



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Ricardo Carlos Carvalho

**AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À EROSÃO NO CENTRO DE
LANÇAMENTO DA BARREIRA DO INFERNO**

**Natal
2017**

Ricardo Carlos Carvalho

**AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À EROSÃO NO CENTRO DE
LANÇAMENTO DA BARREIRA DO INFERNO**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-graduação em
Engenharia Civil, da Universidade Federal
do Rio Grande do Norte, como requisito
parcial à obtenção do título de Mestre em
Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Maria del Pilar Durante Ingunza
Co-orientador: Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro

Natal
2017

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
Sistema de Bibliotecas – SISBI
Catalogação da Publicação na Fonte - Biblioteca Central Zila Mamede

Carvalho, Ricardo Carlos.

Avaliação da suscetibilidade à erosão no centro de lançamento da Barreira do Inferno / Ricardo Carlos Carvalho. - 2017.

115 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Natal, RN, 2017.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Maria del Pilar Durante Ingunza.

Coorientador: Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro.

1. Zona de costa. 2. Erosão. 3. Erodibilidade. 4. Geologia costeira. 5. Formação Barreiras. I. Ingunza, Maria del Pilar Durante. II. Amaro, Venerando Eustáquio. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 551.4(813.2)

RICARDO CARLOS CARVALHO

**AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À EROSÃO NO CENTRO
DE LANÇAMENTO DA BARREIRA DO INFERNO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Maria del Pilar Durante Ingunza - Orientadora

Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro - Co-orientador

Prof. Dr. Osvaldo de Freitas Neto - Examinador - UFRN

Prof. Dr. Ricardo Nascimento Flores Severo - Examinador Externo - IFRN

Natal, 29 de agosto de 2017.

AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À EROSÃO NO CENTRO DE LANÇAMENTO DA BARREIRA DO INFERNO

Ricardo Carlos Carvalho

Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Maria del Pilar Durante Ingunza
Co-orientador: Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro

RESUMO

A produção de informações do meio físico sobre determinada região tem papel relevante para o aproveitamento racional do solo, podendo auxiliar na preservação do ecossistema, no desenvolvimento de obras mais eficazes e na proteção contra a perda de solo. No litoral oriental do Rio Grande do Norte e inserido na Região Metropolitana de Natal, localiza-se o Centro de Lançamento da Barreira do Inferno, unidade institucionalmente protegida pela Força Aérea Brasileira. A fim de proporcionar diretrizes de planejamento, este trabalho avaliou e mapeou os elementos geoambientais ligados aos processos erosivos hídricos, permitindo a análise de suscetibilidade dos solos à erosão laminar na área militar. Foram utilizadas técnicas de Geoprocessamento, em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) na análise qualitativa de mapas por técnica multicritério aditiva. Foram realizadas visitas de campo, análises de imagens orbitais e avaliação de dados climatológicos. Com a comparação dos diversos produtos cartográficos gerados através de álgebra de mapas, foi possível avaliar o potencial erosivo da área. Foi observado que em decorrência da ausência de ações antrópicas predatórias, recai sobre os atributos do meio físico as maiores relevâncias para a análise da erosão. Vistorias locais identificaram processos de ravinamento na área das falésias e a técnica adotada mostrou-se adequada e eficiente para a representação espacial do potencial erosivo.

Palavras-chave: Zona de costa, erosão, erodibilidade, geologia costeira, Formação Barreiras.

EVALUATION OF SUSCEPTIBILITY TO EROSION AT THE BARREIRA DO INFERNO LAUNCH CENTER

Ricardo Carlos Carvalho

Adviser: Prof. Dr^a. Maria del Pilar Durante Ingunza
Co-adviser: Prof. Dr. Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro

ABSTRACT

The production of information about the physical environment in a given region has a relevant role for the rational use of the soil, which can help to preserve the ecosystem, to develop more efficient works and to protect against soil loss. On the eastern coast of Rio Grande do Norte and located in the Metropolitan Region of Natal, is located the Launch Center of the Barreira do Inferno, an unit institutionally protected by the Brazilian Air Force. In order to provide planning guidelines, this work evaluated and mapped the geoenvironmental elements related to the water erosion process, allowing the analysis of soil susceptibility to laminar erosion in the military area. Geoprocessing techniques were used in a Geographic Information System (GIS) environment in the qualitative analysis of maps by additive multicriteria technique. Field visits, orbital image analysis and climatologic data evaluation were carried out. With the comparison of the different cartographic products generated through map algebra, it was possible to evaluate the erosive potential of the area. It was observed that due to the absence of predatory anthropic actions, the attributes of the physical environment have the greatest relevance for erosion analysis. Local surveys identified ravine processes in the area of the sea cliffs and the technique adopted proved to be adequate and efficient for the spatial representation of the erosive potential.

Key-words: Coastal zone, erosion, erodibility, coastal geology, Barreiras Formation.

Dedicatória

*À minha família e a todos que
me incentivaram e auxiliaram nesta empreitada.*

Agradecimentos

Aos meus pais por sempre terem possibilitado os meus estudos. A minha mãe pela eterna dedicação. Ao meu pai por todos os ensinamentos.

