistemas fluviais com influência marinha.

A plataforma continental adjacente é um sistema atualizado e extremamente dinâmico de sedimentação mista, que combina carbonatos e siliciclásticos. Ela se destaca pela sua estreita largura e águas rasas, em contraste com outras regiões da plataforma brasileira. Em média, possui uma extensão de 40 km, e a ruptura da plataforma ocorre em profundidades entre 60 e 70 metros (VITAL *et al.*, 2010; GOMES *et al.*, 2014; VITAL, 2014).

A deriva litorânea desempenha um papel significativo na distribuição de sedimentos ao longo da faixa costeira. No entanto, a compreensão completa do fornecimento de sedimentos costeiros e do transporte eólico das praias para o continente ainda não é totalmente clara na costa do Rio Grande do Norte. Esses dois fenômenos podem estar associados a um nível relativo mais baixo do mar, que teria exposto a plataforma à ação do vento. Alternativamente, eles podem estar relacionados a níveis relativos mais altos do mar, que permitiriam a erosão das falésias e a deposição aumentada de sedimentos nas praias, resultando em um excedente de sedimentos. Para identificar corretamente o processo envolvido, é necessário realizar uma datação sistemática dos diversos campos de dunas, utilizando um arcabouço cronoestratigráfico bem projetado para correlacionar com a curva de mudança do nível do mar (VITAL *et al.*, 2016).

A subdivisão do litoral do Estado do Rio Grande do Norte em dois setores é essencialmente determinada pela sua localização geográfica, que resulta em uma preferência de direção da linha costeira. No setor oriental, a direção predominante é de Norte para Sul, enquanto no setor setentrional, a direção predominante é de Leste para Oeste. Essas diferenças estão associadas a variações climáticas e tectônicas, que, por sua vez, influenciam o padrão de ventos e a circulação oceânica. Esses fatores combinados moldam o litoral do norte do Rio Grande do Norte.

O Litoral Oriental do Rio Grande do Norte abrange uma extensão de 166 km, sendo limitado ao Sul pela praia do Sagi, no município de Baía Formosa (divisa com a Paraíba), e ao Norte pelo Cabo Calcanhar, no município de Touros. Esse trecho representa 41% do litoral do estado e está dividido da seguinte forma: 101 km (61%) de praias arenosas planas e estreitas, e 65 km (39%) de falésias ativas, onde os tabuleiros costeiros da Formação Barreiras encontram o mar (conforme VITAL *et al.*, 2018).

Este setor compreende uma faixa sedimentar onde se localiza o contato, ainda não definido, entre as bacias Potiguar e Pernambuco-Paraíba. Sendo este tipicamente dominado por ondas ou de energia mista e correntes costeiras longitudinais.

No setor oriental, a característica morfológica distintiva é a presença de sequências de baías, que consistem em zonas costeiras arenosas delimitadas por afloramentos rochosos ou promontórios. Essas áreas, também conhecidas como Baías em Zeta (DINIZ 1998, AMARAL 2000), recebem esse nome devido à sua geometria semelhante à letra grega Zeta. Elas representam um tipo muito particular de evolução, em que ocorre a erosão associada a padrões específicos de refração e difração de ondas. Isso é explicado como resultado de processos de erosão diferencial dos sedimentos da Formação Barreiras, quando há uma direção consistente de aproximação das ondas (DINIZ 1998, DINIZ & DOMINGUEZ 1999). Ao longo de uma baía em Zeta, as variações de energia causadas pelas ondas resultam em características distintas nas praias. As áreas protegidas pelos promontórios são mais calmas, enquanto as praias menos curvilíneas são expostas a águas mais agitadas (DINIZ, 2002).

A configuração da costa em forma de Zeta ou Baía em Zeta é mais comumente observada ao sul de Natal, onde os efeitos da estruturação neotectônica são mais acentuados (DINIZ 1998, BEZERRA *et al.* 1999, 2001). A intercalação de relevos elevados e depressões estruturais do tipo horst e grabens resultou na formação de planaltos com elevações de até 200 metros, compostos pela Formação Barreiras. Nas áreas costeiras, esses planaltos originam falésias que podem atingir até 15 metros de altura, as quais geralmente desaparecem nas regiões das depressões estruturais.

Na região ao norte de Natal, conhecida como litoral oriental, é possível observar um relevo predominantemente plano, sem grandes variações de altitude ou formações rochosas íngremes, como falésias. Nessa área, as características mais marcantes são as extensas praias e a presença de campos de dunas parabólicas ou blowouts, que são controladas pela vegetação

local. Além disso, em comparação com outras áreas, os efeitos da estruturação neotectônica nessa região são menos evidentes

O Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte é delimitado pelo Cabo Calcanhar, localizado no município de Touros, a leste, e pela praia de Tibau, no município de Tibau, a oeste (marcando a divisa entre os estados do RN e CE). Essa região possui uma extensão de 244 km, o que corresponde a 59% do litoral potiguar. Essa extensão é distribuída da seguinte forma: 194 km (80%) de praias de areia, 10 km (4%) de praias com lama, geralmente encontradas nas desembocaduras dos rios Piranhas-Açu, e 40 km (16%) de falésias ativas. O clima predominante na área é tropical quente e seco ou semiárido, conforme descrito por (NIMER, 1989).

Esta seção faz parte da Plataforma de Touros e representa uma elevação significativa na Bacia Potiguar (MATOS, 1992). A presença de eventos neotectônicos, muitas vezes resultantes da reativação de antigos lineamentos neoproterozoicos, também é mencionada nesta região costeira (FONSECA, 1996; BEZERRA *et al.*, 1998). Fonseca (1996, 2001) propõe que exista uma subdivisão nessa parte setentrional, que se estende da Ponta do Mel à Ponta dos Três Irmãos, como resultado dos sistemas de falhas conjugadas de Afonso Bezerra e Carnaubais. A sedimentação no Holoceno tem sido principalmente influenciada pela variação do nível do mar, bem como pelos padrões de transporte de dunas e correntes costeiras ao longo dessa costa semiárida (CALDAS 2002, STATTEGGER *et al.* 2006, CALDAS *et al.* 2006). Durante a última transgressão marinha, foram formadas barreiras transgressivas ao longo da costa, resultando em um sistema de ilhas-barreira que favoreceu a deposição típica de sedimentos lagunares na antiga costa.

Durante a descida do nível do mar, o pontal arenoso (spit) de Galinhos foi formado. Esse processo ocorreu quando o transporte de sedimentos ao longo da costa fechou os canais antigos que ligavam o mar à laguna, resultando em um aumento no transporte para oeste e sudoeste. O fechamento dos canais teve início aproximadamente 3330 anos Cal (Cal = idade calibrada), antes do presente (AP). Foi nesse período que os primeiros recifes arenosos ou rochas praias (beachrocks) se formaram, paralelos à praia e perpendiculares aos antigos canais.

Atualmente, os sistemas de ilhas barreiras são encontrados exclusivamente entre os dois importantes sistemas de falhas de Afonso Bezerra e Carnaubais (VITAL *et al.*, 2003; VITAL, 2009). No entanto, o modelo proposto por Caldas (2002), juntamente com os estudos de Silva (1991) e Fonseca (1996), poderia ser aplicado a toda a costa Norte do Estado do Rio Grande do

Norte. Isso ocorre porque a presença de paleo-lagunas na parte posterior das dunas pode ser observada ao longo de toda a extensão da costa (VITAL, 2009; VITAL *et al.*, 2012, 2016).

A evolução desses sistemas de ilha barreira-pontal arenoso segue um padrão cíclico em uma escala de décadas (LIMA *et al.*, 2006; SILVEIRA, 2002; SILVEIRA *et al.*, 2006; SOUTO, 2002) e pode estender-se por milhares de anos (XAVIER NETO *et al.*, 2001; LIMA *et al.*, 2002; CALDAS, 2002). Essa tendência sugere a existência de antigos sistemas de ilhas barreiras que estão atualmente evoluindo para pontais arenosos e pontais que foram recentemente separados do continente, formando novas ilhas barreiras.

A plataforma setentrional foi amplamente moldada pelo tectonismo vertical Meso-Cenozóico, o qual exerceu uma influência significativa em sua configuração. A sedimentação e morfologia dessa plataforma foram fortemente influenciadas pela presença predominante de estruturas de grabens e horsts, tanto na porção emersa quanto na submersa da Bacia Potiguar. Especificamente, destaca-se a relevância do graben de Guamaré e do alto de Macau nesse contexto.

A morfologia de fundo por sua vez, influenciam diretamente nos processos erosivos e deposicionais desta área (VITAL *et al.* 2003, 2005, 2008, TABOSA, 2002, 2006).

3.1 GEOLOGIA LOCAL

Neste item, serão apresentadas as unidades litoestratigráficas encontradas nas áreas estudadas, com base nas interpretações de imagens de satélite e nos mapas das folhas São José do Mipibu e Natal. As áreas em questão localizam-se no litoral oriental, na parte sul, e abrangem uma variedade de formações geológicas que datam desde o Mesozoico até o Cenozoico. As principais unidades identificadas são as seguintes: o Grupo Barreiras, os depósitos eólicos desprovidos de vegetação e os depósitos litorâneos praias, conforme ilustrado no mapa geológico da região. (Figura 2).

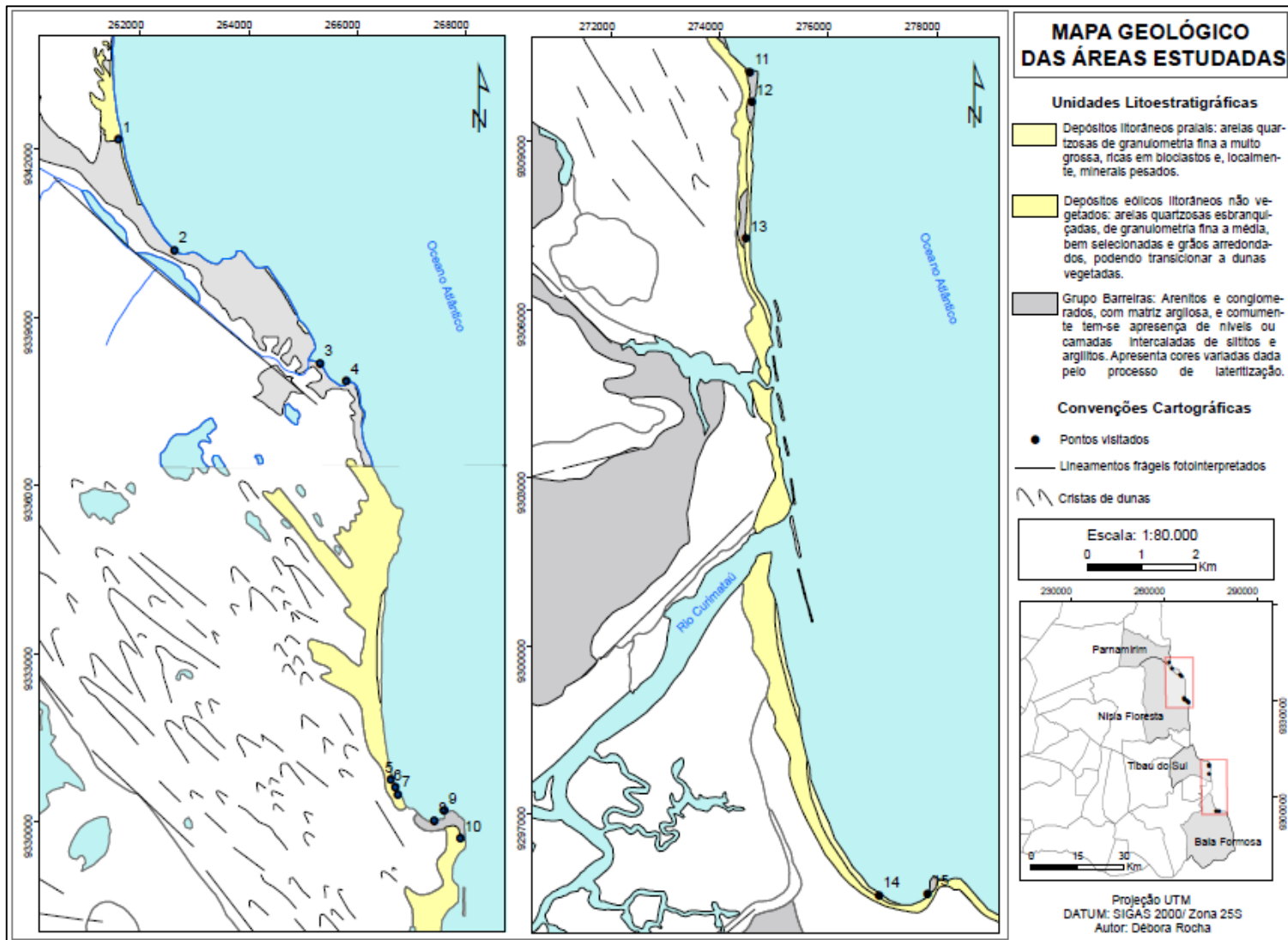


Figura 3.1 – Mapa geológico das áreas estudadas.

3.1.1 Grupo Barreiras

Os depósitos do Grupo Barreiras ocorrem na forma de tabuleiros (Figura 3.2) em uma ampla faixa do litoral brasileiro, que vai desde o Estado do Amapá até o Rio de Janeiro. O grupo vem sendo caracterizado por arenitos e conglomerados, de cores variadas (Figuras 3.3), matriz argilosa, ocorrendo fortemente laterizado ao longo de toda costa.



Figura 3.2 - Aspecto de campo das rochas do Grupo Barreiras. Observa-se a configuração tabular. Praia de Sibaúma, município de Tibau do Sul.



Figura 3.3 - Intercalações de arenitos de coloração avermelhados a branco exibindo estratificações plano-paralelas no topo e níveis conglomerados. Praia de Barra de Tabatinga, Nísia Floresta.

Diversos estudos foram realizados objetivando o entendimento do ambiente deposicional destas rochas do Grupo Barreiras. Araí (2006) e Rossetti (2006) sugeriram que os sedimentos do Barreiras foram depositados em um sistema fluvial entrelaçado, associado a leques aluviais, com influência de marés na porção mais distal do sistema. Estes depósitos estariam relacionados a um sistema fluvial meandrante a estuarino (MENEZES *et al.* 1998, ARAÚJO *et al.* 2006, MORAIS *et al.* 2006).

As análises de fácies nas rochas do Grupo Barreiras, realizadas nos estados do Pará, Maranhão, Bahia e Paraíba sugerem evidências do Grupo Barreiras em ambientes marinhos rasos e litorâneos (ROSSETTI 2006).

Divergências importantes existem em relação à idade desta unidade, sendo normalmente aceito no intervalo entre o Mioceno e o Plio-Pleistoceno. De acordo com Lima (2008), a partir de datação de óxidos de manganês ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) e óxidos/hidróxidos de ferro supergênicos ((UTh)/He) atribui idade de deposição no intervalo entre 22 e 17 Ma para os sedimentos do Grupo Barreiras. Resultados semelhantes foram obtidos por Araí *et al.* (1988) que através de estudos palinológicos posicionaram a parte inferior do Grupo Barreiras no Mioceno Inferior a médio na região norte do Brasil (Pará e Maranhão).

O Grupo Barreiras é composto por conglomerados e arenitos (Figura 3.4), com matriz argilosa, e comumente tem-se a presença de níveis ou camadas intercaladas de siltitos e argilitos.



Figura 3.4 - Arenito ferruginoso em contato com conglomerado.

3.1.2 Depósitos eólicos litorâneos não vegetados

Esta unidade posiciona-se sobre os arenitos do Grupo Barreiras, os Depósitos Eólicos Litorâneos Vegetados, os Depósitos Flúvio-Lacustres, ou ainda sobre sedimentos de mangue. Por vezes, também ocorrem transicionando para as dunas vegetadas. A ausência de vegetação nestes sedimentos atribui uma tonalidade esbranquiçada nas fotografias aéreas possibilitando uma melhor caracterização cartográfica.

São depósitos caracterizados por areias quartzosas, coloração esbranquiçada a amarelada, bem selecionadas, com grãos arredondados de granulometria média a fina, apresentando bom selecionamento (Figura 3.5). Mineralogicamente são constituídos predominantemente por quartzo, podendo ainda ocorrer fragmentos de conchas e líticos. A assembleia de minerais pesados identificada é composta principalmente por ilmenita, zirconita, turmalina, apatita e granada. Como principal fonte de suprimento tem-se os sedimentos dos Depósitos Litorâneos Praiais.



Figura 3.5 - Aspecto de campo dos depósitos eólicos não vegetadas na Praia de Tabatinga (Nísia Floresta/RN).

Estes depósitos arenosos são de origem eólica, formando dunas de várias formas e tamanho, porém, com predomínio dos tipos barcanóides. Observa-se um intenso retrabalhamento que ocorre principalmente pela ausência de cobertura vegetal e pela ação do vento.

3.1.3 Depósitos Litorâneos Praiais

Esses depósitos são caracterizados por areias quartzosas, de coloração cinza clara a amarelada, por vezes esbranquiçadas, com granulometria variando de areia fina a muito grossa, com predominância das frações areia média a fina, ricas em bioclastos e em minerais pesados, que definem os níveis mais escuros (Figura 3.6). As assembléias de minerais pesados são representadas por opacos, zircão e rutilo. Fragmentos de arenitos lateritizados, micas, e organismos marinhos diversos são frequentes e ocorrem numa granulometria variada.



Figura 3.6 - Aspecto de campo dos depósitos litorâneos praias. nota-se a coloração escura representada pelos minerais pesados.

Esta unidade sedimentar se desenvolve em ambientes altamente dinâmicos (ao longo da zona de praia) e está submetida à retrabalhamento constante, por processos fluviais, e principalmente, marinho e eólico. Estruturas do tipo ravinamentos, bioturbações e marcas de ondas foram frequentemente observadas.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para uma compreensão aprofundada do tema abordado neste trabalho, é imprescindível possuir conhecimentos básicos sobre os fatores envolvidos nas áreas investigadas e a forma como se inter-relacionam. Nesse contexto, serão abordados as temáticas de Praias arenosas e erosão costeira no Rio Grande do Norte, os movimentos de massa, a vulnerabilidade, o risco e o perigo, além das legislações pertinentes que respaldam o assunto.

Nas regiões costeiras, a distribuição de sedimentos é influenciada pelos processos de erosão, transporte e deposição tanto em ambientes terrestres como aquáticos. Quando há uma redução nessa distribuição, ocorre a perda de volume de sedimentos na praia, resultando em uma diminuição da sua largura e também em outros desequilíbrios ambientais. Esses desequilíbrios se manifestam através da remoção de material sedimentar do ciclo natural

(SOUZA *et al.*, 2005; SANTOS *et al.*, 2005). Nessa situação mencionada, a remoção contínua de sedimentos do equilíbrio sedimentar costeiro tem causado com frequência desastres geológicos, que estão associados à diminuição das faixas costeiras de proteção natural, perda de biodiversidade, inundações costeiras, deslizamentos de terra em encostas e eventos agravados pelas mudanças climáticas globais, bem como pelos efeitos locais dessas mudanças e ação humana descontrolada.

O estado do Rio Grande do Norte tem enfrentado alguns problemas relacionados à erosão costeira, causando impactos nas comunidades locais e na infraestrutura costeira podendo ocasionar desastres naturais, devido aos seus efeitos adversos em regiões como estas.

4.1 PRAIAS ARENOSAS E A EROSÃO COSTEIRA NO RIO GRANDE DO NORTE

As praias consistem em depósitos de material inconsolidado, como areia e cascalho, que se formam na interface entre a terra e o mar ou corpos aquáticos de grande porte, como rios e lagos. Esses depósitos são constantemente remodelados por processos naturais, como ondas, marés, ventos e correntes, que são influenciados por esses três elementos (SUGUIO, 1992; VOIGT, 1998, modificado). As praias são ambientes altamente dinâmicos e sensíveis, desempenhando várias funções, como a proteção costeira dos ecossistemas adjacentes e das atividades urbanas, além de serem locais para recreação, turismo e habitat de diversas espécies animais e vegetais.