A minha esposa pela compreensão, força, coragem e apoio em todas as minhas decisões.

A Prof.^a Maria del Pilar, sempre solidária, pela receptividade desde o início ao Projeto. Ao Prof. Venerando Amaro, pela extensa experiência na área de geoprocessamento e sensoriamento remoto; pela compreensão de minhas limitações, resultado da dedicação ao exercício da profissão. Meus orientadores: muito obrigado.

A Prof.^a. Ada Scudelari pelos inúmeros ensinamentos, decorrência de sua notável experiência, além da acolhida como Coordenadora do PEC. Prof.^a Ada: muito obrigado por tudo.

Ao Comando da Aeronáutica, através dos Srs. Diretores do CLBI, Cel Alcântara e Cel Junzo pela autorização e viabilidade do trabalho na área sob jurisdição patrimonial da Força Aérea Brasileira.

A todos os meus superiores: Maj Alessandro, Cap Guirra, Cap Moacyr, Cap Elio e Ten Franklin Jader; TCel Renato, pelo fornecimento da longa série de dados climatológicos.

Aos grandes amigos de seção no CLBI: Sgt Edson, Suboficial Torres e Tec. Ewerton Cavalcante: muito obrigado.

Professores da Banca Examinadora:

Ao Prof. Ricardo Severo, que tive o prazer de conhecer pessoalmente na data da defesa, pelas valiosas contribuições gentilmente oferecidas ao trabalho. Muito obrigado, Professor.

Ao Prof. Osvaldo Freitas pela contribuição, também resultado de sua grande experiência.

Aos meus eternos amigos, desde os velhos tempos de graduação na UNICAMP: Osvaldo Jr. pelo constante incentivo. Marcelo Kleingesind: seu amor e dedicação à Engenharia e aos estudos são contagiantes.

A todos os amigos de Natal e do Geopro, que contribuíram para esta pesquisa: Fátima Alves, Diego Oliveira, Caio Cortez, Alex Alcoforado e Janete Lima.

A todos, minha gratidão...

“Grande é aquele que deseja instruir-se; maior o que se instrui; porém muito maior, o que oferece os seus conhecimentos aos demais”

Henrique José de Souza

“A aquisição da Verdade é o mais elevado dos ideais humanos”

Henrique José de Souza

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABELAS	XII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	XIII
CAPÍTULO 1 Introdução	1
1.1 Apresentação	1
1.2 Justificativa.....	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo Geral	3
1.3.2 Objetivos Específicos	4
CAPÍTULO 2 Erosão e Erodibilidade	5
2.1 Processo erosivo.....	5
2.2 Fatores importantes na erodibilidade	6
2.3 Perda de solos pela erosão.....	11
2.3.1 Erosão e movimentos de massas em falésias	11
2.3.2 Erosão em ravinas e voçorocas	13
2.4 Cartas e mapas.....	14
2.5 Suscetibilidade, risco e vulnerabilidade.....	15
2.6 Ambiente SIG.....	16
2.7 Avaliação de perda de solo pela erosão	16
2.7.1 Carta de suscetibilidade à erosão	19
2.7.2 Ensaios para avaliação da erodibilidade dos solos	21
CAPÍTULO 3 Descrição e caracterização da área de estudo.....	23
3.1 Área de estudo, localização e vias de acesso.....	23
3.2 Breve histórico e generalidades	27
3.3 Clima.....	29
3.3.1 Temperatura do ar.....	29
3.3.2 Umidade relativa do ar	30
3.3.3 Precipitação.....	31
3.3.4 Direção e velocidade do vento	32
3.3.5 Pressão atmosférica.....	33
3.4 Geologia.....	34
3.4.1 Contexto geológico regional.....	34
3.4.2 Formação Barreiras.....	36

3.5	Geomorfologia.....	40
3.6	Solos	42
3.6.1	Trabalhos prévios realizados em solos das falésias do CLBI.....	43
3.7	Vegetação	46
3.8	Uso e Cobertura do Solo.....	48
	CAPÍTULO 4 Materiais e Métodos.....	53
4.1	Base de dados e softwares	53
4.2	Metodologia aplicada às atividades de campo e análise de dados climatológicos e das sondagens SPT.....	56
4.3	Elaboração do Modelo Digital de Elevação (MDE)	59
4.4	Elaboração dos Mapas temáticos	60
4.5	Processamento das imagens	65
4.6	Elaboração da Carta de suscetibilidade.....	65
	CAPÍTULO 5 Resultados e Discussões.....	72
5.1	Sondagens de simples reconhecimento (SPT)	72
5.2	Produtos cartográficos gerados	73
5.2.1	Mapa de Altitude	73
5.2.2	Mapa de Declividade.....	76
5.2.3	Mapa de Geologia	78
5.2.4	Mapa de Geomorfologia.....	82
5.2.5	Mapa de Solos	84
5.2.6	Mapa de Vegetação	86
5.2.7	Mapa de Uso e Cobertura do Solo.....	88
5.3	Mapa de Suscetibilidade à erosão	90
	CAPÍTULO 6 Considerações Finais.....	96
6.1	Conclusões	96
6.2	Recomendações	97
	CAPÍTULO 7 Referências bibliográficas	99
ANEXO 01	Documento de apresentação dos Dados Climatológicos do Aeroporto de Natal, fornecidos pelo ICEA, de 1955 a 2016.....	106
ANEXO 02	Resultado de Sondagem SPT.....	110