O Brasil possui cerca de 9.200 km de litoral, abrangendo diferentes estágios de degradação, preservação e erosão costeira (SILVEIRA, 1964). O aumento do nível médio do mar (NM) ao longo do último século tem contribuído para o aumento das áreas em risco de erosão costeira. Além disso, o rápido crescimento populacional nas regiões costeiras pode transformar essas áreas em zonas de risco ou de manejo crítico em um futuro próximo. Portanto, compreender os processos costeiros e a resposta a essas mudanças é fundamental.

O sistema praiial pode ser dividido em diferentes ambientes, comumente referidos como zonas ou setores. Essa divisão é frequentemente representada em um perfil transversal à linha de costa, onde os ambientes e os processos correspondentes são diferenciados em duas dimensões. No limite superior ou interno (em direção ao continente), encontra-se a linha de vegetação permanente ou qualquer alteração fisiográfica abrupta, como falésias, dunas ou estruturas construídas pelo ser humano, como muretas, muros e anteparos. O limite inferior ou externo (em direção ao mar) é definido pelo nível base de ação das ondas ou pela profundidade de fechamento. Logo abaixo dessa área, em direção ao mar aberto, encontra-se a zona de

transição, cujo limite inferior ou externo é determinado pelo nível base das ondas de tempestade. A partir desse ponto, inicia-se a zona de costa-afora (offshore), que corresponde à plataforma continental interna (SOUZA *et al.*, 2005).

A nomenclatura dos ambientes costeiros, juntamente com as características associadas e os processos correspondentes, não é padronizada na literatura internacional ou brasileira. Assim, é importante que os trabalhos com foco no sistema praiial incluam definições claras dos diversos ambientes e características encontradas nesse sistema. Além disso, é recomendável que sejam fornecidas figuras explicativas, a fim de auxiliar o leitor a compreender de maneira precisa a terminologia utilizada. Neste trabalho, será adotada a proposta feita no trabalho de Souza *et al.*, (2005), conforme apresentada na figura 4.1, cujas zonas e setores são definidos a seguir:

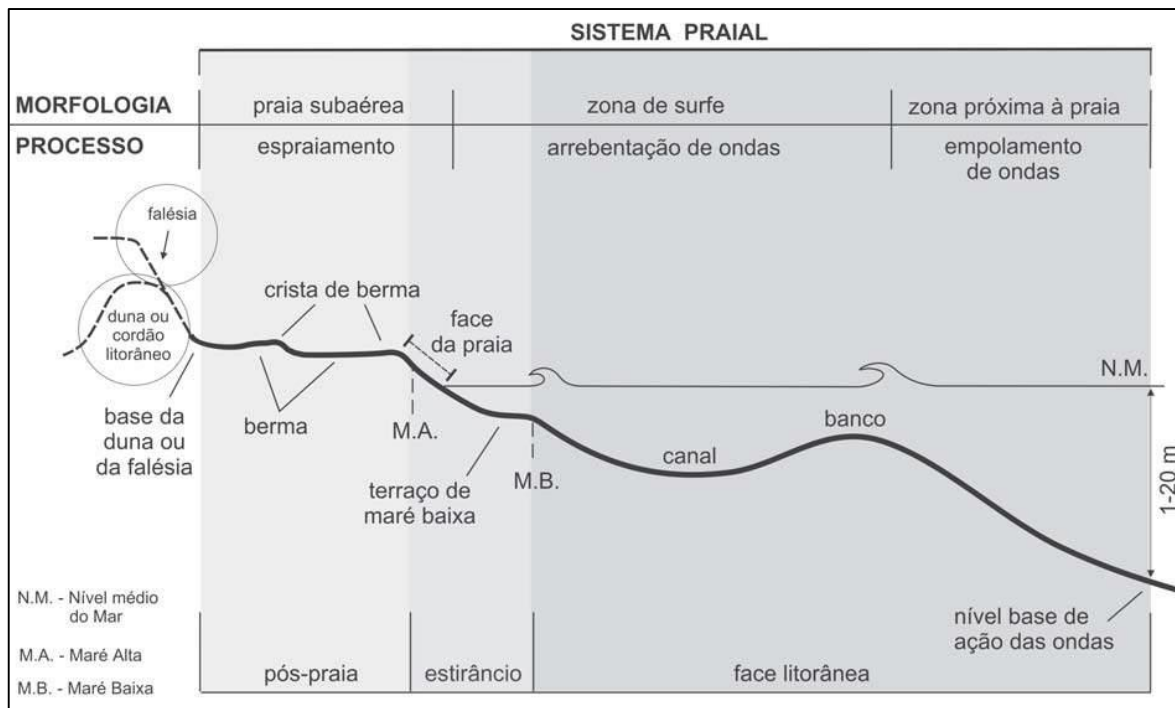


Figura 4.1 - Nomenclatura e limites do sistema praiial. Fonte: Modificado de Short, 1999).

- **Pós-praia (backshore):** é a área que se estende desde o nível do mar durante a maré alta de sizígia até a base de uma falésia, duna, terraço marinho e a linha de vegetação permanente. Essa área ocasionalmente é afetada pelas ondas de tempestade, que podem formar uma berma de tempestade, alcançar seu limite superior ou até mesmo ultrapassá-lo.
- **Estirâncio (foreshore):** é a área da praia localizada entre o nível do mar durante a maré alta de sizígia e o nível do mar durante a maré baixa de sizígia. Em áreas com grandes

variações de maré, essa zona pode ser subdividida em: zona de intermarés superior, delimitada pelas linhas de maré alta de sizígia e maré alta de quadratura, zona de intermarés média, delimitada pelas linhas de maré alta de quadratura e maré baixa de quadratura; e zona de intermarés inferior, delimitada pelas linhas de maré baixa de quadratura e maré baixa de sizígia.

- **Face litorânea (shoreface):** é a área localizada entre o nível do mar durante a maré baixa de sizígia e o nível de base de ação das ondas em condições favoráveis. Também é referida pelos biólogos e geólogos que estudam ambientes de macromarés como zona inframaré.
- **Praia subaérea:** é a área que se estende desde o ponto da última quebra de onda regular na superfície da praia até o limite máximo alcançado pela ação das ondas de tempestade. Essa área inclui tanto a pós-praia quanto uma parte do estirâncio. A posição da face de praia é alterada pelas variações diárias e sazonais do nível médio do mar.
- **Zona de surfe e arrebenção de ondas:** é a área que se estende desde a primeira linha de arrebenção de ondas até o ponto onde a última onda quebra na superfície da praia.
- **Zona próxima à praia (*nearshore zone*):** é a área situada entre o nível de base de ação das ondas em condições favoráveis e a primeira linha de arrebenção de ondas. Nessa região, ocorre o fenômeno de empolamento de ondas (*wave shoaling*), que consiste em uma progressiva redução do comprimento de onda e aumento da altura das ondas, resultando em sua arrebenção.

A erosão costeira no RN é um fenômeno que tem afetado várias regiões do estado, especialmente nas praias localizadas no litoral leste. A ação das ondas e das marés, somada à falta de planejamento e de medidas de proteção adequadas, tem causado o avanço do mar sobre a linha de costa, resultando em perda de faixas de areia, desabamento de falésias e danos à infraestrutura urbana e turística.

Seguindo o trabalho de Souza *et al.* (2005), os indicadores mais comuns da erosão costeira ao longo da costa do Estado do Rio Grande do Norte são (Vital 2006, Vital *et al.*, 2003, 2006):

1. Pós-praia muito estreita ou inexistente devido à inundação pelas preamares de sizígia (praias urbanizadas ou não);

2. Retrogradação geral da linha de costa nas últimas décadas, com franca diminuição da largura da praia, em toda a sua extensão ou mais acentuadamente em determinados locais dela (praias urbanizadas ou não);
3. Intensa erosão de depósitos marinhos e/ou eólicos pleistocênicos a atuais que bordejam as praias, provocando o desenvolvimento de falésias com alturas de até dezenas de metros (praias urbanizadas ou não);
4. Destruição de faixas frontais de vegetação de restinga ou de manguezal, presença de raízes e troncos em posição de vida soterrados na praia, devido à erosão e/ou ao soterramento causado pela retrogradação/migração da linha de costa;
5. Exumação e erosão de depósitos paleolagunares, turfeiras, arenitos de praia ou terraços marinhos holocênicos e pleistocênicos, sobre o estirâncio e/ou a face litorânea atuais, devido à remoção das areias praias por erosão costeira e déficit sedimentar extremamente negativo (praias urbanizadas ou não);
6. Destruição de estruturas artificiais construídas sobre os depósitos marinhos ou eólicos holocênicos, a pós-praia, o estirâncio, a face litorânea e/ou a zona de surfe;
7. Presença de concentrações de minerais pesados em determinados trechos da praia, em associação com outras evidências erosivas (praias urbanizadas ou não);
8. Desenvolvimento de embaíamentos formados pela presença de correntes de retorno concentradas e de zona de barlar ou centros de divergência de células de deriva litorânea localizados em local(s) mais ou menos fixo(s) da linha de costa.

Registros atuais de erosão costeira estão presentes em muitos trechos do litoral norte-riograndense, no trabalho de Helenice *et al.* 2018 indica que 245km (60%) da linha de costa encontra-se sob erosão ou ação de processos erosivos, enquanto 165km (40%) encontra-se estável (muito pouco em deposição). Entretanto, os processos de erosão no Estado do Rio Grande do Norte já vêm ocorrendo há muito tempo, como deduzido por Diniz & Dominguez (1999) e Diniz (2002), a partir da constatação da quase ausência dos terraços sedimentares costeiros do Holoceno e Pleistoceno no Setor Oriental.

4.2 MOVIMENTOS DE MASSA

Os movimentos gravitacionais de massa estão associados à ocorrência mais frequente de desastres naturais no Brasil. Esses eventos ocorrem em regiões onde os processos geomorfológicos passam por fases críticas de magnitude superior àquela considerada habitual, resultando em perdas de vidas, propriedades, bens, além de causar desorganização socioeconômica e ambiental nas áreas afetadas (FERNANDES, 2009)

Movimentos de massa ou gravitacionais são deslocamentos de materiais como solos, rochas, detritos e lama que ocorrem em encostas de morros, montanhas, encostas de rios e outros locais íngremes. Esses movimentos podem ser causados por diversos fatores, como chuvas intensas, terremotos, ação humana, entre outros.

Segundo o CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - os movimentos de massa são classificados em quatro tipos principais:

1. Quedas/Tombamentos/Rolamentos: Quedas se referem a movimentos de fragmentos rochosos que se desprendem de taludes íngremes e caem livremente no ar. Ocorrem quando esses fragmentos, de volumes variáveis, perdem sua aderência ao talude e são impulsionados pela gravidade. Os tombamentos ocorrem quando um bloco rochoso sofre um movimento de rotação frontal, projetando-se para fora do talude. Já os rolamentos são movimentos de blocos rochosos ao longo de encostas, geralmente desencadeados por deslizamentos do solo subjacente (Figura 4.2).

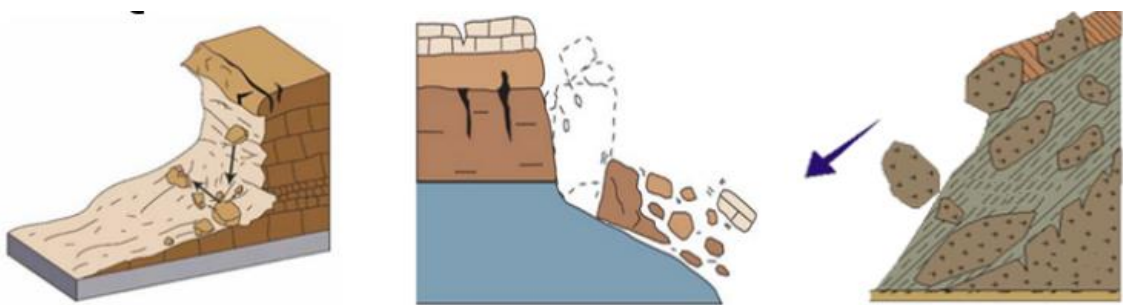


Figura 4.2 – Ilustração dos movimentos de massa por queda, tombamento e rolamento respectivamente.

Fonte: <http://www2.cemaden.gov.br/deslizamentos/>

2. Deslizamentos/Escoamentos: são fenômenos em que ocorrem movimentos de solo e rocha ao longo de superfícies de ruptura. Quando essa superfície de ruptura apresenta uma curvatura voltada para cima, semelhante a uma colher, e o movimento é rotatório em materiais superficiais homogêneos, o fenômeno é denominado de deslizamento

rotacional. Por outro lado, quando o escorregamento ocorre ao longo de uma superfície relativamente plana e está associado a camadas de solo mais rasas, é classificado como deslizamento translacional (Figura 4.3).



Figura 4.3 – Ilustrações dos tipos de movimentos de massa por deslizamento. Fonte: <http://www2.cemaden.gov.br/deslizamentos/>

3. Fluxo de Detritos e lama: Também conhecidos por Corridas de Massa, são movimentos de massa de grande velocidade desencadeados por intensas chuvas que causam um fluxo de água na superfície. Esse fluxo de água liquefaz o material superficial, resultando em um movimento descendente de um material viscoso composto por lama e detritos rochosos. Essa forma de movimento de massa possui um alcance considerável e é altamente destrutiva (Figura 4.3).

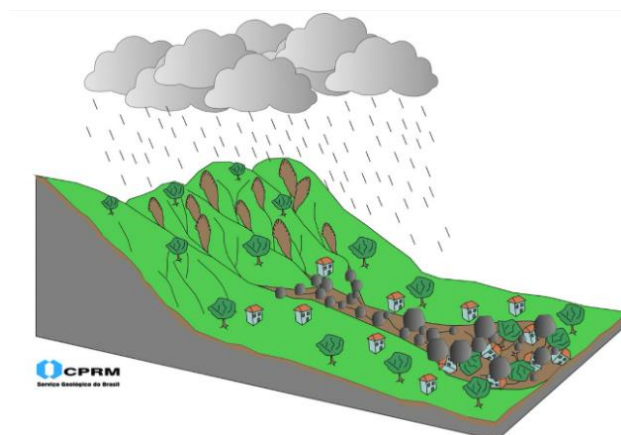


Figura 4.4 – Ilustração do fluxo de detritos e lama. Fonte: CPRM

4. Subsidência e Colapsos: Caracteriza-se pelo afundamento rápido ou gradual do terreno, ocasionados pelo colapso de cavidades, diminuição da porosidade do solo ou deformação de material argiloso. (Figura 4.4).

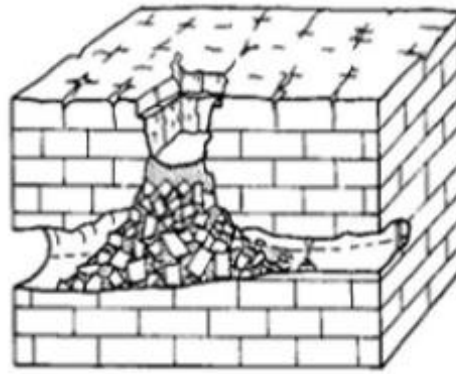


Figura 4.5 – Ilustração de subsidência e colapso. Fonte: <http://www2.cemaden.gov.br/deslizamentos/>

Contudo, os deslizamentos constituem o principal tipo de movimento de massa monitorado e alertado pelo Cemaden.

No nosso estado, os movimentos gravitacionais estão relacionados aos processos erosivos juntamente com a incidência dos ventos alísios, precipitação e a ação das ondas na base das falésias ativas (SANTOS Jr. *et al.*, 2005; AMARO *et al.*, 2015; AMARO *et al.*, 2021). Segundo Santos Jr. *et al.* (2006), as principais manifestações observadas no Rio Grande do Norte são as quedas de blocos, responsáveis pela deposição de material no pé dessas formações (formando depósitos de tálus). É relevante ressaltar que a alta precipitação na costa leste, combinada com a força dos ventos alísios e das ondas, a falta de vegetação e a declividade acentuada dos taludes, amplificam os processos de colapso e desestabilização nas falésias em atividade.

Em regiões de falésias a topografia desempenha um papel fundamental na ocorrência de quedas de blocos. Encostas íngremes e inclinadas são mais suscetíveis a esse tipo de fenômeno, especialmente se as rochas subjacentes são frágeis ou mal consolidadas.

Atividades antrópicas também podem influenciar na ocorrência de movimentos de massa, como: remoção da vegetação local, construções inadequadas, lançamentos inadequados de lixo, entulhos e água, infiltrações ocasionadas por vazamentos de redes de esgotos próximas aos taludes.

Em resumo os movimentos de massa podem ter impactos graves na população e na infraestrutura, causando prejuízos materiais, perdas humanas e impactos ambientais. Por isso, é importante que haja monitoramento e prevenção desses fenômenos em áreas de risco.

4.3 RISCO GEOLÓGICO

O risco é a relação entre a probabilidade de ocorrência de um evento geológico adverso e a magnitude de suas consequências socioeconômicas. Os eventos adversos são aqueles que apresentam potencial de provocar danos à sociedade, como os deslizamentos, inundações, terremotos, vulcanismo, dentre outros. E o risco geológico se refere a áreas que podem sofrer perdas ou danos causados por eventos geológicos adversos sejam eles naturais ou induzidos pelo homem. b

É importante lembrar que o grau de risco está diretamente relacionado à vulnerabilidade do elemento, grupo ou comunidade exposta. Quanto maior a vulnerabilidade, maior o grau de risco.

Neste contexto, é importante ressaltar também os conceitos de vulnerabilidade e perigo. Baseado nos entendimentos de Ellison (1948), Augusto Filho (1992), Merritt *et al.* (2003), Morgan (2005), Ministério das Cidades & IPT (2007), FELL *et al.*, 2008, UNISDR (2009), Julien (2010) e Bitar (2014), pois embora sejam conceitos distintos, estes três fatores estão interconectados e desempenham papéis importantes na análise de situações de risco.

- Vulnerabilidade: grau de perda de um dado elemento ou grupo de elementos em uma área afetada por um evento adverso. Em geral, quanto maior a vulnerabilidade, maior o risco.
- Perigo: condição com potencial para causar consequência indesejável em um intervalo de tempo. Deve incluir o local, a área de deflagração e atingimento, velocidade e probabilidade de ocorrência em um dado período de tempo.

Na sociedade contemporânea, existe uma proximidade entre risco e perigo, mas é importante destacar que eles não devem ser confundidos, uma vez que o risco está relacionado à probabilidade de ocorrência de um evento indesejado. Esse risco leva em consideração a vulnerabilidade, suscetibilidade ou exposição do indivíduo, da comunidade e do ambiente físico-natural (GIRÃO *et al.*, 2018). O estudo desses conceitos é fundamental para avaliar e gerenciar os riscos geológicos e para implementar medidas de prevenção e mitigação de desastres naturais. O diagrama (Figura 4.5) a seguir demonstra como estes três fatores estão relacionados, a interseção entre os conceitos de perigo, exposição e vulnerabilidade demonstra que o termo "risco" está intrinsecamente presente em todo o contexto da sua construção. É

possível observar que o desastre ocorre quando há uma convergência entre a exposição de uma sociedade vulnerável ao perigo.