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Fendas de tração (seta preta) e sua evolução pra uma ravina (setas brancas), em consequência da erosão pluvial	12
Figura 2.2 - Processo de Ravinamento na área de afloramento da Formação Barreiras, consequência da erosão hídrica	13
Figura 3.1 - Entrada (A e B) e vista aérea (C) do CLBI	24
Figura 3.2 - Mapa da cidade de Natal (A) com destaque para a área sob jurisdição patrimonial do CLBI (B)	25
Figura 3.3 - Falésia (A), Morro do Careca (B), e dunas vegetadas (seta branca) e não vegetadas (seta preta) (C).....	25
Figura 3.4 - Área do CBLI cortada pela rodovia RN-063.	26
Figura 3.5 - Filhotes de tartaruga após o nascimento, em área protegida pelo CLBI(A) e (B).....	28
Figura 3.6 - Variação da Temperatura, em graus Celsius, coletados pela Estação Meteorológica SBNT do aeroporto de Natal, entre os anos de 1955 a 2016	30
Figura 3.7 - Variação da Umidade Relativa (%), coletadas pela Estação Meteorológica SBNT do aeroporto de Natal, entre os anos de 1955 a 2016	31
Figura 3.8 - Variação das Precipitações (mm), coletados pela Estação Meteorológica SBNT do aeroporto de Natal, entre os anos de 1955 a 2016.....	32
Figura 3.9 - Variação dos Ventos, quanto a direção em graus e a velocidade em nós, coletados pela Estação Meteorológica SBNT do aeroporto de Natal, entre os anos de 1955 a 2016.....	33
Figura 3.10 - Variação das Pressões, em hectopascal (hPa), coletados pela Estação Meteorológica SBNT do aeroporto de Natal, entre os anos de 1955 a 2016. Obs. 1 Pa = 1 N/m ² e 1 hPa = 100 N/m ²	34
Figura 3.11 - Mapa geológico (A) e Relações tectonoestratigráficas das unidades meso-cenozoicas (B) do Estado do Rio Grande do Norte.....	35
Figura 3.12 - Mapa geotectônico da Província Borborema, na região Nordeste do Brasil (A), evidenciando o arcabouço tectonoestrutural do Estado (B) e a bacia Potiguar e suas divisões (C) no Rio Grande do Norte.....	37
Figura 3.13 - Domínios geomorfológicos do estado do Rio Grande do Norte.	41
Figura 3.14 - Vegetação denominada restinga arbustiva	47
Figura 3.15 - Vegetação denominada restinga herbácea	48
Figura 3.16 - Vegetação denominada savana arborizada	49
Figura 3.17 - Superfície arenosa, com escassez ou ausência de vegetação	49