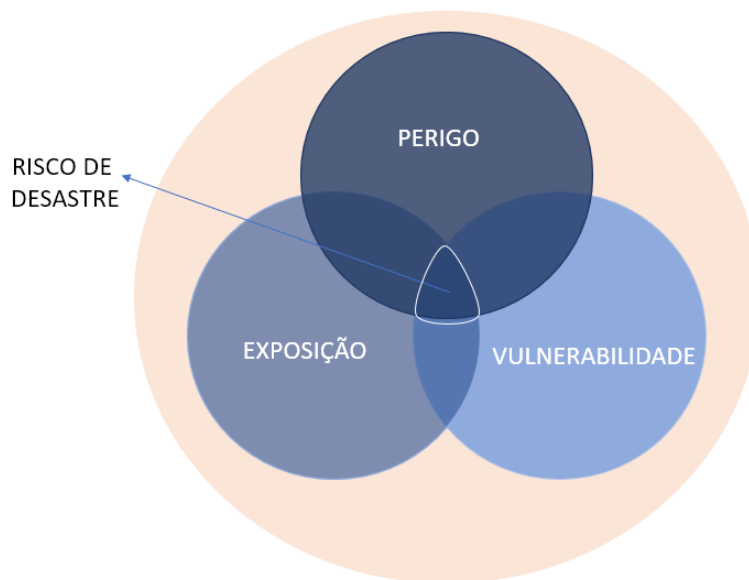


Figura 4.6 - Diagrama de análise da relação entre Perigo, Exposição e Vulnerabilidade como elementos de interseção do desastre. Fonte: Adaptado de Licco & Seo, 2013.

Diante o exposto, a classificação do nível de risco das áreas analisadas neste estudo será realizada com base nas orientações do "Guia de Procedimentos Técnicos" do Departamento de Gestão Territorial sobre a Setorização de Áreas de Risco Geológico da CPRM (LANA et al., 2021). Esse guia adota a proposta do Ministério das Cidades e do IPT (BRASIL, 2007), que estabelece quatro categorias de risco, que vão desde risco baixo (R1) até risco muito alto (R4), conforme mostrado na tabela 4.1.

GRAU DE PROBABILIDADE	DESCRIÇÃO
R1	<p>1. Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de BAIXA OU NENHUMA POTENCIALIDADE para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos.</p> <p>2. Não são observados sinais/feições/evidências de instabilidade. NÃO HÁ INDÍCIOS de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens.</p> <p>3. Mantidas as condições existentes, NÃO SE ESPERA a ocorrência de eventos destrutivos no período compreendido por uma estação chuvosa normal.</p>
R2	<p>1. Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de MÉDIA POTENCIALIDADE para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos.</p> <p>2. É observada a presença de sinais/feições/evidências de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipientes. Processo de instabilização EM ESTÁGIO INICIAL de desenvolvimento.</p> <p>3. Mantidas as condições existentes, e REDUZIDA A POSSIBILIDADE de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</p>
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>
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>

Tabela 4.1 - Classificação do risco a partir da probabilidade de ocorrer movimentos gravitacionais de massa.

Fonte: Lana *et al.* (2021), adaptado de Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (BRASIL, 2007)

As classes mencionadas surgem da interação entre vulnerabilidade e perigo, o que viabiliza a elaboração do Mapa de Índice de Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa, conforme a abordagem estabelecida por Lana *et al.*, 2021, a qual também será explorada neste trabalho.

Por fim, os três tópicos abordados neste capítulo - erosão costeira, movimentos de massa e risco geológico - estão intrinsecamente ligados no contexto do ambiente costeiro. A erosão costeira desempenha um papel crucial no aumento do risco de movimentos de massa, como deslizamentos de terra, devido à remoção do suporte natural das encostas ou falésias. Por sua vez, os movimentos de massa podem impactar a linha costeira, alterando-a e tornando-a mais vulnerável à erosão costeira. Ambos esses processos contribuem para o risco geológico nas áreas costeiras, representando ameaças à segurança das comunidades, infraestruturas e meio ambiente.

4.4 AMPARO LEGAL

Com o objetivo de facilitar as discussões, interpretações e propostas neste trabalho, serão apresentadas neste tópico algumas legislações relacionadas ao tema abordado.

No Brasil, a legislação referente às falésias é complexa e envolve diferentes âmbitos, como a legislação ambiental, urbanística e de proteção ao patrimônio cultural.

A legislação relacionada às falésias é geralmente regulada pelos órgãos ambientais em nível estadual e municipal, pois as falésias são características geológicas presentes em diferentes regiões costeiras do país. Embora existam variações nas regulamentações entre diferentes estados e municípios, há algumas diretrizes e princípios gerais que podem ser observados.

Referente a legislação ambiental, as falésias são consideradas áreas de preservação permanente (APP). Essa classificação significa que são áreas protegidas e possuem restrições específicas para uso e ocupação. A principal legislação ambiental relacionada às falésias é a Lei nº 12.651/2012, conhecida como o novo Código Florestal, que estabelece as diretrizes gerais para a proteção das APPs.

- *Novo Código Florestal, Lei nº 12.651/2012, artigo. 4º, incisos V e VIII.*

- V - as encostas ou partes destas com declividade superior a 45º, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive;

- 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;

- Lei do Zoneamento Ecológico Econômico do Litoral Oriental do Estado do Rio Grande do Norte. nº 7.871, de 20 de julho de 2000, no artigo 9º, § 2º:

No Zoneamento Costeiro em algumas regiões, como no litoral nordeste, há instrumentos de ordenamento territorial, como o Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro (ZEEC), que estabelecem diretrizes específicas para o uso e ocupação do espaço costeiro, incluindo as falésias. Esses instrumentos visam conciliar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental.

Art. 9º Para efeito desta Lei, a Zona Especial Costeira (ZEC) subdivide-se em Áreas de Preservação (APs) e Áreas Urbanizadas e de Expansão Urbana (AUEs), conforme discriminação abaixo: e) as falésias;

§ 2º. Na unidade ambiental especificada na alínea e, fica definido, uma faixa de monitoramento especial, com 100 (cem) metros, medidos horizontalmente, a partir do sopé da falésias em direção ao continente, sendo passível de uso e ocupação, exceto nas áreas de vegetação nativa, dunas vegetadas, terrenos onde as condições geológicas não aconselhem edificações e nos primeiros 33 (trinta e três) metros da referida faixa.

- Resolução CONAMA nº 303/2002:

A resolução CONAMA nº 303/2002, dispõe sobre parâmetros, definições e limites de áreas de preservação permanente em áreas urbanas. As falésias costeiras podem ser consideradas áreas de preservação permanente em áreas urbanas.

Considerando que as Áreas de Preservação Permanente e outros espaços territoriais especialmente protegidos, como instrumentos de relevante interesse ambiental, integram o desenvolvimento sustentável, objetivo das presentes e futuras gerações, resolve:

Art. 2º Restrições de Uso: Devido à fragilidade geológica das falésias e sua importância para a conservação da paisagem costeira, é comum haver restrições para a construção de edificações próximas a essas áreas. A legislação costuma definir distâncias mínimas que devem ser respeitadas, a fim de evitar riscos de desabamentos e garantir a segurança da população.

Acesso Público: Em algumas situações, a legislação pode estabelecer regras específicas para o acesso público às falésias, visando garantir a segurança e evitar danos ambientais. Isso

pode incluir a definição de trilhas, mirantes ou outras estruturas para facilitar o acesso e ao mesmo tempo minimizar os impactos negativos.

No âmbito municipal, cada município estudado possui suas legislações, verificadas a seguir:

- Baía Formosa:

No município de Baía Formosa as falésias são consideradas como áreas especiais de interesse ambiental, como disposto no Art.20º.

Art.20º A Área Especial de Interesse Ambiental (AEIA) é definida por suas características naturais, fragilidade ambiental e localização, para a qual serão estabelecidos parâmetros específicos de uso e ocupação do solo.

§1º. Ficam instituídas as seguintes AEIAs:

I – AEIA 1: localizada próximo a comunidade de Sagi;

II – AEIA 2: identificada como as falésias e dunas sem ocupação, vedado qualquer intervenção numa faixa de 100 metros a partir da linha que define a borda da falésia, bem como em dunas, salvo quando licenciado pelo órgão ambiental responsável;

III – AEIA 3: Área de falésias localizada na Zona Urbana (Sede do município), ocupadas com edificações;

IV – AEIA 4: Área de falésias localizada na Zona Urbana (Sede do município), sem ocupação por edificações.

§2º. Somente o Poder Público municipal poderá intervir na falésia de que tratam os incisos III e IV deste artigo, para melhorias de infraestrutura voltada para o turismo de contemplação da paisagem e controle da qualidade ambiental.

- Nísia Floresta

No município de Nísia Floresta as falésias estão inseridas na Macrozona Especial de Proteção Ambiental disposto no Art.2º e inciso §4º.

Art. 2º Para garantir um ambiente ecologicamente equilibrado que assegure a perpetuação da biodiversidade, o equilíbrio ecossistêmico, o respeito à cultura e a história e a qualidade de vida para as atuais e futuras gerações, os seguintes bens são declarados Patrimônio Ambiental do Município de Nísia Floresta:

III - as falésias, suas encostas e platôs adjacentes, na profundidade de 33m em direção ao continente;

§4º A zona especial de proteção ambiental IV ZPA IV constitui-se de áreas de domínio público ou privado que estejam inseridas na área de abrangência de unidades de conservação da natureza, sejam elas de uso sustentável, ou de proteção integral, e destinam-se à conservação do sistema natural, a fim de assegurar o bem estar da população e conservar ou melhorar as condições ecológicas locais, não sendo permitida a descaracterização das belezas naturais, dos recursos hídricos e sistemas ecológicos ocorrentes, que constituem fonte de exploração turística da região e do Estado, compreendendo, especialmente, a orla marítima, as formações de **falésias** e as dunas, vegetadas ou não.

Dispõe também do Art.51º, onde são consideradas áreas de Preservação Permanente.

- Parnamirim

O município de Parnamirim classifica as falésias na terceira Zona de Proteção Ambiental, disposto no Art.19º:

Art.19. Para efeito desta lei considera-se Zona de Proteção Ambiental as áreas do Município que apresentam fragilidades e particularidades ambientais quanto as condições físicas naturais, tornando-as inapropriadas para a utilização, subdivididas conforme as seguintes prescrições.

I – Zona de Proteção Ambiental I (ZPA I): Margem dos rios e seus afluentes numa faixa de 120m a partir do eixo do canal fluvial;

II – Zona de Proteção Ambiental II (ZPA II): Margem das lagoas numa faixa de 30 metros a partir de sua margem;

III – Zona de Proteção Ambiental III (ZPA III): Mata de Emaús;

IV – Zona de Proteção Ambiental IV (ZPA IV): Falésias de Cotovelo numa faixa de 100 metros a partir de sua borda em direção ao continente;

V – Mata ciliar

Em relação ao zoneamento Costeiro e o uso do solo, vale salientar também o Art.35º e o Art.92º respectivamente.

Art.35º Não será permitida a urbanização em praias ou qualquer forma de utilização do solo que impeça ou dificulte o acesso as mesmas.

Art.92º A proteção do solo no município visa:

III – Priorizar o controle da erosão, a contenção de encostas e o reflorestamento das áreas degradadas.

- *Tibau do Sul*

O município de Tibau do Sul dispõe o Art.2º relacionado a essa temática;

Art. 2º Para garantir um ambiente ecologicamente equilibrado que assegure a perpetuação da biodiversidade, o equilíbrio ecossistêmico, o respeito à cultura e a história e a qualidade de vida para as atuais e futuras gerações, os seguintes bens são declarados Áreas de Interesse Ambiental do Município de Tibau do Sul: as praias, as faixas de orla continental e do território marinho até a profundidade de 10m (dez metros), observado o Decreto Federal 5.300/2004 e o Projeto Orla de Tibau do Sul; as dunas vegetadas e não vegetadas e os manguezais; **as falésias**; os aquíferos superficiais e subterrâneos; as matas ciliares; o ar; o conforto sonoro; a biodiversidade; recifes de corais e de arenito; as áreas de desova de tartarugas marinhas; as aves silvestres locais e os animais cetáceos marinhos; os campos dunares; a laguna de guaráiras; os Chapadões.

Parágrafo único. Todo o município de Tibau do Sul tem como objetivo a conservação ambiental, buscando a manutenção de seu aspecto de tipologia rústica, mantendo os seus atributos naturais, especialmente, garantindo a qualidade e quantidade de seus recursos hídricos, destacando-se as áreas destinadas à proteção integral dos recursos naturais.

5 METODOLOGIA

A metodologia aplicada este TCC, consiste em quatro fases, como visto na figura 5.1:

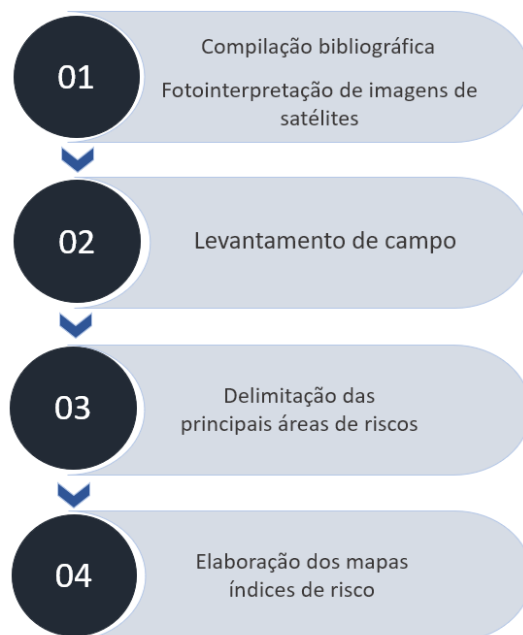


Figura 5.1 – Fluxograma das etapas para a confecção deste TCC.

5.1 COMPILAÇÃO BIBLIOGRÁFICA E FOTOINTERPRETAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITES

Na primeira etapa deste trabalho realizou-se uma compilação bibliográfica abrangente, reunindo informações relevantes de trabalhos anteriores relacionados ao tema em questão. Além disso, foi conduzida uma análise preliminar das áreas de estudo por meio do uso de ferramentas SIG. Com o objetivo de mapear possíveis áreas de risco, foram realizadas interpretações de imagens de satélite, utilizando o software Google Earth Pro para as imagens do satélite LANSAT 7 e o software QGIS versão 3.30.1 para as imagens capturadas pelo sensor CBERS-04A.

O software Google Earth é amplamente empregado na geologia para análises preliminares de áreas de interesse no mapeamento. Essa ferramenta permite a obtenção de uma variedade de dados, dependendo dos objetivos do trabalho. No contexto específico aqui abordado, utilizamos o software para delimitar as áreas de estudo que possuem falésias, coletando informações sobre a extensão e a altimetria desses locais.

O uso das imagens provenientes do sensor CBERS 4A neste estudo exemplifica como as geotecnologias podem ser benéficas para a análise do monitoramento costeiro. Por meio dessas imagens, torna-se possível acompanhar alterações na linha costeira, identificar processos erosivos, mapear áreas de manguezais, realizar análises dos ecossistemas costeiros e gerenciar as zonas litorâneas. Devido à alta resolução das imagens, é viável observar com detalhes as mudanças na faixa de praia e identificar as regiões sujeitas à erosão, seja por fatores naturais ou atividades humanas. Essas informações possuem um valor inestimável para a preservação das áreas costeiras e o planejamento de atividades relacionadas ao ambiente marinho.

É fundamental destacar que o sensor CBERS-4A apresenta uma variedade de resoluções espaciais e espectrais em seus dispositivos, o que possibilita a utilização de diversas técnicas de análise e a combinação de imagens de diferentes resoluções, resultando em uma visão mais abrangente da dinâmica costeira. Ademais, a integração de dados de satélite com outras informações geoespaciais e a aplicação de técnicas de modelagem podem fornecer dados mais minuciosos e precisos acerca da dinâmica costeira.

O Sensor CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite, Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) é um satélite brasileiro em conjunto com a China.

Ele possui 3 câmeras principais, a *WPM* (Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura) que possui 5 bandas espectrais, que operam no intervalo de 0,45 a 0,90 μ m sendo uma pancromática que agrega todo o intervalo com 2 metros de resolução espacial e outras 4 bandas multiespectrais com 8 metros de resolução. A *MUX* (Câmera multiespectral), sua principal função é manter a continuidade dos imageamentos feitos pelos três CBERS anteriores e ela não possui capacidade de visada lateral. Essa capacidade foi transferida para a câmera PAN. E a *WFI* (Câmera de Campo Largo) que mantém o propósito de obter imagens em curto espaço de tempo, permitindo formas mais eficientes de vigilância do território. As características de cada uma podem ser visualizadas na tabela 5.1 abaixo:

CARACTERÍSTICAS DAS CÂMERAS DO CBERS 04A			
Característica	WPM	MUX	WFI
Bandas Espectrais	0,45-0,52 μm (B) 0,52-0,59 μm (G) 0,63-0,69 μm (R) 0,77-0,89 μm (NIR) 0,45-0,90 μm (PAN)	0,45-0,52 μm (B) 0,52-0,59 μm (G) 0,63-0,69 μm (R) 0,77-0,89 μm (NIR)	0,45-0,52 μm (B) 0,52-0,59 μm (G) 0,63-0,69 μm (R) 0,77-0,89 μm (NIR)
Resolução	2m (PAN) / 8m	16,5 m	55 m
Larura da faixa Imageada	92 km	95 km	684 km
Visada Lateral de Espelho	não	não	Não
Revisita	31 dias	31 dias	5 dias
Quantização	10 bits	8 bits	10 bits
Taxa de Dados Bruta	1800.8 Mbps 450.2 Mbps	65 Mbps	50 Mbps

Tabela 5.1 – Principais características das câmeras do sensor CBERS 4A. Fonte: Modificado de <http://www.cbears.inpe.br/sobre/cameras/cbears04a.php>

Portanto, optou-se pela câmera WPM para uma análise mais aprofundada, uma vez que ela apresenta uma resolução espacial de 2m na banda pancromática, como indicado na tabela W em destaque vermelho.

As imagens do sensor CBERS 04A, aplicadas neste estudo serviram para identificar as zonas homologas, como: áreas vegetadas, áreas habitadas, arruamentos, faixa de praia, dunas e solo exposto. Para isso, as imagens foram coletadas no site <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/> do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. As imagens adquiridas são do dia 10 de outubro de 2022 e com uma mínima cobertura de nuvens para melhor visualização das feições.

No QGIS, primeiramente foi feito o empilhamento das bandas de resolução de 8m, ou seja, a inserção das quatro bandas espectrais, a B referente a banda do azul visível, G banda do verde visível, a R banda do vermelho visível e a NIR banda do infravermelho próximo para fazer a composição colorida. Para isto, foi utilizada a ferramenta Raster > Miscelânea > Mesclar. Os parâmetros foram preenchidos e foi criado um arquivo vrt. E a composição colorida foi feita, mas a composição gerada não possibilitou visualizar as feições desejadas, por isso após esse

processo foi feita o fusionamento dessa composição com a banda pancromática para melhores resultados.

O fusionamento foi feito utilizando a ferramenta Pansharpening > inserção da composição feita com a banda pancromática > novo arquivo vrt com a resolução de 2m.

Para identificação das zonas homologas tem-se que considerar que cada feição apresenta uma assinatura distinta de radiação eletromagnética (afloramentos, corpos de água, vegetação entre outros) pois cada uma absorve uma porção específica do espectro eletromagnético. Assim, de acordo com (FILHO *et al.*, 2020), certos deste conhecimento, de quais comprimentos de onda são absorvidos por certas feições e a intensidade da refletância, pode-se analisar uma imagem de sensoriamento remoto e se fazer suposições acuradas sobre a cena.

Tendo isso como base, para uma melhor identificação foi feita a composição colorida de falsa cor RGB432, no qual a vegetação apresenta a cor vermelha, as dunas uma coloração amarelada por vezes branco, a água azul escuro, as edificações por vezes esverdeadas ou branca, as rodovias cinza, arruamentos e solo exposto uma coloração marrom (Figura 5.2). Vale destacar que outras composições foram efetuadas, mas não obtiveram bons resultados, por isso a composição RGB432 foi a escolhida.