Figura 3.18 - ZPA-05 e ZPA-06 no contexto da legislação urbanística e ambiental municipal.....	51
Figura 4.1 - Delineamento experimental desenvolvido para a execução do projeto de pesquisa.....	54
Figura 4.2 - Fotos da execução dos furos SPT-01 (A), SPT-02 (B) e SPT-03 (C)....	59
Figura 5.1 - Mapa de Altitude (metros) do CLBI, escala 1:35.000.....	74
Figura 5.2 - Mapa de Declividade (em graus) do CLBI, escala 1:35.000.	77
Figura 5.3 - Mapa de Geologia do CLBI, escala 1:35.000.....	80
Figura 5.4 - Perspectiva dos depósitos eólicos litorâneos vegetados (A) e depósitos eólicos litorâneos não vegetados (B).	81
Figura 5.5 - Depósitos litorâneos de praias (A) e afloramento sedimentar da Formação Barreiras (B).....	81
Figura 5.6 - Mapa de Geomorfologia do CLBI, escala 1:35.000.....	83
Figura 5.7 - Mapa de Solos do CLBI, escala 1:35.000.....	85
Figura 5.8 - Mapa de Vegetação do CLBI, escala 1:35.000.....	87
Figura 5.9 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo do CLBI, escala 1:35.000.....	89
Figura 5.10 - Mapa do Potencial Erosivo do CLBI, escala 1:35.000.....	92
Figura 5.11 - Visão de parte do setor oeste do CLBI, com a preponderância de baixa suscetibilidade à erosão.....	93
Figura 5.12 - Visão aérea da região nordeste da área mapeada, de média baixa e média suscetibilidade à erosão	93
Figura 5.13 - Região nordeste da área mapeada, de média alta e alta suscetibilidade à erosão	94
Figura 5.14 - Visão aérea da região no extremo nordeste da área mapeada, de alta suscetibilidade à erosão.....	94
Figura 5.15 - Visão aérea do afloramento sedimentar da Formação Barreiras, de alta suscetibilidade à erosão.....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Suscetibilidade à erosão de diferentes tipos de solos segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) (Trillo, 1999 <i>apud</i> Gomes, 2001 e Meira, 2008).....	09
Tabela 3.1 - Relação dos Tombos, área e perímetros do CLBI.....	26
Tabela 4.1 - Características das imagens orbitais, dados SRTM e Ortofoto	60
Tabela 4.2 - Composições coloridas nos sistemas RGB e RGBI elaboradas com as técnicas de PDI.	61
Tabela 4.3 - Mapas base elaborados para a área sob jurisdição patrimonial do Centro de Lançamento da Barreira do Inferno, em ambiente SIG	62
Tabela 4.4 - Apresentação dos indicadores, respectivos pesos e notas referentes a cada critério para o mapa de suscetibilidade à erosão	68
Tabela 4.5 - Valores de erodibilidade dos solos (fator K) (Bertoni & Lombardi Neto, 2012, <i>apud</i> Michette, 2015).....	69
Tabela 4.6 - Apresentação dos intervalos resultantes da álgebra de mapas e respectivas classes definidas para o mapa de suscetibilidade à erosão.....	71
Tabela 5.1 - Apresentação das classes de altitude, respectivas áreas e percentuais representativos na área mapeada.....	75
Tabela 5.2 - Apresentação das classes de declividade, respectivas áreas e percentuais representativos na área mapeada.	76
Tabela 5.3 - Feições geológicas e respectivas representatividades na área de estudo.	81
Tabela 5.4 - Feições geomorfológicas e respectivas representatividades na área de estudo.	82
Tabela 5.5 - Solos e respectivas representatividades na área de estudo.....	84
Tabela 5.6 - Feições vegetadas e respectivas representatividades na área de estudo.	88
Tabela 5.7 - Classes de uso e cobertura dos solos e respectivas representatividades na área de estudo.	90
Tabela 5.8 - Classes e respectivas definições de suscetibilidade, com as áreas e percentuais representatividades na área de estudo.....	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BANT	- Base Aérea de Natal
CLBI	- Centro de Lançamento da Barreira do Inferno
COMAER	- Comando da Aeronáutica
COMAR	- Comando Aéreo Regional (COMAER)
DEPED	- Departamento de Pesquisas e Desenvolvimento (COMAER)
DGC	- Diretoria de Geociências (IBGE)
DCTA	- Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (COMAER)
DG	- Departamento de Geologia (UFRN)
DEGEO	- Departamento de Geografia (IBGE)
EUPS	- Equação Universal de Perda de Solos
GAV	- Grupo de Aviação (COMAER)
GEOPRO	- Laboratório de Geoprocessamento (DG, UFRN)
GIS	- Geographic Information Systems (tecnologia SIG)
GPS	- Global Positioning System (sistema de posicionamento global)
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MAER	- Ministério da Aeronáutica (extinto em 2001)
OM	- Organização Militar
PDI	- Processamento Digital de Imagens
PEC	- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (UFRN)
PNGC	- Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro
PPGES	- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária (UFRN)
PPGG	- Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica (UFRN)
RMN	- Região Metropolitana de Natal
RN	- Estado do Rio Grande do Norte
SERPAT	- Serviço Regional de Patrimônio (COMAER)
SPT	- Seção de Patrimônio (CLBI)
SIG	- Sistema de Informações Geográficas
SUCS	- Sistema Unificado de Classificação dos Solos
UFRN	- Universidade Federal do Rio Grande do Norte

CAPÍTULO 1

Introdução

1.1 Apresentação

A produção de dados geotécnicos sobre determinada região, utilizando os atributos do meio físico, tem papel relevante no planejamento de atividades e aproveitamento racional do solo (Valente, 1999), podendo auxiliar na preservação do ecossistema e no desenvolvimento de obras urbanas mais eficazes; enquanto a ausência ou incompletude desses parâmetros pode levar perda de solo, devido à falta de atividades conservacionistas ou mau uso dos horizontes superficiais.

De acordo com Valladares *et al.* (2012) o mau uso do solo pela ausência na elaboração de planos agroambientais pode ocasionar o esgotamento extensivo dos recursos naturais de modo irreversível; e segundo Bigarella & Mazuchowski (1985, *apud* Aparecido *et al.*, 2013) a atividade antrópica em regiões desprovidas de planejamento de ocupação territorial pode resultar em processo de degradação ambiental acelerado, sendo a erosão um dos principais fatores causadores da degradação do solo em todo o mundo (Tôsto & Pereira, 2012).

No Brasil, estudos sobre as zonas costeiras são de extrema importância, pois nelas existe destacada relevância econômica, visto que o litoral brasileiro apresenta elevada concentração populacional, com diversas capitais estaduais, além de grande valor turístico (Amaro *et al.*, 2012). São regiões com combinações únicas dos ecossistemas costeiros, que englobam o continente, as praias, o oceano, a restinga, as margens fluviais, as dunas e os manguezais e sofrem de modo constante os efeitos das forças meteorológicas e hidrodinâmicas, resultando em áreas altamente vulneráveis a alterações morfológicas e processos erosivos, e estes fenômenos configuram-se como agentes responsáveis pela deterioração da qualidade ambiental (Muehe, 1998; Cunha, 2004; UFRN/FUNPEC/MPRN, 2011; Amaro *et al.*, 2012).

Ademais, as ocupações desordenadas nesses ambientes, associadas à crescente urbanização do litoral brasileiro, por vezes mal planejada (Vital, 2006), representam fatores preponderantes ao surgimento e principalmente intensificação

(Santos Jr. *et al.*, 2008) das ações erosivas e de outros problemas típicos de regiões com ausência de práticas conservacionistas - como é o caso da poluição - e carentes de investimento, condições recorrentes no Nordeste Brasileiro (Mota, 1991 *apud* Gomes, 2001; Angelim *et al.*, 2007). São processos que perpassam a degradação de terras e a possível desertificação de áreas nessas regiões (Tôsto & Pereira, 2012).

O litoral do Rio Grande do Norte (RN) exhibe cobertura sedimentar da Formação Barreiras (Nunes, Silva & Boas, 2011), neste caso constituído primariamente por praias arenosas e, secundariamente, por falésias (Vital, 2006). A descrição geomorfológica consiste nas Planícies Litorâneas e Tabuleiros Costeiros, recobertos por dunas, vegetadas e não vegetadas. No setor oriental do estado, e inserido sobretudo na área de extensão da Formação Barreiras, situa-se o Centro de Lançamento da Barreira do Inferno (CLBI), área sob jurisdição da Força Aérea Brasileira. A Organização Militar possui regiões vizinhas altamente adensadas, com grande intervenção antrópica, conjuntura que pode interferir na manutenção da preservação do meio ambiente e solo locais.

1.2 Justificativa

O CLBI está inserido na região metropolitana de Natal (RMN) e contido em área de preservação ambiental. De acordo com Medeiros (2001), no local existe uma importante unidade geomorfológica de abastecimento de água, considerada o principal aquífero da cidade, possuindo um sistema integrado das formações dunares e dos sedimentos da Formação Barreiras (denominado sistema Dunas-Barreiras), onde as dunas são responsáveis pela alimentação do aquífero.

Por tratar-se de área protegida, o CLBI apresenta as condições naturais conservadas. Entretanto, ao cercar-se áreas densamente povoadas, as quais são rotineiramente expostas a inúmeras intervenções humanas irregulares – como o desmatamento, o lançamento inadequado de lixo e esgoto, a alteração da drenagem natural, e a movimentação irregular de terra – esta região pode vir a sofrer diversas interferências associadas a múltiplos prejuízos ambientais. Dessa forma, a área geográfica do CLBI desperta especial interesse para a pesquisa das características de seu meio físico, de modo a possibilitar a elaboração do seu mapeamento, e em

particular, a avaliação de sua suscetibilidade à erosão, tornando-se de extrema importância identificar e caracterizar as propriedades topográficas, geológicas, geomorfológicas, pedológicas, de vegetação e de uso e cobertura locais. As informações devidamente consolidadas possibilitarão a elaboração de melhores planos de preservação ambiental e de uso racional do solo no seu interior e nas regiões do seu entorno.

Importante destacar que grande parte dos gestores brasileiros intervêm no meio antes de verificar as diretrizes definidas pelos estudos e indicadores ambientais. Por ocupar uma região de zona costeira minimamente antropizada, os estudos ambientais realizados na organização, tais como a obtenção dos Índices de Vulnerabilidade Costeira (IVC) ou estudos de erodibilidade, como é o caso deste trabalho, permitirão aos gestores da área ordenar muito bem antes de proceder qualquer tipo de intervenção ou ocupação. Esta condição pode ser atualmente considerada rara ao se analisar regiões costeiras próximas a grandes centros metropolitanos.

Para tais estudos, o uso de meios geotecnológicos que atuam junto ao Sensoriamento Remoto na geração de dados georreferenciados, atrelados a técnicas de Geoprocessamento, são ferramentas eficazes na geração de dados geomorfológicos fidedignos, resultando na obtenção de informações que possam vir a orientar as atividades de proteção, manejo, melhoramento e reabilitação do solo.

Assim, este trabalho identificou, mapeou e interpretou as unidades morfológicas existentes na área do CLBI, retratando-as por meio de cartas geológicas e geotécnicas, com vistas à análise de suscetibilidade à erosão laminar do solo na região.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar os elementos ambientais regionais e locais ligados aos processos erosivos costeiros de modo a permitirem a análise de suscetibilidade e potencial dos solos à erosão laminar através de técnicas de Geoprocessamento, na análise

qualitativa de mapas por álgebra de mapas em ambiente SIG, visando identificar e justificar as áreas mais e menos suscetíveis à erosão dos solos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analisar e compilar os dados meteorológicos, fornecidos pela Subdivisão de Climatologia e Arquivo Meteorológico (PBCA) do Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA) da Aeronáutica, entre os anos de 1955 a 2016, a fim de retratar as condições meteorológicas da região mapeada;
- Gerar o Modelo Digital de Elevação do terreno (MDE), com base no levantamento da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), como subsídio para o desenvolvimento dos mapas de altitude e declividade;
- Produzir mapas geológico, de solos, geomorfológico, de vegetação e de uso e cobertura em escala 1:35.000 em ambiente SIG da área em estudo; e
- Gerar o mapa de suscetibilidade à erosão da área mapeada, através de análise multicritério, em escala 1:35.000.