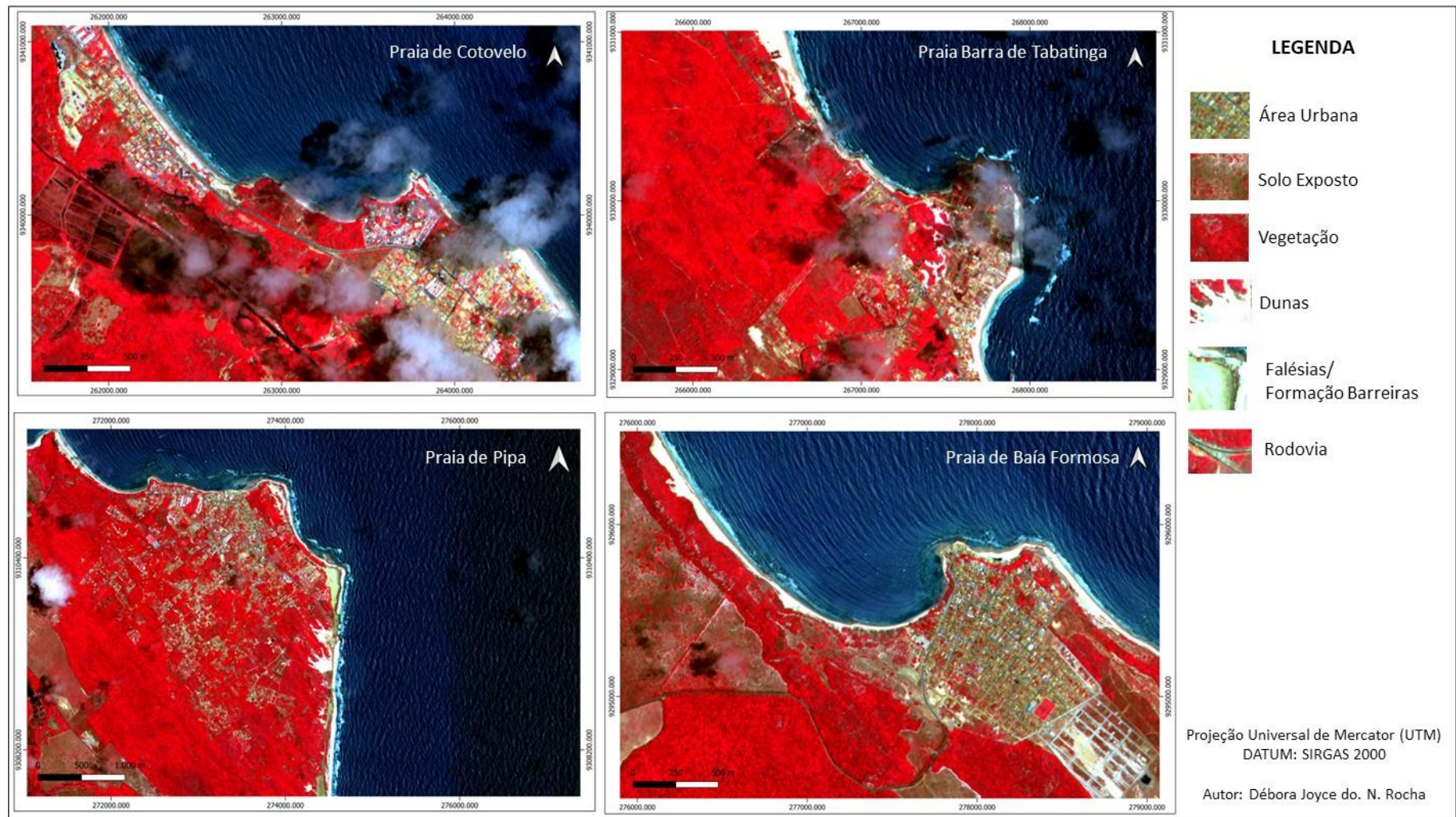


Figura 5.2 – Composição RGB432 das imagens CBERS 4A fusionadas de 2m de resolução das quatro áreas estudadas.

A seguir, serão apresentadas as imagens de cada praia ampliadas, com o objetivo de identificar as áreas mais propensas a desmoronamentos, ou seja, onde a erosão é mais intensa.

- Praia de cotovelo

Nesta área, mediante a análise de imagens de satélite, foi possível observar e identificar que a linha de berma apresenta uma redução significativa, enquanto o topo das falésias é, em sua maioria, coberto por vegetação. Além disso, é perceptível que a parte leste da região é mais densamente povoada (Figura 5.3).

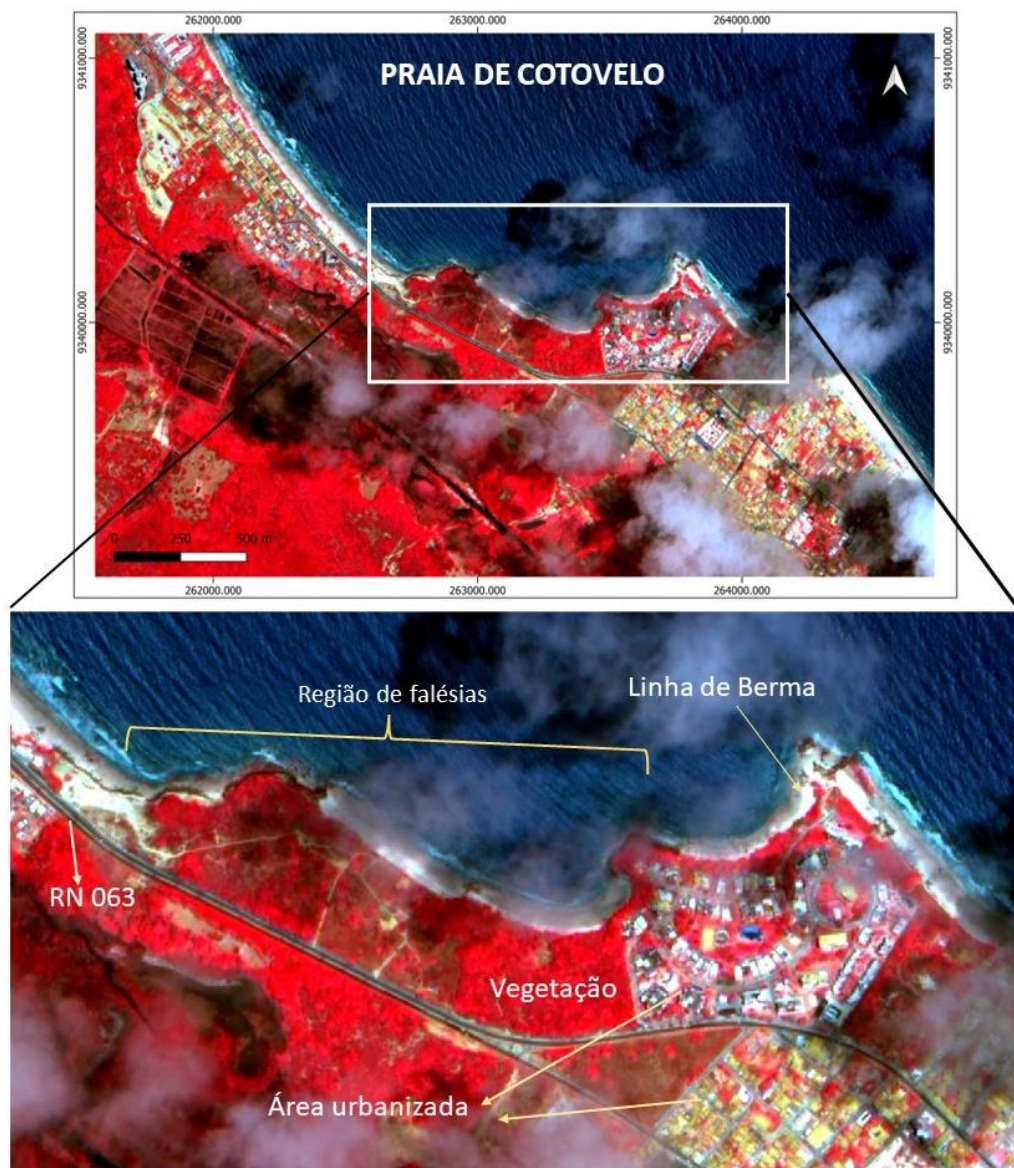


Figura 5.3 – Composição RGB432 colorida de falsa cor da praia de Cotovelo com as principais observações feitas no pré-campo.

- Praia de Barra de Tabatinga

Nesta praia, destacam-se dois elementos que merecem atenção: a proximidade da área urbanizada com a escarpa das falésias e a principal rodovia, a RN-063, como pode ser observado na imagem abaixo (Figura 5.4). Ao longo dos anos, essa região tem sido afetada por desmoronamentos, sendo o mais recente registrado em 18 de dezembro de 2022.

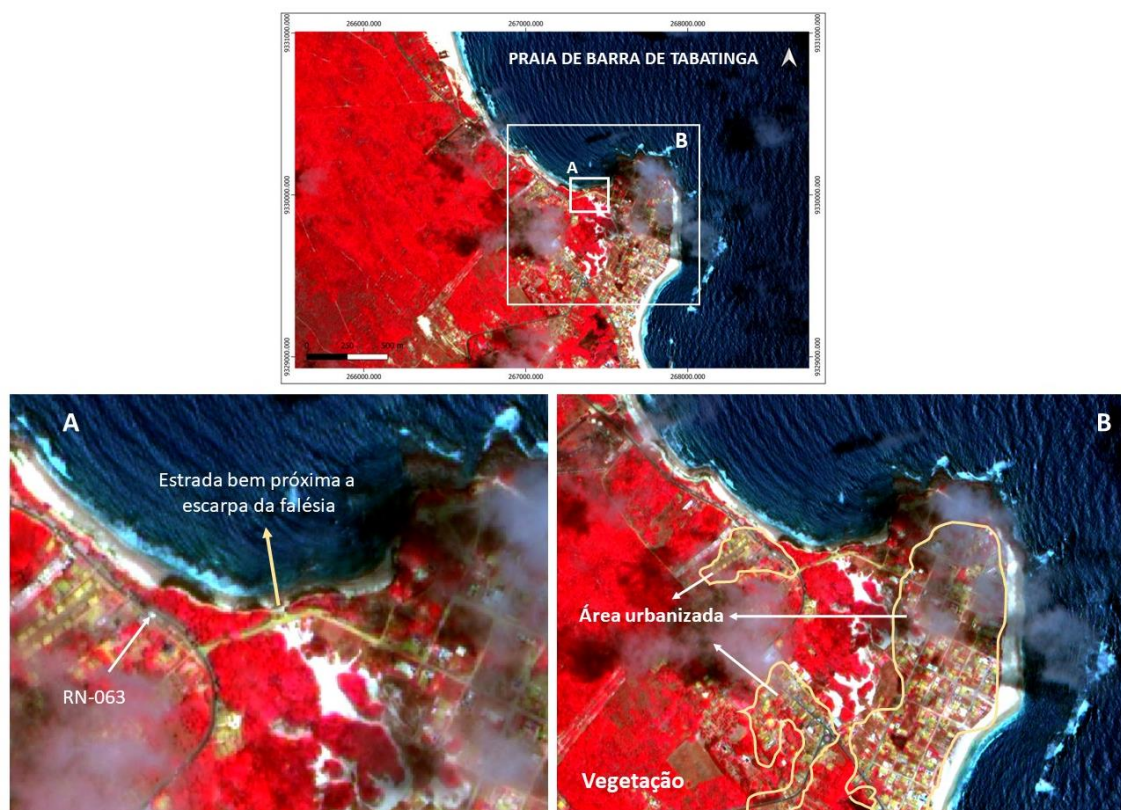


Figura 5.4 – Composição RGB432 colorida de falsa cor da praia de Barra de Tabatinga com as principais observações feitas no pré-campo.

- Praia de Pipa

Assim como as anteriores a Praia da Pipa, possui uma faixa de areia bastante reduzida, com áreas urbanas localizadas muito próximas ao penhasco das falésias. Nas imagens a seguir (Figura 5.5), é fácil identificar as falésias, que exibem uma tonalidade verde.

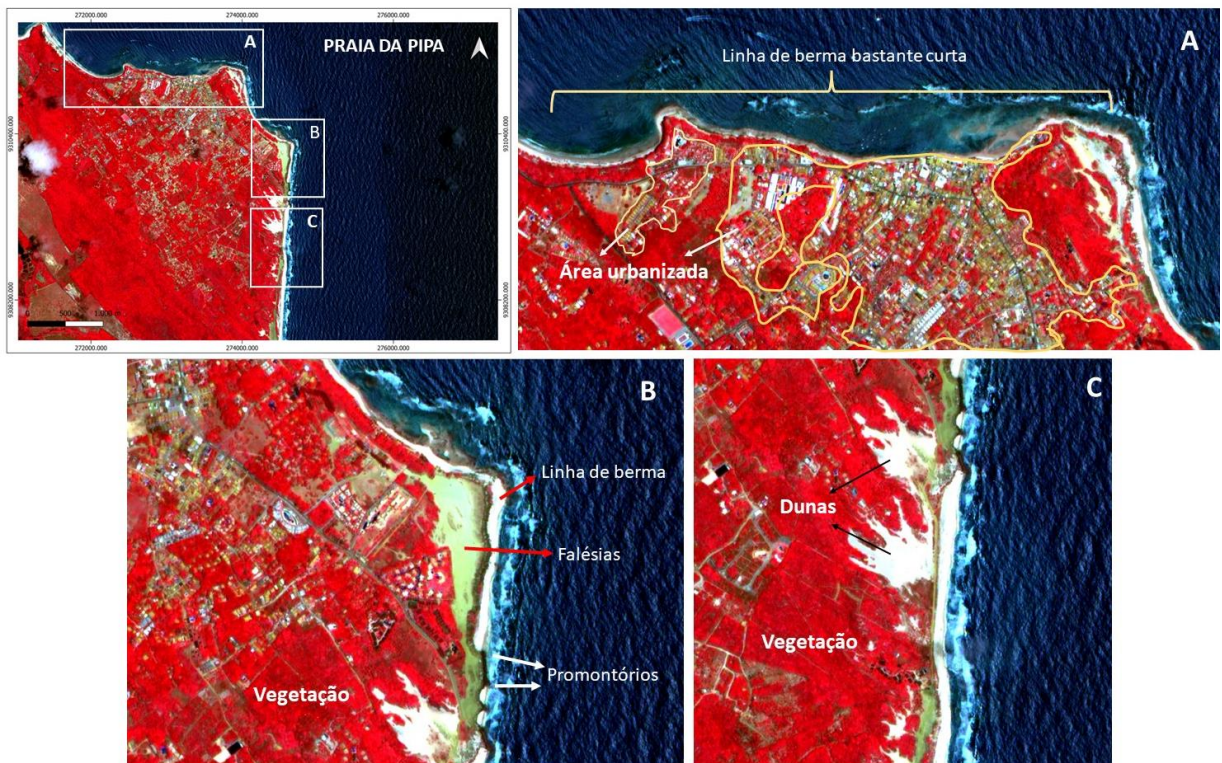


Figura 5.5 - Composição RGB432 colorida de falsa cor da praia da Pipa com as principais observações feitas no pré-campo.

- Praia de Baía Formosa

Na praia de Baía Formosa, é perceptível que a linha costeira é relativamente curta, assim como nas praias anteriores. Em um ponto específico, é evidente que a faixa de areia praticamente desapareceu, como ilustrado na figura 5.6. Além disso, a área urbanizada está localizada muito próxima à escarpa das falésias nesta região.

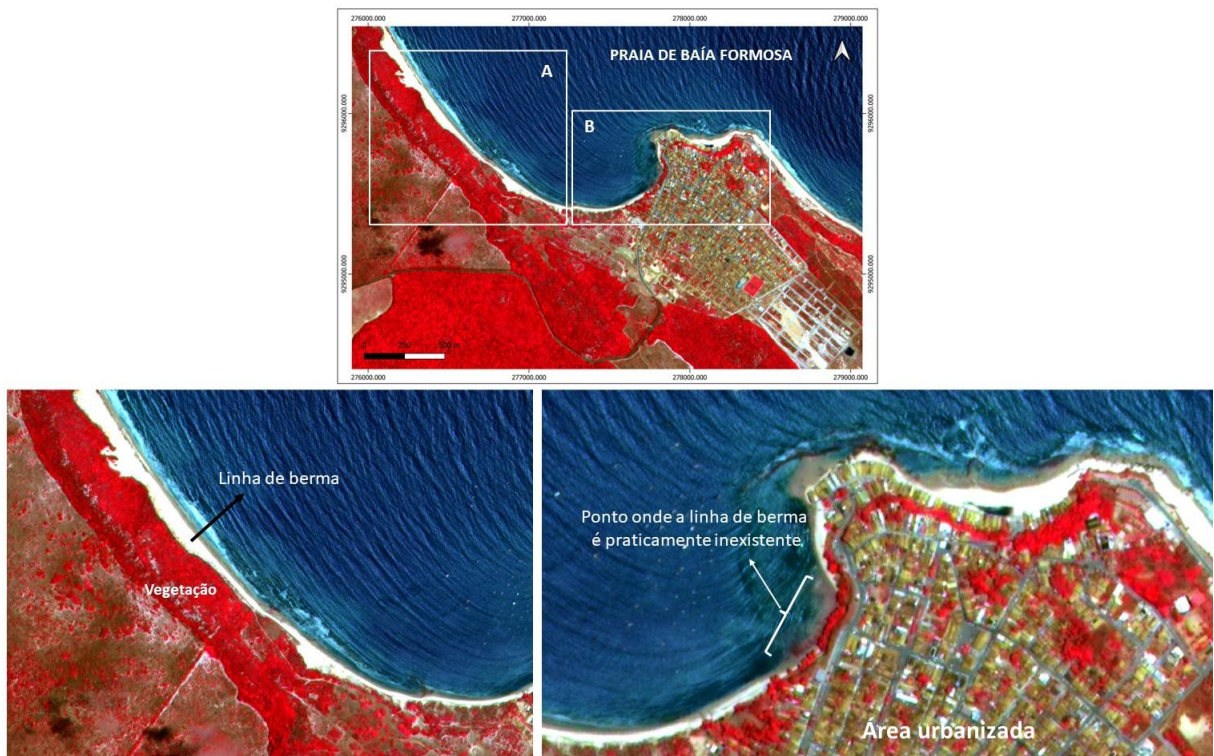


Figura 5.6 - Composição RGB432 colorida de falsa cor da praia de Baía Formosa com as principais observações feitas no pré-campo.

5.2 LEVANTAMENTO DE CAMPO

Foram realizadas três atividades de campo em diferentes datas: a primeira ocorreu em 25 de outubro de 2022, a segunda foi realizada em 27 de dezembro de 2022 e a terceira em 14 de junho de 2023. Durante esta etapa, visitamos as áreas delimitadas na etapa anterior. No entanto, é relevante ressaltar que em determinados trechos não foi possível realizar a visita in loco devido à maré alta. Foram visitados ao total de 14 pontos de controle (Figura 5.7) ao longo da costa oriental sul do estado do Rio Grande do Norte.