Para atingir estes objetivos foi realizada a comparação de diversos produtos cartográficos gerados através de matriz comparativa e álgebra de mapas, em associação a visitas de campo, análise de sondagens e análise de dados climatológicos dos anos de 1955 a 2016.

CAPÍTULO 2

Erosão e Erodibilidade

2.1 Processo erosivo

A erosão do solo é um processo geomorfológico que ocorre por meio da inter-relação de agentes naturais ou climáticos, frequentemente somada à ação antrópica (Tiz & Cunha, 2007; Embrapa, 2010; Silva *et al.*, 2015). Este processo pode ser dividido em três etapas: desprendimento, transporte e deposição (Barbosa & Lorandi, 2012).

Desse modo, o processo erosivo é um fenômeno que existe de forma rotineira e constante na natureza, reconhecida como erosão geológica ou natural (Bertoni & Lombardi Neto, 2005). A erosão geológica pode ser definida como a denudação de uma superfície geológica que se dá de forma lenta e contínua, de acordo com as condições de equilíbrio de formação do solo – e neste caso a erosão, normalmente, não é um fator preocupante, visto que o solo consegue se recompor em sua maior parte; dessa forma, a erosão é responsável por moldar paisagens, atuando diretamente no surgimento de montanhas, vales e planícies ao longo de milhares de anos (Barbosa & Lorandi, 2012).

Mas esse fenômeno também se configura como um dos principais fatores causadores da degradação e deterioração da qualidade ambiental, que pode ser acelerada pelo uso e manejo inadequados do solo, sendo conhecida, nesse caso, como erosão acelerada ou antrópica (Zonta *et al.*, 2012; Basso, 2013). A Erosão Antrópica é desencadeada pela intervenção humana, e é um processo altamente destrutivo que se desenvolve rapidamente, ou seja, possui a intensidade de degradação superior a da formação do solo, e nesse caso, acaba por impedir sua recuperação natural.

Segundo Silveira (2002), dentre os diferentes agentes erosivos – como ventos, gelo e gravidade – a ação erosiva da chuva, desencadeada pelo impacto das gotas de água no solo, seguida pelo escoamento superficial –o qual é formado devido ao excesso de água no solo – tornam a erosão hídrica a que possui maior

impacto e que causa maiores prejuízos ao ambiente, especialmente nas regiões tropicais, onde chuvas com maiores intensidades ocorrem mais frequentemente.

De acordo com Santos Jr. *et al.*, (2008), a erosão pluvial inicia-se no momento em que as primeiras gotas de chuva atingem a superfície do solo. Este instante é denominado *splash* ou salpicamento e possibilita o desprendimento de partículas, selando o solo e iniciando a formação de poças. Após o esgotamento da capacidade de infiltração de água no solo, a água preenche as partes mais baixas da superfície do terreno, e nesse momento inicia-se o escoamento superficial, que também é responsável pela remoção de partículas.

Este escoamento de água na superfície do solo se dá, primeiramente, em lençol ou em fluxo laminar, podendo evoluir para o escoamento linear. O fluxo laminar possui um escoamento difuso com potencial a erodir o solo de forma homogênea, por meio do arraste de camadas delgadas de sedimentos, originando a erosão laminar. Por sua vez, a erosão linear desenvolve-se através da junção dos canais de água formados a partir do escoamento superficial, tendendo a aumentar a espessura dos canais e a profundidade atingida por estes, evoluindo para a erosão linear em sulcos, ravinas e voçorocas (Bertoni & Lombardi Neto, 2005; Magri, 2013).

2.2 Fatores importantes na erodibilidade

De acordo com o IBGE (2009) algumas características podem determinar uma maior ou menor suscetibilidade à erosão do solo, assim como a interação entre vários fatores ambientais. Tais fatores são: propriedades do solo, declividade, uso e cobertura do solo, vegetação e erosividade climática.

- **Propriedades do solo**

A natureza do solo é um dos fatores que exerce maior influência sobre o material erodido, regulando diretamente a capacidade de infiltração de água e a resistência do solo à desagregação e transporte. E estas características são geradas essencialmente pelas propriedades físicas e químicas do próprio solo, tais como:

textura, estrutura e permeabilidade, densidade aparente, porosidade, proporção de minerais e matéria orgânica, teor e estabilidade dos agregados, pH e capacidade de infiltração (Trillo, 1999 *apud* Gomes, 2001). A estabilidade de agregados exprime o grau de agregação ou união das partículas de um solo e interfere diretamente nas suas características físicas e hidráulicas, e por consequência influencia sua erodibilidade (Bastos, 1999 *apud* Lafayette, 2006).

Em consequência da diversidade de suas propriedades intrínsecas, os solos apresentam diferentes graus de suscetibilidade para as variadas forças geradas pelos agentes erosivos (Bertoni & Lombardi Neto, 2005). Trillo (1999, *apud* Gomes, 2001 e Meira, 2008) apresenta uma tabela correlacionando o tipo de solo segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) e o seu potencial a erosão (Tabela 2.1). Importante destacar que os solos classificados segundo o SUCS na área mapeada, como se verá adiante, encontram-se na condição de alta erodibilidade, de acordo com a Tabela 2.1.

Bertoni & Lombardi Neto (2012, *apud* Michette, 2015) correlacionam as classes de solo e os respectivos valores de erodibilidade (fator K), utilizados na Equação Universal de Perda de Solos (EUPS), conforme será verificado adiante, através da Tabela 4.5.

A textura de um solo é resultado de sua granulometria, descrito pela sua curva granulométrica. Os solos com maiores concentrações de areias finas e grossas tendem a ser menos erodíveis, por conta de sua elevada permeabilidade, ao passo que solos com argilas são mais resistentes ao salpicamento, resultado da coesão e consequente redução do desprendimento das partículas de solo durante o impacto das gotas de chuva. Solos siltosos com grande proporção de areias finas possuem alto potencial a erosão (Gomes, 2001).

A textura e estrutura do solo são índices que possuem influência direta na quantidade de solo arrastado pelo processo erosivo. Partículas mais finas, de um modo geral, são mais facilmente transportadas, enquanto partículas com maiores diâmetros tendem a suportar melhor o arraste. A estrutura do solo é o resultado das proporções entre sua porção sólida e os poros ocupados pela água ou pelo ar e esse arranjo determina as características do solo como permeabilidade e sucção (Gomes, 2001).

Solos com maiores porosidades possuem menores densidades aparentes, enquanto maiores valores de densidades aparentes levam a menores porosidades e conseqüentemente menores taxas de infiltração no solo, pois uma menor porosidade significa menor capacidade de armazenar fluidos. A densidade aparente acaba por se traduzir em um fator controlador dos processos erosivos, pois se encontra intimamente ligado a maior ou menor grau de compactação dos solos (Guerra, 1998).

Solos basicamente arenosos como altas permeabilidade e porosidade, supostamente com grande capacidade de infiltração, podem apresentar muitos sedimentos finos, associados à matéria orgânica, resultando em superfícies com crostas de baixas porosidades, gerando grande potencial de escoamento superficial (Guerra, 1998).

A estrutura de um solo está ligada, por exemplo, às interações físico-químicas das argilas, que proporcionam estabilidade aos agregados mesmo na presença de água (Bertoni & Lombardi Neto, 2005). A presença de matéria orgânica proporciona maior estabilidade ao solo, ao propiciar melhor retenção de água e arejamento. Solos com boa capacidade de infiltração, mas com teores limitantes de umidade do solo, produzem altos índices de *runoff* (exemplo de areias com baixa capacidade de armazenamento capilar). Desse modo, percebe-se que o solo apresenta inúmeros fatores que devem ser analisados em conjunto e de maneira criteriosa para uma correta avaliação de sua erodibilidade (Guerra, 1994; Bertoni & Lombardi Neto, 2005).

- **Declividade**

A importância da declividade para a erosão é atribuída à influência direta exercida sobre a velocidade e o volume do escoamento superficial, ou seja, os terrenos com maiores declividades apresentam maiores velocidades de escoamento superficial e, conseqüentemente, maior capacidade erosiva. Além da declividade, outras variações no relevo como comprimento de rampa, forma e extensão das encostas também podem interagir para uma maior ou menor erodibilidade do solo (Guerra, 1994; Bertoni & Lombardi Neto, 2005).

Tabela 2.1 - Suscetibilidade à erosão de diferentes tipos de solos segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) (Trillo,1999 *apud* Gomes, 2001 e Meira, 2008).

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO DO SOLO	ERODIBILIDADE
GW	Pedregulho e mistura de pedregulho e areia, bem graduados, com poucos ou sem finos	Menos erodível 
GP	Pedregulhos e mistura de pedregulho e areia, mal graduados, com poucos ou sem finos	
SW	Areias e areias pedregulhosas, bem graduadas, com poucos ou sem finos	
GM	Cascalho siltoso, misturas de cascalho, areia e silte	
CH	Argilas inorgânicas de plasticidade elevada, argilas gordas	
CL	Argilas inorgânicas de plasticidade baixa ou média, argilas pedregulhosas, argilas arenosas, argilas siltosas, argilas magras	
OL	Siltes orgânicos, siltes e argilas orgânicas de plasticidade baixa	
MH	Siltes inorgânicos, solos arenosos finos ou siltosos micáceos e diatomáceos, solos elásticos	
SC	Areias argilosas	
SM	Areias siltosas	
ML	Siltes inorgânicos e areias muito finas, pó-de-pedra, areias finas siltosas ou argilosas, e siltes argilosos pouco plásticos	

- **Uso e cobertura do solo**

O uso da terra também é um fator a ser considerado na avaliação da erosão do solo, tanto na área rural quanto na área urbana. Estudos que investigam as taxas de erosão do solo constataram que diferentes tipos de uso da terra (floresta, pastagem, cultivos, solo nu), sob diversas condições ambientais, apresentaram valores diferenciados de perda anual de solo, onde o modo de utilização do solo pelo homem é um dos fatores principais pra essa perda de solo (Bertoni & Lombardi Neto, 2005).