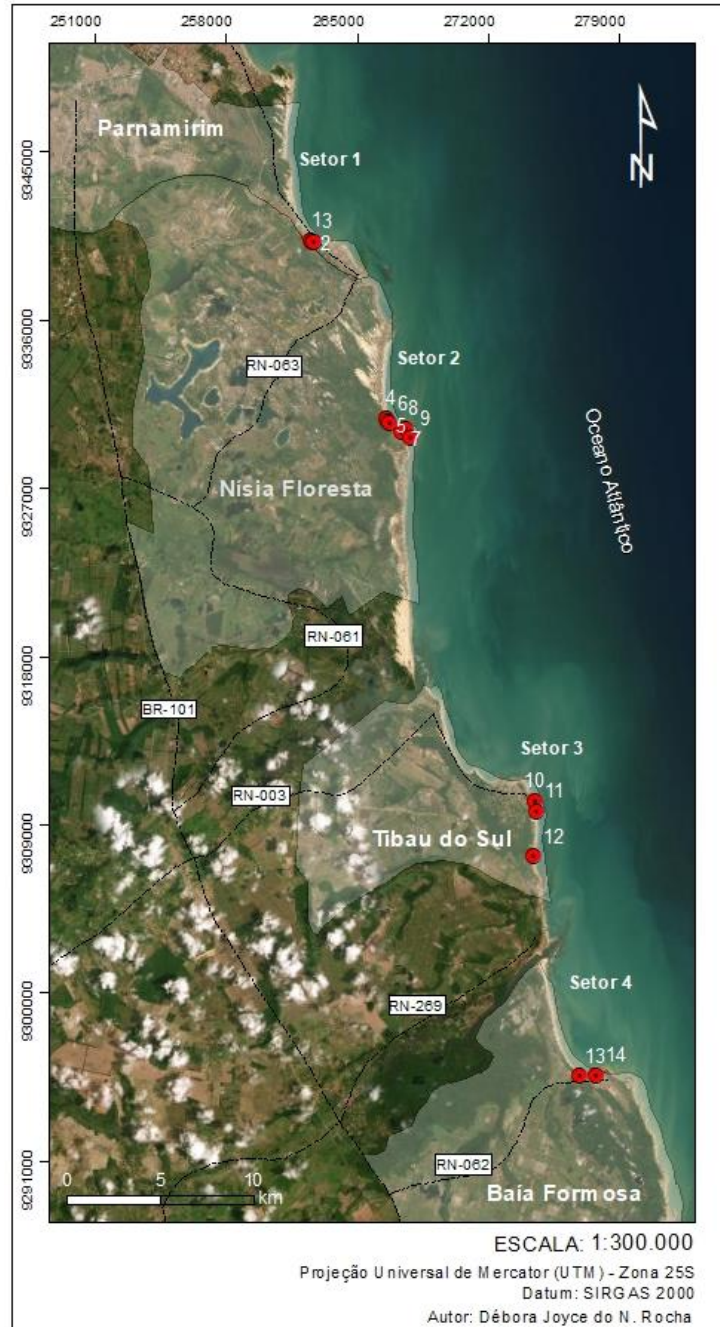


Figura 5.7 – Mapa da distribuição dos pontos visitados.

Nesta fase, procedeu-se à verificação das características que apontam para sinais de potenciais desastres, conforme mencionado no estudo de Lana *et al.*, (2021), verificados na tabela 5.2 abaixo:

GRUPO	CARACTERÍSTICA OU ÍNDICIO	INFLUÊNCIA
Características Naturais	Amplitude e inclinação do talude ou encosta	Quanto maiores, maior a propensão de deflagração de movimentos de massa.
	Espessura do regolito	Solos delgados tendem a deflagrar deslizamentos planares enquanto solos espessos tendem a deflagrar deslizamentos circulares ou rotacionais.
	Presença de blocos de rocha no regolito	Indica a propensão de ocorrer queda de blocos em associação com deslizamentos
	Presença de maciço rochoso	Indica propensão de ocorrer queda de blocos de rocha.
	Direção e mergulho das descontinuidades	Quanto mais coincidentes com a direção e mergulho do talude ou encosta, maior a propensão de ocorrer movimentos de massa. Mergulhos verticalizados ou no sentido oposto ao mergulho da encosta ou talude podem contribuir para a deflagração de tombamentos.
	Umidade do regolito	Quanto mais encharcado, maiores as chances de deflagração de movimentos massa.
	Surgência de água	Pode indicar saturação ou alta pressão de água no interior do maciço.
Características e potencializadores antrópicos	Padrão construtivo	Quanto mais frágil, maior a vulnerabilidade
	Condições das vias	Quanto mais precárias, maior a vulnerabilidade
	Sistema de drenagem pluvial	Se ausente, aumenta a vulnerabilidade. Quanto mais eficiente, menos vulnerável
	Presença de taludes de corte	Se feito de maneira inadequada, pode deflagrar ou potencializar os danos causados pelos movimentos de massa.
	Presença de aterro e lixo lançados nas encostas	Materiais heterogêneos e com baixa coesão. Alta propensão a desenvolverem movimentos de massa.
	Distância da edificação em relação à base e crista do talude ou encosta	Quanto menor a distância, maior a chance de ser atingida por movimentos de massa.
	Lançamento de água servida e esgoto no terreno	Favorecem a saturação e redução da coesão do solo, contribuindo para a deflagração de movimentos de massa.
	Presença de fossa	
	Vazamentos em tubulações	
Evidências de movimentação	Trincas e degraus de abatimento	Em geral, indicam a movimentação do terreno, exceto quando presentes em edificações, pois podem derivar de problemas construtivos
	Estruturas deformadas (postes, muros, cercas)	Podem indicar a movimentação do terreno.
	Cicatrizes de deslizamentos	Indicam a ocorrência de movimentos de massa pretéritos e, portanto, a alta propensão do local a ser atingido por esse tipo de processo.

Tabela 5.2 - Características e indícios a serem observados durante a setorização de áreas de risco a movimentos de massa. Fonte: Lana *et al.* (2021)

Para registro dessas características foi documentado essencialmente por fotografias.

5.3 DELIMITAÇÕES DAS ÁREAS DE RISCOS

Após a etapa de campo, em que foram visitados os 14 pontos específicos, as áreas analisadas foram subdivididas em quatro setores para uma caracterização mais precisa. Essa subdivisão foi realizada ao reduzir a escala dos mapas anteriores e estabelecer uma segmentação por município e praia (Figura 5.8).

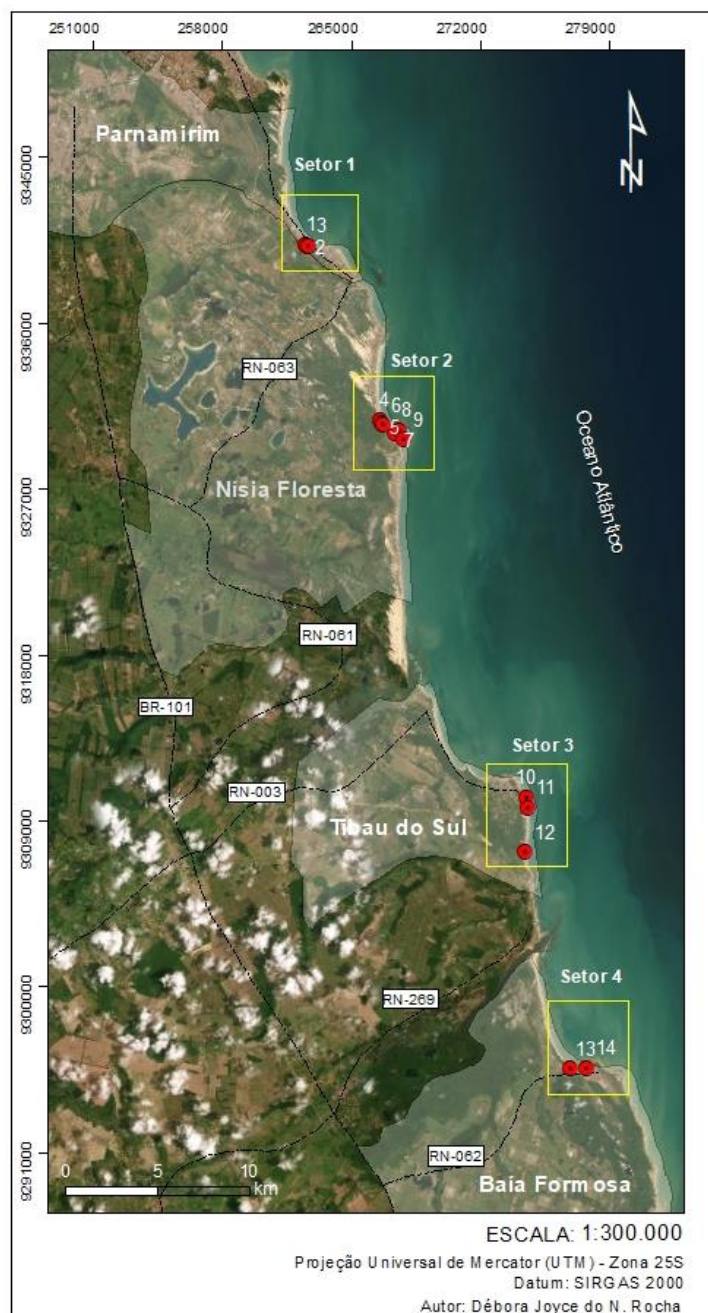


Figura 5.8 – Mapa dos setores de acordo com o município de praia.

Para esta etapa foram utilizados os softwares ArcGis 10.8 corroborado com o Google Earth Pro, onde foram elaborados shapefiles para cada área de risco considerando os fatores fisiográficos, os aspectos de campo e a fotointerpretações das imagens do CBERS 4A.

Para uma classificação e delimitação mais precisa das áreas de risco, também foram empregadas as imagens do satélite ALOS PALSAR para gerar mapas de declividade do terreno. O processamento dessas imagens foi realizado no ArcGIS 10.8, utilizando as ferramentas de hillshade e slope. As classes de declividade foram divididas em cinco categorias.

A escolha dos parâmetros de classes para a declividade baseou-se na Lei Nacional nº 6.766/79 (conhecida como Lei Lehmann), a qual regula a atividade de parcelamento do solo urbano e estabelece que "Áreas com declividade acima de 30% (15°) são consideradas como terrenos muito inclinados, o que dificulta e encarece o processo de urbanização devido à maior suscetibilidade à erosão e à instabilidade das encostas quando ocorre a remoção da vegetação e a movimentação de terra".

Assim, as regiões que exibem declividades classificadas como fortes a muito fortes, de acordo com os critérios estabelecidos neste Trabalho de Conclusão de Curso e embasados nas referências bibliográficas mencionadas, foram identificadas e destacadas nos resultados finais como sendo de Risco 3 e Risco 4, conforme sugerido por LANA *et al.* (2021).

É fundamental ressaltar que, através dessas transformações geométricas, existe a possibilidade de ocorrer um aumento significativo nos erros das medições, como na elaboração da porcentagem de declividade, por exemplo, o que pode resultar em pequenas modificações no produto final. Por essa razão, é de extrema importância a verificação das classes temáticas e dos riscos geológicos por meio de levantamentos de campo, uma vez que fotografias e análises no local proporcionam resultados mais confiáveis.

5.4 ELABORAÇÃO DOS MAPAS ÍNDICES

Nesta fase final teve como base a metodologia de (Lana *et al.*, 2021) no trabalho sobre guia técnico de gestão territorial na setorização de áreas de risco geológico da CPRM - Serviço Geológico do Brasil –. Sendo assim, para cada setor foi elaborado um mapa índice de risco, verificados a seguir. A elaboração de cada foi feita no ArcGis 10.8.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos serão apresentados por meio de mapas temáticos, os quais foram desenvolvidos a partir das etapas descritas anteriormente. Esses mapas incluirão a análise do modelo digital de elevação de cada setor, a descrição das áreas e, por fim, os mapas índices. A metodologia utilizada seguirá o trabalho de Lana *et al.*, (2021), levando em consideração tanto o material cartográfico prévio quanto os levantamentos de campo.

6.1 ANÁLISE DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO E CLASSE DE RISCOS

A topografia, que se refere ao estudo das características físicas e elevações de uma área, desempenha um papel fundamental na identificação e análise de áreas propensas a riscos de movimento de massa. Diante disso a confecção de um modelo digital de elevação é essencial para uma análise mais precisa dos setores de perigo. Neste estudo o fator da inclinação do terreno é crucial na suscetibilidade a movimentos de massa. Áreas com declividades mais íngremes, tendem a ser mais suscetíveis a deslizamentos de terra ou queda de blocos.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) apresentado neste contexto foi gerado a partir dos dados obtidos pelo satélite ALOS PALSAR (Figura 6.1) e processado utilizando o software ArcGIS 10.8. A fim de proporcionar uma visualização mais clara das características geográficas, foi aplicada a ferramenta *Hillshade*. Além disso, utilizando o MDE, foi elaborado um mapa de declividade para cada praia (Figura 6.2), empregando a ferramenta *Slope*, que permite identificar as áreas com maior propensão a riscos, com base na porcentagem de inclinação. Na figura 6.2, pode-se notar que as regiões com maior percentual de inclinação são indicadas pelas tonalidades laranja e vermelha, correspondendo precisamente às áreas que apresentam falésias. É importante ressaltar que, durante o processamento das imagens, algumas áreas ficaram sem preenchimento, sendo representadas pela cor branca na imagem. Portanto, essa tonalidade deve ser excluída da análise.

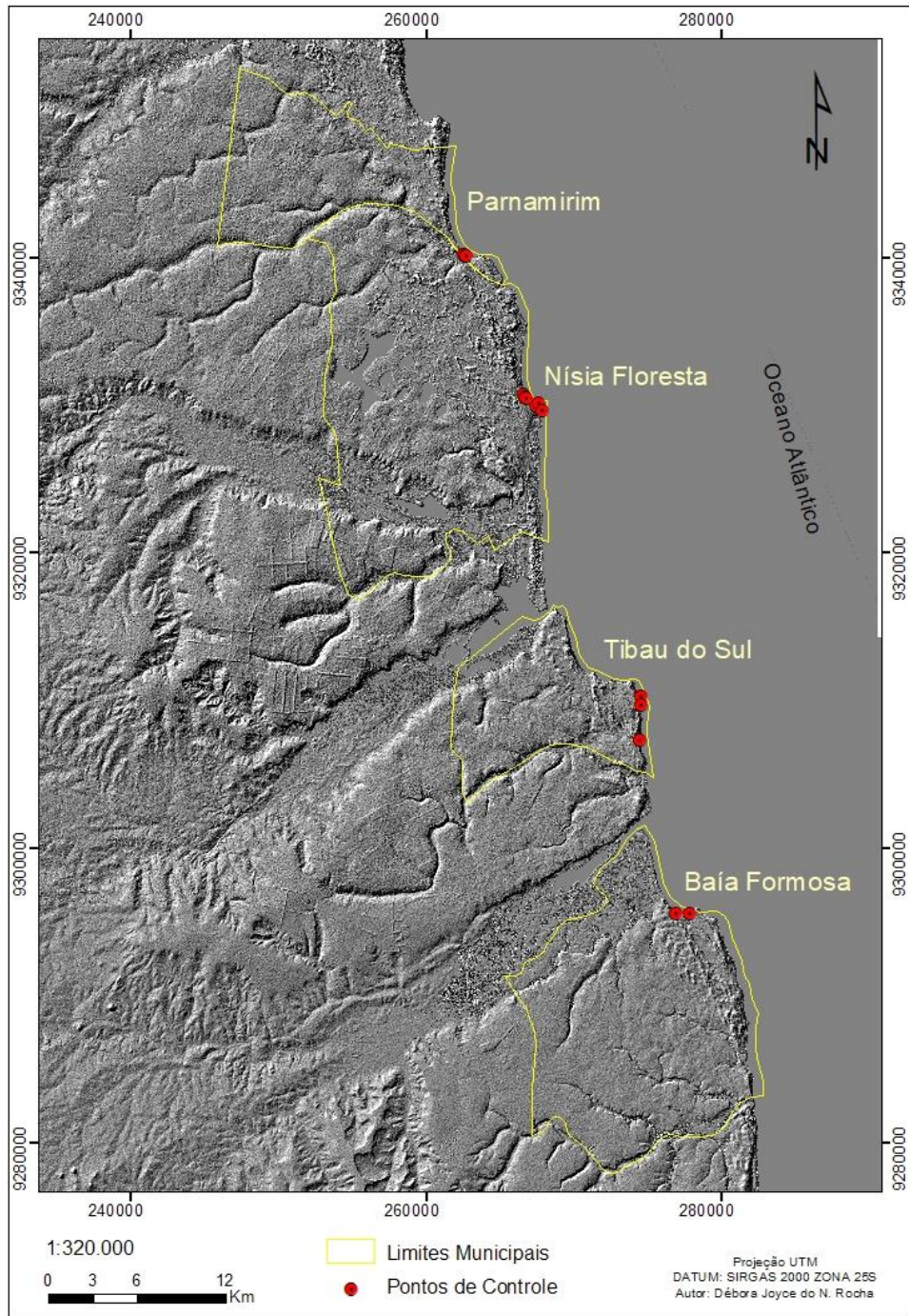


Figura 6.1 – MDE Alos Palsar. Em destaque os municípios analisados.

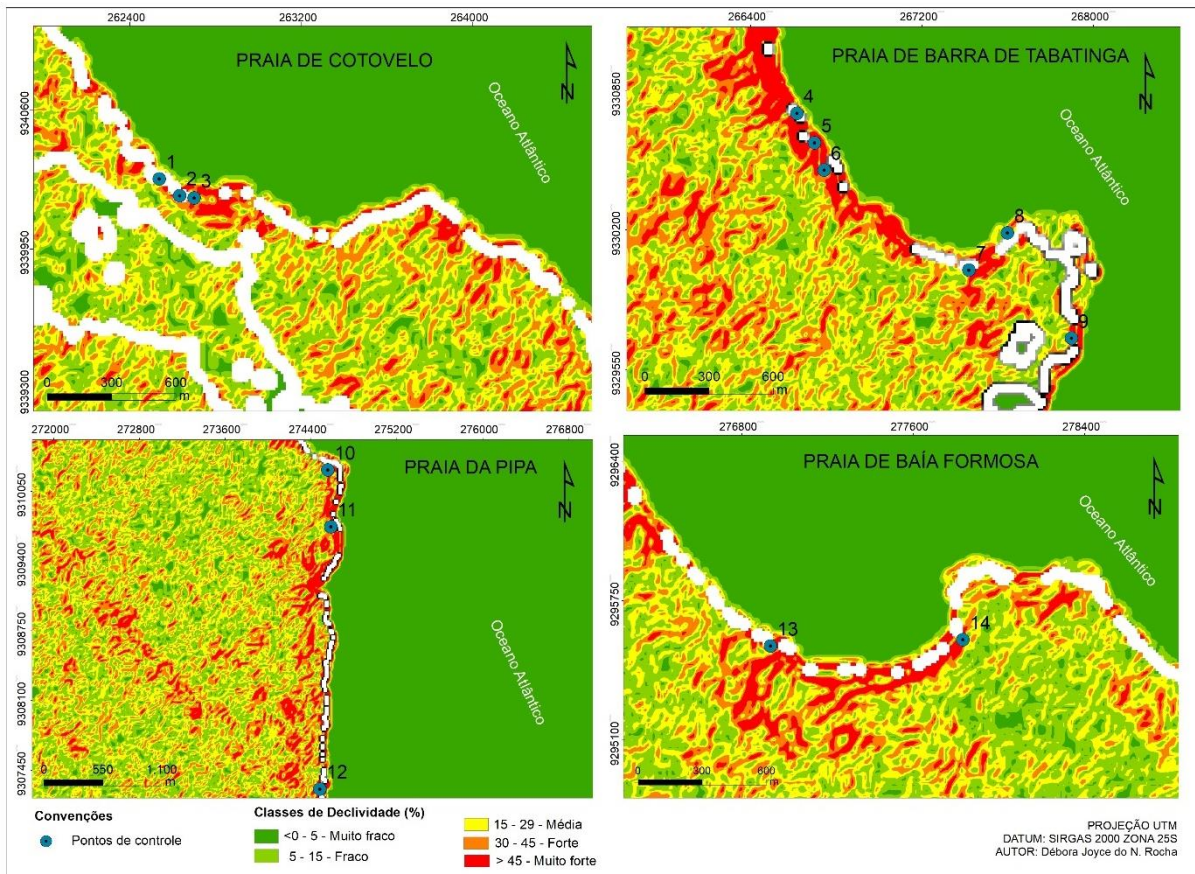


Figura 6.2 – Mapas de declividade em % de cada praia estudada.

A consideração da porcentagem de declividade é essencial ao delimitar áreas de risco, pois está diretamente ligada à estabilidade do terreno. Em regiões com índices elevados de declividade, há um maior potencial para deslizamentos de terra, desmoronamentos e erosões. Assim, com base nessas informações e seguindo a classificação do IPT 2007, conforme apresentado na tabela 5.2, os setores analisados serão categorizados como R2, R3 e R4.

Neste estudo, o R2 será levado em consideração, pois são áreas que requerem monitoramento. Portanto, não devem ser negligenciadas, uma vez que podem potencialmente resultar em problemas mais graves no futuro.

6.2 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS E MAPAS DE DELIMITAÇÃO DE RISCO

A descrição das áreas de riscos envolve o mapeamento e a caracterização dessas áreas. São duas atividades complementares e essenciais para a gestão de desastres e a redução de riscos.

O mapeamento de áreas de risco envolve a identificação e o delineamento geográfico das áreas que apresentam ameaças naturais ou antropogênicas significativas, que apresentam algum tipo de perigo, ameaça ou vulnerabilidade. O objetivo aqui pretendido é fornecer informações importantes para o planejamento urbano, a gestão de emergências e a tomada de decisões relacionadas à segurança e à proteção da população. O mapeamento é realizado por meio de técnicas como sensoriamento remoto, geoprocessamento e análise espacial como visto anteriormente, que permitem identificar padrões de risco e criar mapas temáticos que destacam as áreas mais vulneráveis.

E a caracterização busca entender a natureza e as características específicas das ameaças presentes em determinada região, ou seja, de cada setor aqui estudado. Isso envolve a análise detalhada dos fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais que contribuem para a manifestação dos riscos.

A relação entre o mapeamento e a caracterização de áreas de risco é intrínseca. O mapeamento fornece a base geográfica para identificar onde estão localizadas as áreas de risco, enquanto a caracterização aprofunda o entendimento sobre as ameaças presentes nessas áreas. Combinados, esses dois processos permitem a elaboração de diagnósticos mais precisos e a implementação de medidas de prevenção, mitigação e resposta mais eficientes.

Ao realizar esses procedimentos, os gestores podem identificar as regiões mais vulneráveis, entender os fatores que contribuem para os riscos e tomar decisões informadas sobre o planejamento territorial, o zoneamento urbano, o estabelecimento de políticas públicas e a implementação de medidas de proteção e alerta precoce. Essas atividades são fundamentais para promover a segurança das populações e a sustentabilidade das comunidades em áreas propensas a desastres naturais ou tecnológicos.

É importante ressaltar que o mapeamento de áreas de risco deve ser um processo contínuo, pois as condições e os fatores de risco podem variar ao longo do tempo. Além disso,

a conscientização da população sobre os riscos existentes e a adoção de medidas de prevenção e preparação são fundamentais para a redução dos impactos causados por eventos adversos. Para a delimitação das áreas de risco será levado em consideração a classificação das áreas de risco baseado nos métodos recomendados pelo Ministério das Cidades e IPT (2004 e 2007). Esses métodos, embora não forneçam análises detalhadas sobre os vários elementos estruturais e sociais que caracterizam a vulnerabilidade, adotam uma abordagem simplificada e, de certa forma, inerente à capacidade dos eventos de causarem danos a uma determinada região em análise.

A classificação proposta pelo Ministério das Cidades e IPT foi originalmente desenvolvida para ser aplicada no mapeamento de áreas de risco relacionadas a movimentos de massa e processos hídricos. No entanto, embora esses processos tenham mecanismos de desencadeamento diferentes, outros fenômenos, como erosão, subsidência, solapamento ou colapso, movimentação de dunas e expansão e contração de argilas, possuem algumas características semelhantes aos movimentos de massa. Portanto, na prática, o mapeamento das áreas de risco geológico considera alguns atributos do ambiente físico que são comuns a diversos processos. Conseqüentemente, a orientação proposta para a classificação dos níveis de risco em relação a movimentos de massa (Tabela 5.2) foi estendida para englobar esses processos.

O Serviço Geológico do Brasil desenvolveu setorizações de áreas de risco geológico que delimitam exclusivamente as regiões de risco alto e muito alto, de acordo com as diretrizes apresentadas na tabela 5.2.

As áreas de risco baixo e médio, também foram avaliadas durante o processo de elaboração deste trabalho, são designadas como áreas de monitoramento, com o objetivo de ressaltar a importância da adoção de boas práticas de uso e ocupação do território, bem como das atividades de fiscalização destinadas a prevenir o surgimento de novas áreas de risco alto ou muito alto.

A delimitação de possíveis áreas de risco foram feitas essencialmente a partir das análises de imagens de satélites corroborados com os dados de campo, onde foram considerados

principalmente a presença humana na caracterização das áreas de risco, ou seja, edificações e estradas próximas ao topo das falésias (LANA *et al.*, 2021).

Por fim, as informações obtidas nesse mapeamento serão visualizadas por meio de mapas temáticos, que incluirão a delimitação das áreas de risco, classificadas em R1 - Risco Baixo, R2 - Risco Médio, R3 - Risco Alto e R4 - Risco muito alto. Cada classe será representada por cores distintas: amarelo claro, amarelo, laranja e vermelho, respectivamente. Sendo que, as áreas classificadas como R3 possuem alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de movimentos de massa e as áreas R4 representam as que se encontram em condições críticas, havendo uma probabilidade muito alta de ocorrerem movimentos de massa durante uma estação chuvosa. Além disso, serão criados mapas de índices, destacando as zonas de maior perigo ou vulnerabilidade.

Esses mapas desempenham um papel crucial na definição de políticas públicas, estabelecimento de normas de construção, direcionamento de investimentos em infraestrutura e implementação de medidas de prevenção e mitigação dos riscos identificados. Eles fornecem uma base visual clara para auxiliar na tomada de decisões e na adoção de ações efetivas para lidar com os desafios identificados.

A descrição de cada setor seguirá as recomendações do trabalho de Lana *et al.*, 2021.

6.1.1 Setor 1 – Praia de Cotovelo

O setor um corresponde as falésias da Praia de Cotovelo localizada no município de Parnamirim. Nesta área foram marcados essencialmente três pontos de controle.

Com base nas características e indícios apresentados no quadro BB, é possível observar algumas características naturais como, a ampliação e inclinação da encosta nesta região, que atinge altitudes de cerca de 18 metros e se estende por uma área de falésias com aproximadamente 1,5 km. As falésias ativas da praia, pertencentes à Formação Barreiras, exibem uma tonalidade predominantemente amarelada, por vezes esbranquiçada. Ao longo de sua extensão, são encontradas diversas cavidades erosivas (Figura 6.3), formadas pela ação abrasiva do mar. O resultado dessa abrasão marinha é verificada em sua base, onde há a presença de vários fragmentos que já se desprenderam da falésia, formando a plataforma de

abrasão composta por arenitos ferruginosos, também conhecidos como “beach rocks” (Figura LL).



Figura 6.3 – Falésias da praia de Cotovelo. Em destaque verifica-se uma visão ampliada de um trecho das falésias exibindo algumas cavidades erosivas. Em sua base nota-se a presença da plataforma de abrasão demarcada em amarelo.

Outra característica observada é a inclinação da encosta, a qual varia dependendo da predominância da vegetação. Em áreas em que a vegetação é mais densa, a inclinação é geralmente mais suave, enquanto em regiões com vegetação escassa, a inclinação tende a ser mais íngreme e reta. Isso indica que a presença de cobertura vegetal desempenha um papel significativo na proteção contra a erosão nesse tipo de ambiente (Figura 6.4).



Figura 6.4 – Vista de cima das falésias de Cotovelo. A parte coberta por vegetação apresenta uma inclinação mais suave em comparação com a área desprovida de vegetação. O trecho com uma inclinação mais pronunciada sofreu desabamentos alguns meses antes da realização da atividade de campo.

Quando se trata dos fatores que ampliam a influência humana, destaca-se principalmente a proximidade de certas construções em relação à linha das encostas. Durante a visita de campo, foi possível observar a presença de um restaurante (Figura 6.5) em proximidade direta à escarpa da falésia. Além disso, por conta da maré alta, não foi viável acessar determinadas áreas, onde imagens de satélite revelaram a existência de um condomínio situado a apenas 16 metros da linha da encosta da falésia.

Essas situações contraria as disposições da legislação do município de Parnamirim, na qual dispõe que as Falésias de Cotovelo numa faixa de 100 metros a partir de sua borda em direção ao continente são consideradas zonas de proteção ambiental tipo IV, e não pode haver construções nesse perímetro.

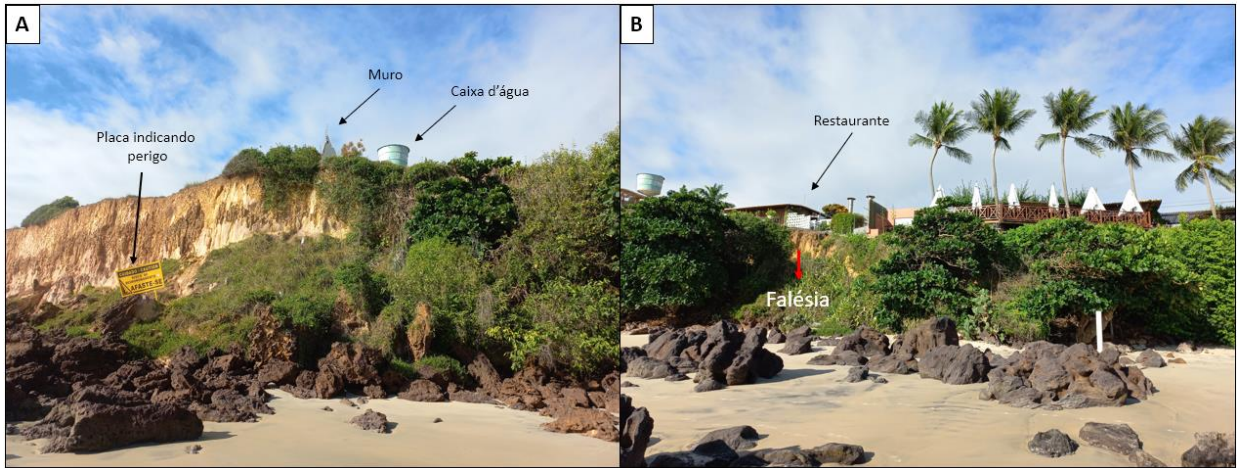


Figura 6.5 – Em A, nota-se a proximidade do muro e uma caixa d’água do restaurante com a placa indicando risco de deslizamento. Em B, nota-se a presença da edificação, apesar de está localizado em uma altitude menor, não deixa de ser considerada uma área de risco, pois não se pode descartar a possibilidade de desabamento.

No que diz respeito às evidências de movimentação, é possível observar a presença de material rochoso recentemente colapsado (Figura 6.6). Isso é constatado pela coloração, uma vez que esses fragmentos ainda mantêm a tonalidade original da falésia, em contraste com o material mais antigo, que exibe uma coloração escura devido ao contato direto com o sal da água do mar, que causa oxidação. Além disso, ao longo do paredão rochoso, é possível identificar várias fraturas.



Figura 6.6 – Falésias da Praia de Cotovelo. Em destaque o material que sofreu deslocamento.

Com base nas características mencionadas e na análise realizada em um ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), foram estabelecidos os níveis de risco para os diferentes ambientes. No caso do condomínio e áreas próximas, foi determinado o Risco 4 - Muito Alto, devido à presença de moradias e estabelecimentos. A região central foi classificada como R2, pois não possui habitações próximas, mas ainda requer monitoramento constante. Já a região à esquerda foi considerada R3 - Risco Alto, pois embora não seja tão íngreme, há a presença de restaurantes e barracas nas proximidades, o que pode resultar em um fluxo significativo de pessoas nessa região (Figura 6.7).



Figura 6.7 – Mapa de setorização de áreas de risco na Praia de Cotovelo, município de Parnamirim.

6.1.2 Setor 2 – Praia de Barra de Tabatinga

O setor dois abrange as falésias localizadas na praia de Barra de Tabatinga, no município de Nísia Floresta. Nessa região, foram estabelecidos seis pontos de controle. As falésias possuem altitudes de aproximadamente 25 metros e se estendem por cerca de 2,2 km em relação a área analisada.

As falésias ativas da Praia de Tabatinga exibem variações de cores, incluindo tons de amarelo, vermelho e branco. Em relação aos aspectos naturais observados, é possível notar a presença de várias fraturas e fendas no material rochoso (Figura 6.8). Em contraste com a Praia de Cotovelo, essa praia apresenta uma plataforma de abrasão menor, o que pode ser atribuído à influência mais significativa das forças hidrodinâmicas que transportam o material para outras áreas.



Figura 6.8 – Falésias da Praia de Barra de Tabatinga. Nota-se a presença de varias fendas nas rochas da Formação Barreiras. Atenta-se também uma menor quantidade de material na plataforma de abrasão marinha do que na Praia de Cotovelo.

Ao examinar o impacto humano potencial nessa região, é evidente que algumas vias que conduzem à área urbanizada estão em condições precárias. Uma dessas vias, em particular, além de não ser pavimentada encontra-se em uma situação bastante crítica devido há sucessivos desmoronamentos de material (Figura 6.9), essa situação segundo Lana *et al.* (2021), quanto mais precária as condições das vias maior é vulnerabilidade.

Além disso, há também a presença de construções próximas às encostas (Figura 6.10), ou seja, estão propícios a uma maior chance de serem atingidas por um eventual movimento de massa. É importante ressaltar que por motivos de segurança, não foi possível se aproximar mais para realizar observações adicionais em campo.



Figura 6.9 – Trecho de uma via que desmoronou a poucos dias antes do campo. Observa-se que o trecho não é pavimentado e é uns dos principais acesso a praia e a parte urbanizada.



Figura 6.10 – Estabelecimentos em cima e bem próximos a escarpas das falésias em Barra de Tabatinga.

Evidências de movimentação foram constatadas pela presença de estruturas deformadas, como muros como visto na figura 6.9 A.

Na classificação de risco a parte direita da área onde se encontra residências e estabelecimentos próximos a escarpa são consideradas áreas do tipo R4, risco muito alto. Já a parte esquerda da área foi delimitada como R2, pois não há habitações próximas, mas se deve atentar a constantes monitoramentos, pois nesta parte encontra-se certa a proximidade com a RN-063 e o Cemitério Público de Tabatinga (Figura 6.11).



Figura 6.11 – Mapa de setorização de áreas de risco na Praia de Barra de Tabatinga, município de Nísia Floresta.

6.1.3 Setor 3 – Praia da Pipa

O setor três está localizado na praia da Pipa, no município de Tibau do Sul. Neste setor, foram demarcados três pontos. As falésias ativas da Formação Barreiras nessa região têm altitudes alcançando cerca de 28 metros e se estendem por 2,5 quilômetros, em relação à área analisada. Sua coloração é marcada pela cor avermelhada. A caracterização deste setor em termos de aspectos naturais é marcada pela presença de um maciço rochoso com bastante cavidades erosivas (Figura 6.12), ravinas próximas a estrada (Figura 6.13).

Já os aspectos antropogênicos destacam-se condições das vias, onde estão relativamente próximas a encosta e possuem várias feições erosivas como, diversas ravinas.



Figura 6.12 – Aspecto das falésias da formação Barreiras localizadas na Praia de Sibaúma, Tibau do Sul. Em destaque diversas cavidades erosivas presente no material rochoso.



Figura 6.13 – Em A, nota-se a presença de ravinas acentuadas e ao lado uma turista. Em B, visão de cima das ravinas. Em C, observa-se a proximidade com qual os carros chegam próximos a escarpa das falésias; E em D, configura-se a mesma situação, em destaque um carro de turistas que visitavam o local.

Não foram identificadas evidências de movimentação, no entanto, é importante destacar que essa região recebe um fluxo constante de turistas (Figura 6.14 A) e que próximo a este ponto são estacionados tanto veículos pequenos como de grande porte, como ônibus e vans, frequentemente utilizados por agências de turismo. Esses veículos geram uma carga adicional sobre o topo da falésia, podendo afetar a dinâmica natural do transporte sedimentar, mesmo tendo o alerta de placas de aviso de perigo (Figura 6.14 B).



Figura 6.14 – Em A, vários visitantes tirando fotografias em cima do topo das falésias com algumas feições de ravinamento. Em B, presença de placa de perigo indicando risco de queda de blocos no mesmo local.

Portanto, é crucial executar atividades de monitoramento, uma vez que as principais vias de acesso à região estão localizadas em estreita proximidade com feições erosivas e a escarpa das falésias como ilustrado na figura 6.13.

Diante de todos esses fatores constatados, o mapa de delimitação das principais áreas de risco foi elaborado (Figura 6.15).

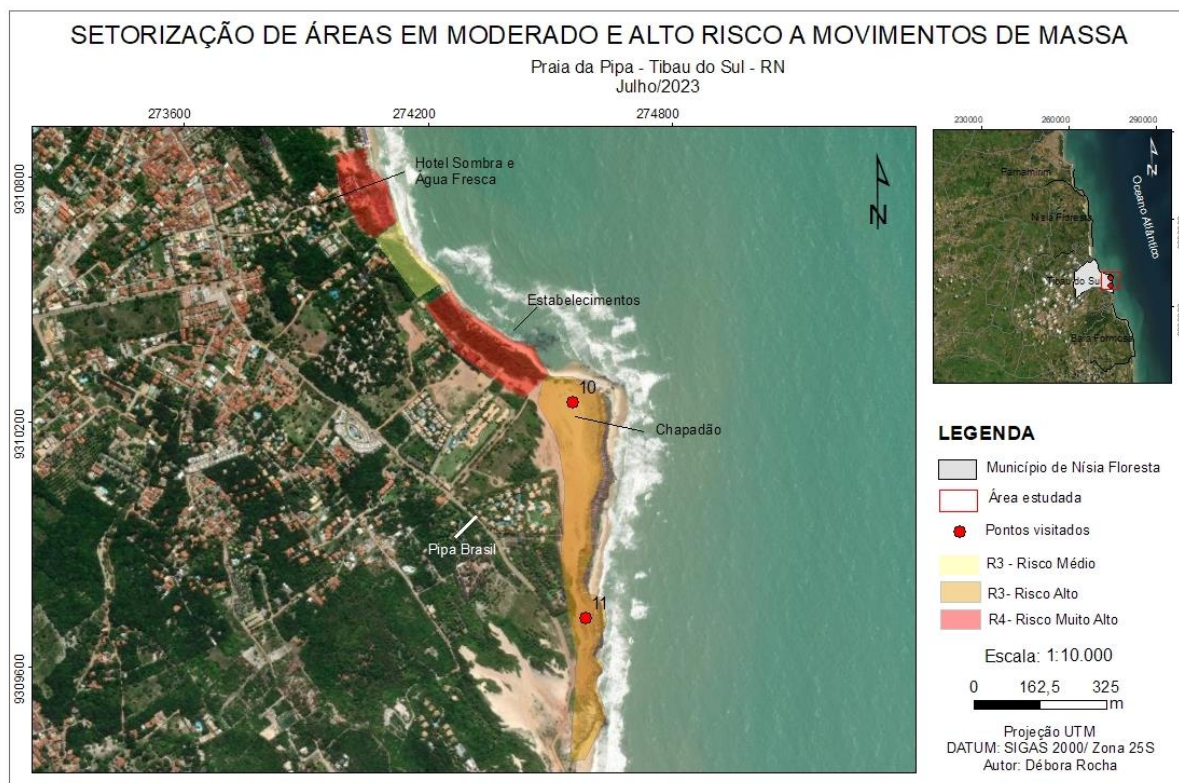


Figura 6.15 – Mapa da delimitação das classes de risco na Praia da Pipa.

6.1.4 Setor 4 – Praia do Porto

A Praia do Porto situada no município de Baía Formosa, é abrangida pelo setor quatro. Nele foram estabelecidos somente dois pontos de controle. A área em análise possui uma extensão de cerca de 2 km de área analisada e elevações em torno de 28m.

As falésias ativas dessa praia configuram-se com coloração em tons de vermelho, amarelo e branco. A inclinação das falésias nesta região é caracterizada por uma alta declividade. Quanto maior a inclinação, maior é a propensão para desmoronamentos ocorrerem. A vegetação no local é presente em algumas partes enquanto outras são desprovidas.

Os fatores antrópicos são indicados pelo lançamento de água de esgoto (Figura 6.16 A) que passa por dentro da encosta para que chega até a água do mar, bem como pela exposição do solo, além da proximidade de edificações em relação às encostas (Figura 6.16 B). As evidências de movimentação são identificadas por cicatrizes de deslizamentos (Figura 6.17), que indica a ocorrência de eventos pretéritos de movimentos de massa e, portanto, possui grande

chances de o local passar por isso de novo. Observa-se também diversas fendas e fraturas (Figura 6.18) no material rochoso, e também pela presença de árvores inclinadas (Figura 6.19).



Figura 6.16 – Em A, nota-se a proximidade de algumas casas com a encosta. E em B, a rede de esgoto que passa por dentro da encosta para o escoamento da água até o mar.

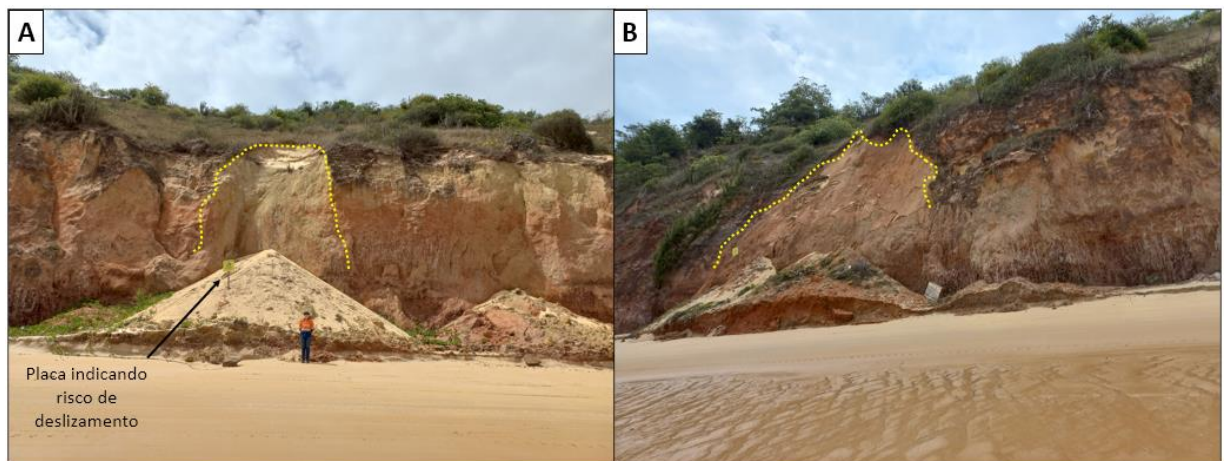


Figura 6.17 – Trechos com cicatrizes de deslizamentos. Tanto em A quanto em B, observa-se o material colapsado logo em baixo da encosta, com placas indicativas de risco de deslizamento.

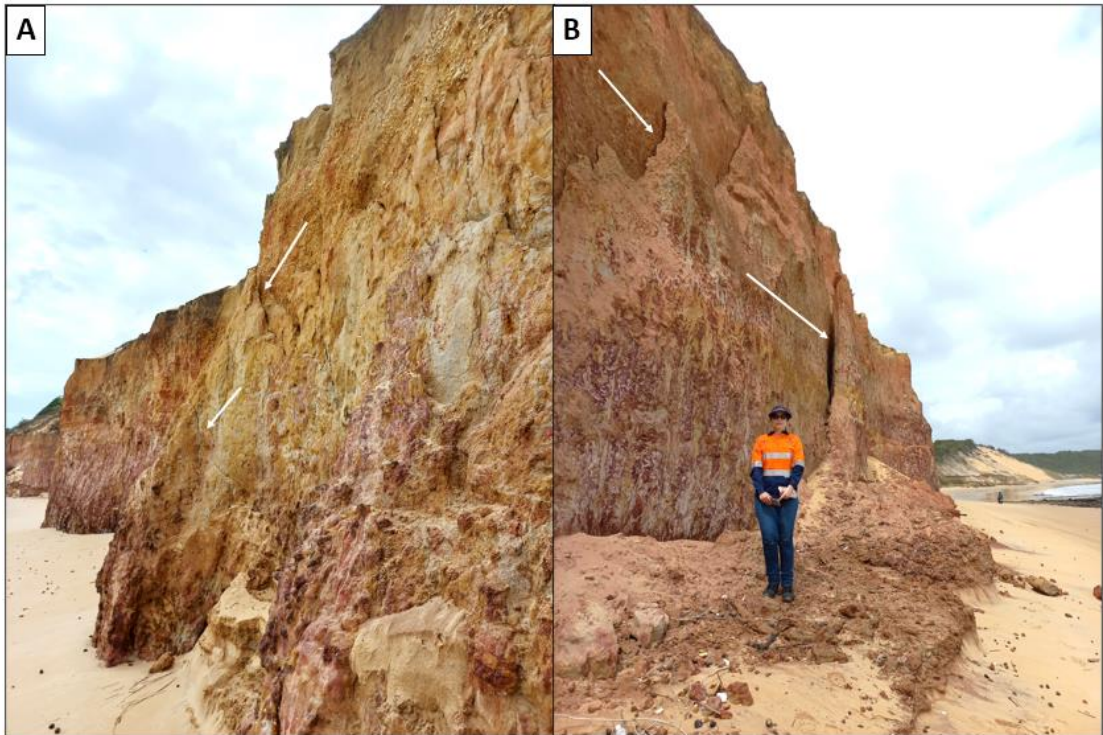


Figura 6.18 – Tanto em A quanto em B, observam-se várias fendas nas falésias da praia do Porto, indicadas por setas. Em B, destaca-se o fato de que o material rochoso está em um estágio bastante avançado, aumentando a probabilidade de ocorrer o tombamento de blocos.



Figura 6.19 – Diversas árvores inclinadas indicando movimento de massa.

Na praia em questão, como mencionado anteriormente, existem vários problemas relacionados à erosão costeira, que são agravados durante os períodos chuvosos. Durante os meses de junho a julho de 2022, aproximadamente 16 deslizamentos de terra ocorreram devido às chuvas intensas na região. Além desses eventos, houve registros prévios de desabamentos, destacando a necessidade de medidas de mitigação. Como resposta a essa situação, foi construído um muro de arrimo na praia, com o propósito de reduzir os impactos causados por esses desabamentos. No entanto, durante o período em que este estudo foi realizado, em outubro de 2022, foi observado que algumas partes do muro já se encontram danificadas (Figura 6.20).



Figura 6.20 - Registro fotográfico da estrutura de contenção (muro de arrimo) danificado na Praia do Porto, localizada no município de Baía Formosa. A foto foi capturada em 25 de outubro de 2022, destacando que a última revitalização ocorreu em junho de 2022.

Também foi observado que os próprios moradores da região, que desfrutam do ambiente, demonstram pouca preocupação em relação aos riscos que o local apresenta, ou até mesmo não têm plena consciência desses riscos. Foi possível observar algumas pessoas sentadas na base das encostas, sem se dar conta do perigo envolvido. (Figura 6.21).



Figura 6.21 – Moradores locais sentados na base da encosta que se encontra instável, indicada plena inclinação das árvores.

Considerando todos esses fatores, a classificação de riscos nas áreas onde existem edificações próximas e um fluxo constante de pessoas é categorizada como R4 - Risco muito alto, parte leste da área. Por outro lado, as regiões onde não há presença humana ou onde a presença é limitada, juntamente com a inexistência de edificações, foram classificadas como R2 - Risco médio, parte oeste da área (Figura 6.22).



Figura 6.22 – Mapa de setorização de áreas de risco na Praia do Porto município de Baía Formosa.

6.3 MAPAS ÍNDICES

Neste tópico, serão apresentados os mapas índices de cada setor estudado (Figura 6.23), (Figura 6.24), (Figura 6.25), (Figura 6.26), com o objetivo de fornecer uma representação clara da situação real da área. Esses mapas levam em consideração a análise dos processos erosivos presentes na região, bem como o perigo ao qual a população está exposta.

Vale salientar que os mapas índices aqui elaborados são baseados na metodologia de Lana et. al. 2021, portanto os setores classificados como R2 presentes nos mapas anteriores serão descartados para a confecção dos mapas índices.

SETORIZAÇÃO DE ÁREAS EM ALTO E MUITO A ALTO RISCO A MOVIMENTOS DE MASSA NA PRAIA DE COTOVELO - PARANAMIRIM/RN

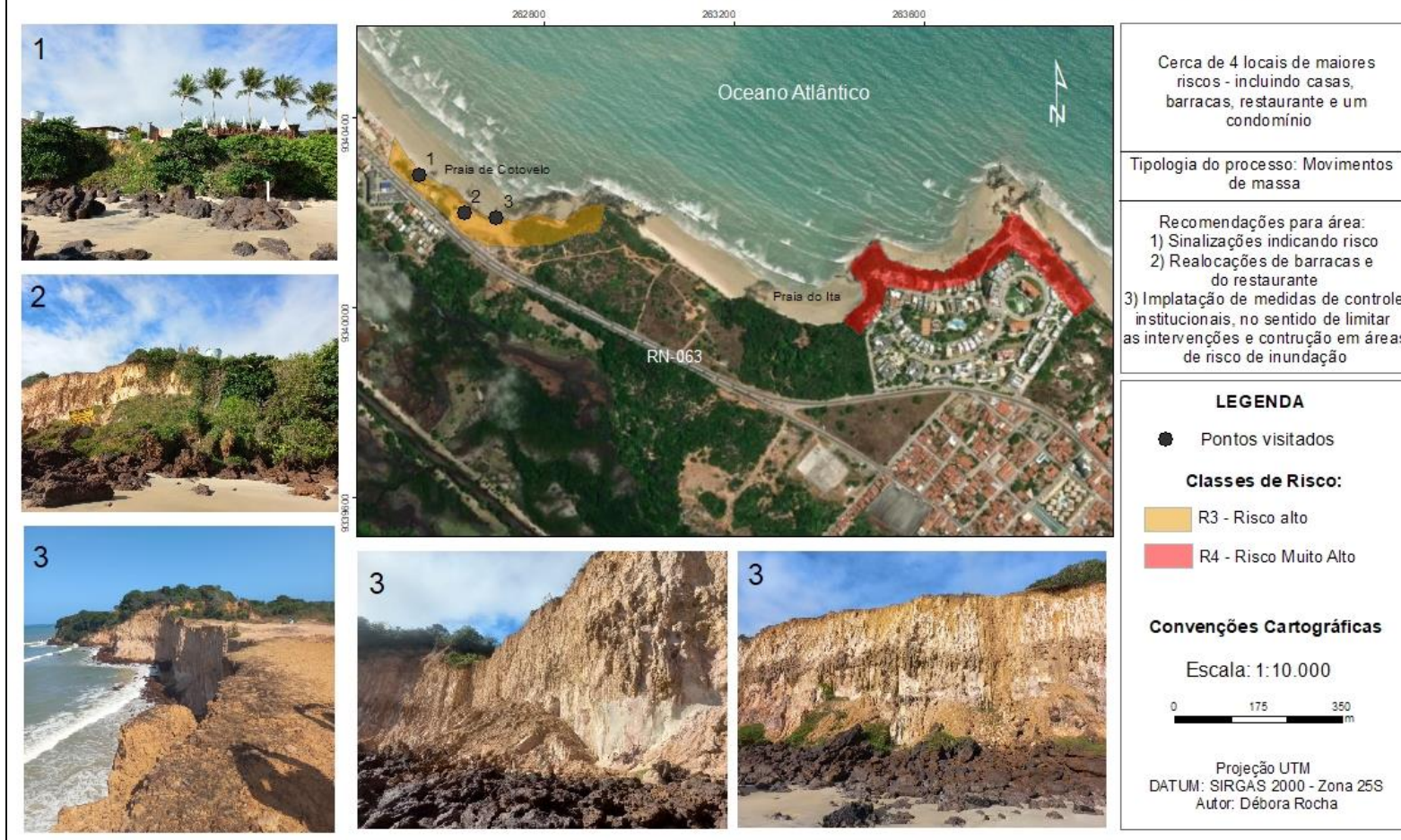


Figura 6.23 - Mapa índice de Risco com os setores definidos como R3 (alto risco) e R4 (muito alto risco), no que se refere à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa na Praia de Cotovelo – Parnamirim/RN.



Figura 6.24 - Mapa índice de Risco com os setores definidos R4 (muito alto risco), no que se refere à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa na Praia de Barra de Tabatinga – Nísia Floresta/RN.



Figura 6.25 - Mapa índice de Risco com os setores definidos como R3 (alto risco) e R4 (muito alto risco), no que se refere à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa na Praia da Pipa– Tibau do Sul/RN.



Figura 6.26 - Mapa índice de Risco com os setores definidos R4 (muito alto risco), no que se refere à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa na Praia do Porto – Baía Formosa/RN.

7 SUGESTÕES PARA MITIGAÇÃO DAS ÁREAS

Ao propor sugestões de medidas mitigadoras em áreas de risco de movimento de massa em falésias, é importante considerar abordagens que visem reduzir o perigo e proteger a população. Aqui estão algumas sugestões:

- **Avaliação de risco:** Realizar uma avaliação detalhada do risco em áreas específicas, incluindo estudos geológicos, geotécnicos e hidrológicos para identificar as principais causas e mecanismos de movimento de massa.
- **Monitoramento contínuo:** Estabelecer sistemas de monitoramento em tempo real para detectar mudanças na estabilidade das falésias, como inclinômetros, extensômetros e sensores de monitoramento sísmico. Isso permitirá a detecção precoce de sinais de instabilidade e ação imediata em casos de alerta.
- **Restrições e zoneamento:** Implementar restrições legais e planejamento urbano adequado para evitar o desenvolvimento de infraestruturas e assentamentos em áreas de alto risco. Estabelecer zonas de restrição ou limitações de uso em áreas suscetíveis a movimentos de massa.
- **Estabilização das falésias:** Uma das soluções para reduzir a probabilidade de deslizamentos e quedas de blocos nas falésias é a utilização de técnicas de estabilização. Isso pode incluir a construção de cortinas atirantadas, ancoragens, sistemas de drenagem e contenção.
- **Educação e conscientização:** Promover a educação pública sobre os perigos associados às áreas de risco de movimento de massa em falésias. Informar a população local e os visitantes sobre os sinais de alerta, comportamentos seguros e a importância de respeitar as restrições e zonas delimitadas.
- **Evacuação e plano de emergência:** Desenvolver um plano de evacuação eficiente em caso de risco iminente ou deslizamentos de grande magnitude. Garantir que as autoridades locais e a população estejam preparadas para agir rapidamente e em segurança.
- **Cooperação interdisciplinar:** Promover a colaboração entre geólogos, engenheiros, urbanistas e autoridades locais para desenvolver estratégias integradas de mitigação de risco, considerando fatores geológicos, geotécnicos, ambientais e socioeconômicos.

É importante ressaltar que essas medidas apresentadas fornecem uma visão geral das ações que devem ser tomadas quando se trata de riscos desse tipo. No entanto, é de

conhecimento geral que, no estado do Rio Grande do Norte, apesar de cada município possuir legislações específicas sobre o tema, a gestão adequada em caso de problemas nem sempre é efetiva. Um exemplo disso foi o trágico incidente ocorrido em novembro de 2020 na praia da Pipa, onde uma família perdeu a vida devido ao desabamento de uma falésia. Embora estudos tenham sido solicitados na área logo após o incidente, até o momento, pouco progresso concreto foi feito. Além disso, alguns estabelecimentos que haviam sido interditados na época voltaram a funcionar. Apenas a sinalização da área de risco foi realizada.

Essa situação destaca a necessidade urgente de uma gestão mais eficaz e comprometida, envolvendo autoridades, especialistas e comunidades locais, para implementar medidas de prevenção e mitigação de riscos de maneira adequada e consistente. A segurança da população deve ser tratada como prioridade, garantindo que as medidas tomadas sejam efetivas e que haja um acompanhamento contínuo para evitar futuros incidentes trágicos.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A erosão costeira relacionada ao ambiente de falésias no Rio Grande do Norte é um fenômeno significativo e preocupante. O estado é conhecido por suas impressionantes falésias que se estendem ao longo da costa, tanto oriental e setentrional, aqui neste trabalho, especialmente nas regiões de Parnamirim, Nísia Floresta, Tibau do Sul e Baía Formosa, localizadas na parte oriental do estado.

As falésias são formações rochosas escarpadas que se erguem acima das praias arenosas. Elas são compostas principalmente por argilas e areias consolidadas, que são mais suscetíveis aos processos erosivos causados pelas forças naturais, como ventos, ondas e chuvas intensas.

A ação das ondas, em particular, desempenha um papel fundamental na erosão costeira ao atingir diretamente a base das falésias e provocar o desgaste gradual do material rochoso. A força das ondas também pode causar o desprendimento de blocos de rocha, resultando em desmoronamentos e deslizamentos.

A erosão costeira nas falésias é agravada pelo ciclo de erosão e deposição sazonal. Durante os períodos de maior precipitação, como os meses de abril a julho - como constados pelos gráficos aqui apresentados - ocorrem chuvas mais intensas, que aumentam a quantidade de água infiltrada nas falésias. Isso enfraquece a rocha e facilita o processo de desmoronamento. Além disso, a falta de vegetação nas encostas mais íngremes das falésias contribui para a aceleração da erosão costeira, pois a vegetação desempenha um papel crucial na estabilização do solo, atuando como uma barreira natural contra a ação dos elementos erosivos.

Em relação ao contexto geológico das áreas de estudo, nomeadamente a Praia de Cotovelo, Praia de Barra de Tabatinga, Praia da Pipa e Praia do Porto, localizadas nos municípios de Parnamirim, Nísia Floresta, Tibau do Sul e Baía Formosa, respectivamente, são caracterizadas por falésias ativas e praias arenosas. Todas elas possuem feições típicas encontradas na Formação Barreiras que é formada por tabuleiros costeiros caracterizados por arenitos e conglomerados, de cores variadas como vermelho, amarelo e por vezes branco, visto no presente trabalho. Além da Formação Barreiras, outras unidades litoestratigráficas são encontradas: os depósitos não vegetados e os depósitos litorâneos praias.

Neste trabalho, ressaltamos a importância das geotecnologias para aplicações ambientais, especialmente na gestão de áreas de encostas. Essas tecnologias desempenham um papel crucial ao permitir a identificação de áreas de risco, o monitoramento contínuo e a análise de tendências. As ferramentas SIG, em particular, têm um papel essencial na identificação das áreas de maior declividade, das áreas com edificações e das áreas com vegetação.

Com o uso dessas ferramentas, é possível delimitar de forma precisa as áreas de risco, bem como realizar investigações que nem sempre são viáveis em campo. E Ao combinar as geotecnologias com técnicas de sensoriamento remoto, é possível obter imagens de alta resolução, tais como as demonstradas aqui a partir do sensor CBERS 4A, com resolução espacial de 2m. Essas imagens revelam detalhes cruciais do terreno, incluindo a identificação de zonas homólogas, áreas urbanas, vegetação, solo, linha de berma, arruamentos e corpos d'água, corroboradas pelas imagens de satélites LANDSAT e mapas de declividades elaborados a partir de imagens do satélite ALOS PALSAR. Essas informações são fundamentais para realizar uma análise mais abrangente e implementar medidas adequadas de mitigação.

Além disso, é essencial realizar a caracterização dessas áreas em campo para obter uma análise mais precisa. Durante a inspeção no local, foram identificados vários pontos que demandam atenção e monitoramento contínuo. Todas as praias examinadas são consideradas falésias ativas, com declives acentuados próximos a 45° ou até mais íngremes, o que indica maiores riscos de movimentos de massa de acordo com a classificação do IPT.

Considerando o conceito de risco geológico e a classificação de risco em alto e muito alto, sendo R3 e R4, respectivamente, todas as praias apresentam um nível de risco R4. No entanto, as praias de Baía Formosa, Barra de Tabatinga e Pipa possuem uma proporção maior desse risco, devido à concentração populacional mais significativa em suas áreas costeiras. Isso as torna mais vulneráveis a problemas relacionados aos movimentos de massa. Além disso, a praia de Cotovelo também demanda atenção, pois recebe um grande número de banhistas e está localizada em uma área com um condomínio muito próximo à encosta.

Em relação as legislações pertinentes a temática de falésias, é importante ressaltar que, embora existam essas legislações sejam de cunho federais, estaduais e municipais relacionadas

à preservação ambiental desses locais, infelizmente, essas leis não são devidamente respeitadas. Em todas as praias analisadas, foi constatada a presença de edificações ou estabelecimentos que estão localizados a menos de 16 metros das encostas, o que claramente viola a Lei do Zoneamento Ecológico Econômico do Litoral Oriental do Estado do Rio Grande do Norte.

Com relação as medidas de mitigação e manejo adequado são possíveis tanto por soluções estruturais e não estruturais.

As medidas estruturais envolvem a implementação de técnicas estabilização de Falésias por meio da utilização de técnicas de engenharia, como ancoragens, cortinas atirantadas, drenagem e sistemas de contenção. Reforço de Taludes, com a construção de muros de contenção, enrocamentos e estruturas de concreto armado, para minimizar o risco de colapsos e desmoronamentos. E Barreiras de Proteção, instalação de barreiras físicas, como telas metálicas, geossintéticos ou muros, para proteger áreas vulneráveis e impedir a queda de material rochoso sobre áreas ocupadas.

E as não estruturais como, zoneamento e restrição de uso, estabelecimento de políticas de zoneamento que restrinjam o uso e a ocupação de áreas de risco geológico. Monitoramento e Alerta, implementação de sistemas de monitoramento contínuo para detectar sinais precoces de instabilidade nas falésias. Educação e Conscientização, realização de campanhas de educação e conscientização para informar e alertar as pessoas sobre os riscos associados às falésias, principalmente nas praias onde apresentam maiores risco do tipo R4. Planejamento Urbano Sustentável, adoção de práticas de planejamento urbano que levem em consideração os riscos geológicos.

No entanto, é importante destacar que as intervenções estruturais são obras frequentemente caras e muitos municípios optam por não implementar essas medidas devido aos custos envolvidos. Além disso, é válido ressaltar que essas intervenções podem causar poluição visual em áreas naturais, como as praias. Apesar dessas considerações, a estabilização das falésias ainda é uma das soluções para lidar com o problema.

Visando todo o exposto, constata-se que o mapeamento e a caracterização de áreas de risco associadas a movimentos de massa em falésias do litoral oriental do Rio Grande do Norte são etapas fundamentais para a compreensão e o manejo adequado dessas áreas vulneráveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB´SÁBER, A.N. 2001. **Litoral do Brasil**. São Paulo: Matealivros. 281p. il.
- ALMEIDA, F.F.M., Hasui, Y., Brito Neves, B.B., & Fuck, R.A. **Províncias estruturais brasileiras**. SBG/Nordeste, Simpósio de Geologia do NE, 7, Campina Grande, 1977.
- AMARAL, R. F. **Contribuição ao estudo da evolução morfodinâmica do litoral oriental sul do Rio Grande do Norte, entre Ponta de Búzios e Baía Formosa**. [S.l.]: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2000. Tese de Doutorado em Geociências.
- AMARO, V. E., GOMES, L. R. S., LIMA, F. G. F., SCUDELARI, A. C., NEVES, C. F., BUSMAN, D. V., SANTOS, A. L. S. **Multitemporal Analysis of Coastal Erosion Based on Multisource Satellite Images, Ponta Negra Beach, Natal City, Northeastern Brazil, Marine Geodesy**, **38:1**, 1-25, DOI: 10.1080/01490419.2014.904257. 2015.
- AMARO, V. E., CARVALHO, R. C., DE MATOS, M. D. F. A., INGUNZA, M. D. P. D., & SCUDELARI, A. C. **Avaliação Da Suscetibilidade Do Solo À Erosão Nas Falésias Do Litoral Oriental Do Estado Do Rio Grande Do Norte**. Revista Brasileira De Geomorfologia, 22(1). 2021.
- AMORIM, R. F.; MAIA, R. P. **Diagnóstico e apontamentos de medidas mitigadoras para o contexto de riscos nas falésias de pipa e barra de tabatinga – RN**. Projeto Falésias. Natal/RN. 2021.
- ARAÍ, M. **A grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras**. Revista do Instituto de Geociências, São Paulo, v.6, n.2, p.1- 6, out. 2006.
- ARAÚJO, V. D. *et al.* **Fácies e Sistema Depositional da Formação Barreiras na região da Barreira do Inferno, litoral oriental do Rio Grande do Norte**. Revista do Instituto de Geociências, São Paulo, v.6, n.2, p.43-49, out. 2006.
- AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica**. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS-COBRAE, 1., 1992. Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: ABMS, 1992. p. 721-733.

BEZERRA F. H. R. *et al.* **Using beachrock and hydro-isostatic predictions to identify Holocene coastal tectonics in NE Brazil.** In: Vita-Finzi, C. (Ed.), Coastal Tectonics, Geological Society SP, [S.l.], v. 146, p. 279-293. 1998.

BEZERRA, F. H. R.; DINIZ, R.; ACCIOLY, P. C. V. **Falhas cenozóicas como controle Geomorfológico e da sedimentação na Faixa Sedimentar Costeira do Rio Grande do Norte.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DA ABEQUA, 1999. Anais da ABEQUA. CD-ROOM.

BEZERRA, F. H. R. *et al.* **Pliocene-Quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil.** Journal of South American Earth Sciences, [S.l.], v. 14: p. 61- 75. 2001.

BITAR, O. Y. **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000.** Nota Técnica Explicativa. IPT & CPRM. São Paulo. Brasília. 2014. 50p.

BUSH, David M. *et al.* **Utilization of geoindicators for rapid assessment of coastal-hazard risk and mitigation.** Ocean & Coastal Management, v. 42, n. 8. 1999.

CALDAS L.H.O. **Late Quaternary coastal evolution of the northern Rio Grande do Norte Coast, NE Brazil.** Alemanha: Christian Albrechts Universitat zu Kiel, 2002. 92 p. Tese de Doutorado.

CALDAS, L. H. O.; STATTEGGER, K.; VITAL, H. **Holocene sea-level history: Evidence from coastal sediments of the northern Rio Grande do Norte coast, NE Brazil.** Marine Geology, Amsterdam, v. 228, n.1-4, p. 39-53. 2006a.

CARVALHO *et al.* **Perfil do seu município – Baía Formosa.** IDEMA. Natal/RN. 2008.

CARVALHO *et al.* **Perfil do seu município – Nísia Floresta.** IDEMA. Natal/RN. 2008.

CARVALHO *et al.* **Perfil do seu município – Parnamirim.** IDEMA. Natal/RN. 2008.

CARVALHO *et al.* **Perfil do seu município – Tibau do Sul.** IDEMA. Natal/RN. 2008.

CEMADEN. **Movimento de massa.** Disponível em:<
<http://www2.cemaden.gov.br/deslizamentos/>>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

DANTAS, M. E.; FERREIRA, R. V. **Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Norte.** CPRM- Serviço Geológico do Brasil. Recife. Cap. 6.2010.

DINIZ, R. F. **Erosão costeira e o desenvolvimento de costa com baías em forma de zeta no litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte.** In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 50., 1998, Natal-RN. Resumos. Natal-RN: [s.n.], 1998. p. 1041.

DINIZ, R. F.; DOMINGUEZ, J. M. L. **Erosão costeira no litoral oriental do Rio Grande do Norte.** CONGRESSO DA ABEQUA, 7., 1999, Porto Seguro-BA, [Trabalhos apresentados]. [S.l.]: [s.n.], 1999. CD-ROOM.

ELLISON, W. D. **Soil Erosion.** *Soil Science Society American Proceedings.* v. 12, n. 5, p. 479-484, 1948.

Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte - EMPARN. Disponível em:
<<https://meteorologia.emparn.rn.gov.br/relatorios/relatorios-pluviometricos>>. Acesso em: 05 de abril de 2023.

GIRÃO et al. **Análise teórica dos conceitos: Riscos Socioambientais, Vulnerabilidade e Suscetibilidade.** REGNE. Vol 4. 2018.

GOMES, M. P. *et al.* **The interplay between structural inheritance and morphology in the Equatorial Continental Shelf of Brazil,** *Marine Geology,* [S.l.], v. 355,p. 150–161. 2014.

FELL, R. et al. **Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning.** *Engineering Geology,* v. 102, p. 83-111, 2008.

FERNANDES, L. R.; Paiva, H. P. **Geologia e recursos minerais da folha Touros, SB.25-V-C-II: estado do Rio Grande do Norte.** Recife: CPRM. 2017.

FERREIRA, J. M. *et al.* **Superposition of local and regional stresses in northeast Brazil: evidence from focal mechanisms around the Potiguar marginal basin.** *Geophysical Journal International,* [S.l.], v. 134, p. 341-355. 1998.

FERREIRA, J. M. *et al.* **The role of Precambrian mylonitic belts and present-day stress field in the coseismic reactivation of the Pernambuco lineament, Brazil.** *Tectonophysics*, [S.l.], v. 456, p. 111-126. 2008.

FONSECA, V. P. **Estudos morfo-tectônicos na área do baixo curso do Rio Acu (AcuMacau) - Rio Grande do Norte.** [S.l.]: Universidade Federal de Minas Gerais. 1996. Dissertação de Mestrado.

FONSECA, V. P. **Compartimentação morfotectônica de um segmento do litoral setentrional do Rio Grande do Norte.** In: CONGRESSO DA ABEQUA IMBE. Anais. 2001. CDROOM.

JULIEN, P. Y. **Erosion and Sedimentation**, 2nd ed. Cambridge University Press. 2010. 371 p.

LANA, J. C. *et al.* **Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial: setorização de áreas de risco geológico – CPRM.** 2021.

LICCO, Eduardo Antonio; SEO, Emilia Satoshi Miyamaru. **Perigos e riscos naturais: estudo de caso do Jardim Pantanal.** *Revista Interfaces*. Vol. 8, n. 1, 2013. ISSN 1980-0894.

LIMA, Z. M. C. *et al.* **Sand spits from NE Brazil: high resolution Quaternary analogous for reservoir model.** ANNUAL MEETING OF AMERICAN ASSOCIATION OF PETROLEUM GEOLOGIST. Houston, EUA. Extended Abstracts. 2002. CD-ROOM.

LIMA, Z. M. C.; VITAL, H.; TABOSA, W. F. **Morphodynamic variability of the Galinhos Spit, NE Brazil.** *Journal of Coastal Research*, [S.l.], v. 39, p. 598-601. 2006.

LIMA, M. G. **A história do intemperismo na Província Borborema Oriental, nordeste do Brasil: Implicações paleoclimáticas e tectônicas.** Natal, 2008. 251 p + anexos. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2008.

MALTA *et al.* **Falésias** – IDEMA. Natal, 2021.

MATOS, R. M. D. **Deep Seismic Profiling, Basin Geometry and Tectonic Evolution of Intracontinental in Brazil.** New York: Department of Geology of Cornell University, 275 p. 1992. Doctor of Philosophy Thesis.

MATOS, R. M. D. **The Transversal Zone: A Key Feature Between NE Brazil and W Africa**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXIBITION. 1998. Rio de Janeiro, Brazil. Proceedings of Rio'98 AAPG p. 426-427.

MELO, A. B. C.; CAVALCANTI, I. F de A.; SOUZA, P. P. **Zona de Convergência Intertropical do Atlântico**. Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

MENEZES, M. R. F., SOUZA FILHO, L. V., BARROS, S. D. S. **Discordâncias e inundações no Grupo Barreiras, litoral leste do Rio Grande do Norte**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40,1998, Belo Horizonte. Anais do... Belo Horizonte: SBG. Núcleo Minas Gerais, 1998.

MILANI, E. J.; THOMAZ, FILHO A. **Sedimentary Basins of South America**. In: Cordani U.G.; Milani E.J.; Thomaz Filho A.; Campos D.A. (eds) Tectonic evolution of South America. INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000. [S.l.], [Trabalhos apresentados]. [S.l.]:[s.n.], 2000. p. 389-449.

MERRITT, W. S.; LETCHER, R. A.; JAKEMAN, A. J. **A review of erosion and sediment transport models**. Environmental Modelling & Software. v. 18, p. 761-799, 2003.

MINISTERIO DAS CIDADES; INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Brasília: 2007. 176 p.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. **Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro**. Revista Brasileira de Meteorologia, Rio de Janeiro, v. 17, n.1, 2002. p. 1-10.

MORAIS, R. M. O. *et al.* **Fácies sedimentares e ambientes deposicionais associados aos depósitos da Formação Barreiras no estado do Rio de Janeiro**. Revista do Instituto de Geociências – USP. v.6, n.2, p.19-30. 2006.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. Oxford, Blackwell Science Ltd: 2005. 304p.

NÍMER, E. Clima. **Geografia do Brasil: Região Nordeste**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. IBGE, Rio de Janeiro, 2 ed., 422 p. 1989.

ROSSETTI, D. F. **Evolução sedimentar miocênica nos estados do Pará e Maranhão.** Revista do Instituto de Geociências – USP. v.6, n.2, p.7 – 18. 2006.

SANTOS JR., O. F. et al. **Avaliação de Processos Erosivos de Falésias em Pirangi do Norte, Parnamirim – RN.** In: IV Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas (anais), 2005, Salvador.

SILVA *et al.* **EROSÃO EM FALÉSIAS COSTEIRAS E MOVIMENTOS DE MASSA NO RIO GRANDE DO NORTE, NORDESTE DO BRASIL.** Revista Geociências – Unesp. v. 39, n. 2, p. 447 - 461, 2020.

Silveira, J.D. **Morfologia do litoral.** In: Azevedo, A. (Ed.). Brasil: a terra e o homem. São Paulo: Companhia Editora Nacional. 1964. p.253-305.

SILVEIRA, I. M. **Monitoramento Geoambiental da região costeira do município de Guamaré-RN.** [S.l.]: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2002. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica.

SILVEIRA, I. M. *et al.* **The evolutionary study of environmental conditions of the coastal area of the Municipal District of Guamaré - RN.** Journal of Coastal Research, Special Issue 39, p. 237-241. 2006.

SHORT, A.D. Beaches. In: Short, A.D. (Ed). **Handbook of beach and shoreface morphodynamics.** John Wiley and Sons. 1999. p.3-20.

SOUTO, M. V. S. **Análise multitemporal dos elementos geoambientais da dinâmica costeira da região da Ponta do Tubarão, Macau-RN, com base em produtos de sensoriamento remoto e GIS.** [S.l.]: Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2002. Relatório de Graduação. Departamento de Geologia.

SOUZA, J. F. *et al.* **Perfil das principais rochas e minerais industriais. CT2005-171-00 – Contribuição Técnica elaborada para o Livro Rochas e Minerais Industriais do Ceará.** Fortaleza: CATE/MCT. p.19-25. 2005.

STATTEGGER, K.; CALDAS, L. H. O.;VITAL, H. **Holocene coastal evolution of the Northern Rio Grande do Norte Coast, Brazil.** Journal of Coastal Research, SI 39, p. 150-155. 2006.

SUGUIO, K. **Dicionário de Geologia Marinha: Com Termos Correspondentes Em Inglês, Francês e Espanhol.** T. A. Queiroz, São Paulo/SP, 1992.

TABOSA, W. F. T. **Monitoramento Costeira das Praias de São Bento do Norte e Caiçara do Norte - RN.** - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2002. Dissertação de Mestrado em Geodinâmica e Geofísica.

TABOSA, W. F. **Caracterização Geologica e Sedimentologica da plataforma continental adjacente a São Bento e Caiçara do Norte.** [S.l.]: Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2006. Tese de Doutorado em Geodinâmica e Geofísica.

PINHEIRO, J. U. *et al.* **Clima do estado do Rio Grande do Norte.** In: PFALTZGRAFF, P. A. S.; TORRES, F. S. M, Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Norte. CPRM- Serviço Geológico do Brasil. Recife. 2010.

PINHEIRO, Livian Rafaely de Santana Gomes *et al.* **Caracterização do clima de ondas na plataforma continental do Rio Grande do Norte, NE/Brasil, através do SMC-Brasil.** Revista Luso-Brasileira de Geotecnia, N. 114. 2017.

PIÉRRRI, Guilherme Cherem Schwarz. **Análise de risco à erosão costeira na região de Tibau do Sul-RN através de mapeamento geoambiental e análise morfodinâmica.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008.

UNISDR. **UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction.** United Nations. 2009. 35p.

VITAL, H. (COO) **Projeto Linha de Costa Galinhos a Ponta do Mel - Ano de 1831.** Relatório Técnico. [s.l.]: Laboratorio de Geologia e Geofísica Marinha e Monitoramento Ambiental-GGEMMA. UFRN (FUNPEC-PETROBRAS). 8 p. 1 Mapa 1:50.000. 2002.

VITAL, H. *et al.* **Why does erosion occur on the Northeast of Brazil.** Journal of Coastal Research, [S.l.], SI 35: p. 525–529. 2003.

VITAL, H. **Erosão e Progradação no Litoral do Rio Grande do Norte.** In: Muehe D. (org). Erosão e progradação do litoral brasileiro. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p.159- 176. 2006.

VITAL, H. **The Mesotidal Barrier of Rio Grande do Norte.** In: Dillenburg S.R. & Hesp P.A. (org.). Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Lecture Notes in Earth Sciences, [S.l.], v. 107: p. 289-324. 2009.

VITAL, H. **The north and northeast Brazilian tropical shelves.** In: Chiocci F.L. & Chivas A.R. (Eds). *Continental Shelves of the World: Their Evolution During the Last Glacio-Eustatic Cycle.* Geological Society Memoir, [S.l.], v. 41: p. 35-46. 2014.

VITAL, H. *et al.* **Beaches of Rio Grande do Norte.** In: Short A.D & Klein A.H.F. (Eds.). *Brazilian Beach Systems.* 1ed. Suíça: Springer International Publishing, [S.l.], v.17: p. 201-229. 2016.

VOIGT, B. **Glossary of coastal terminology.** Washington State Department of Ecology, Publicationn.98-105. (<http://www.csc.noaa.gov/text/glossary.html>). 1998. Atualizado em 09/04/2001.

XAVIER, NETO P. *et al.* **images of the Galinhos Península, NE Brazil: the register of a geologic evolution from paleochannel to a sand spit ?** In: *GPR in sediments.* Londres, Inglaterra: Geological Society and UCL. Ago. 2001. Anais. 2001.