- **Vegetação**

A cobertura vegetal é o fator mais importante de defesa natural do solo contra a erosão, tendo em vista a função protetora que a mesma exerce sobre o terreno (Guerra, 1994; Meira, 2008). A proteção da vegetação sobre o solo é exercida por meio da atenuação da energia cinética das gotas da chuva sobre a superfície. A vegetação também promove a dispersão das gotas de chuva antes das mesmas atingirem o solo, além de diminuir a velocidade das águas do escoamento superficial, pelo aumento do atrito.

Adicionalmente, a presença de húmus proporcionada pela vegetação afeta a estabilidade estrutural dos agregados constituintes do solo, favorecendo a retenção de água em sua estrutura (Guerra, 1994).

Conseqüentemente, a vegetação influencia a taxa de infiltração de água no solo. Assim, quanto maiores as taxas de cobertura vegetal, maiores serão os índices de infiltração, condição que contribui para a redução do *runoff*, ou escoamento superficial (Bertoni & Lombardi Neto, 2005).

- **Erosividade climática**

A erosividade climática tem prioritariamente a chuva, e em menor escala, o vento como os fatores preponderantes no desenvolvimento da erosão. E quando é levada em consideração a erosão hídrica, a erosividade da chuva é avaliada através de seus elementos característicos, tais como intensidade, duração, frequência e energia cinética de suas gotas (Guerra, 1994; Bertoni & Lombardi Neto, 2005).

A água da chuva erode o solo tanto pelo impacto direto das gotas de água, caindo com velocidade e energia variáveis, quanto pela concentração do fluxo das águas de escoamento superficial (Magri, 2013), e sua intensidade pode ser considerada como o fator mais importante a ser avaliado: quanto maior a intensidade da chuva, maiores serão as perdas do solo por erosão (Bertoni & Lombardi Neto, 2005).

2.3 Perda de solos pela erosão

2.3.1 Erosão e movimentos de massas em falésias

Santos Jr. *et al.* (2008) avaliaram os processos de instabilização atuantes nas falésias da região de Tibau do Sul, no Rio Grande do Norte, localizadas a aproximadamente 35 km ao sul do Centro de Lançamento da Barreira do Inferno. Nos estudos foram considerados dois conjuntos de processos: os continentais e os costeiros. Os continentais independem da atuação marítima, sujeitando-se às ações pluviométricas e condições geomorfológicas do talude. Já os processos costeiros estão ligados diretamente às ações marítimas, como ondas e correntes atuando na base das falésias. Esta ação mecânica das ondas e das marés atuando na base das falésias constitui a erosão basal. Este tipo de erosão produz uma incisão basal nas falésias, que pode provocar instabilidade e conseqüentemente ruptura nos maciços, segundo Barbosa (2017). A autora estudou a relação entre diferentes formas de incisões basais e respectivas análises de estabilidade nas falésias na Barreira do Inferno.

Os autores indicam os tipos de instabilização fundamentais aliados aos processos continentais. A erosão pluvial é o processo mais presente, seguido dos movimentos de massas (escorregamentos, quedas e tombamentos de blocos). Todos os processos são conseqüência direta das ações das chuvas.

Através dos ensaios de cisalhamento direto verificou-se que os solos da área têm sua resistência minimizada quando inundados, devido à redução da coesão e conseqüente perda de sucção matricial, enquanto não foram verificadas alterações significativas para o ângulo de atrito (Santos Jr. *et al.*, 2008; Severo, 2011). Ao avaliar a estabilidade das falésias do CLBI, Barbosa (2017) também indica que as ações de instabilidade são desencadeadas pelo incremento da saturação e a conseqüente redução da coesão.

As falésias da região são constituídas por sedimentos terciário-quadernários da Formação Barreiras, com camadas intercaladas de arenitos argilosos e ferruginosos, além de argilitos (Santos Jr. *et al.*, 2008). Esta composição associada às propriedades geotécnicas e morfológicas gera condições para a ocorrência de

fendas de tração, resultado das tensões de tração atuantes no maciço da Barreira do Inferno (Barbosa, 2017).

As discontinuidades do maciço associadas às fendas de tração na região da face superior das falésias tendem a se ampliar com a desagregação e transporte de sedimentos ocasionados pelas chuvas. As fendas então evoluem para sulcos e ravinas, com potencial para progredir para uma voçoroca. Consequência da erosão hídrica, a Figura 2.1 indica este processo e a Figura 2.2 revela o processo mais adiantado de ravinamento, ambas na área de afloramento da Formação Barreiras, situada no extremo leste da área estudada, na linha de costa.

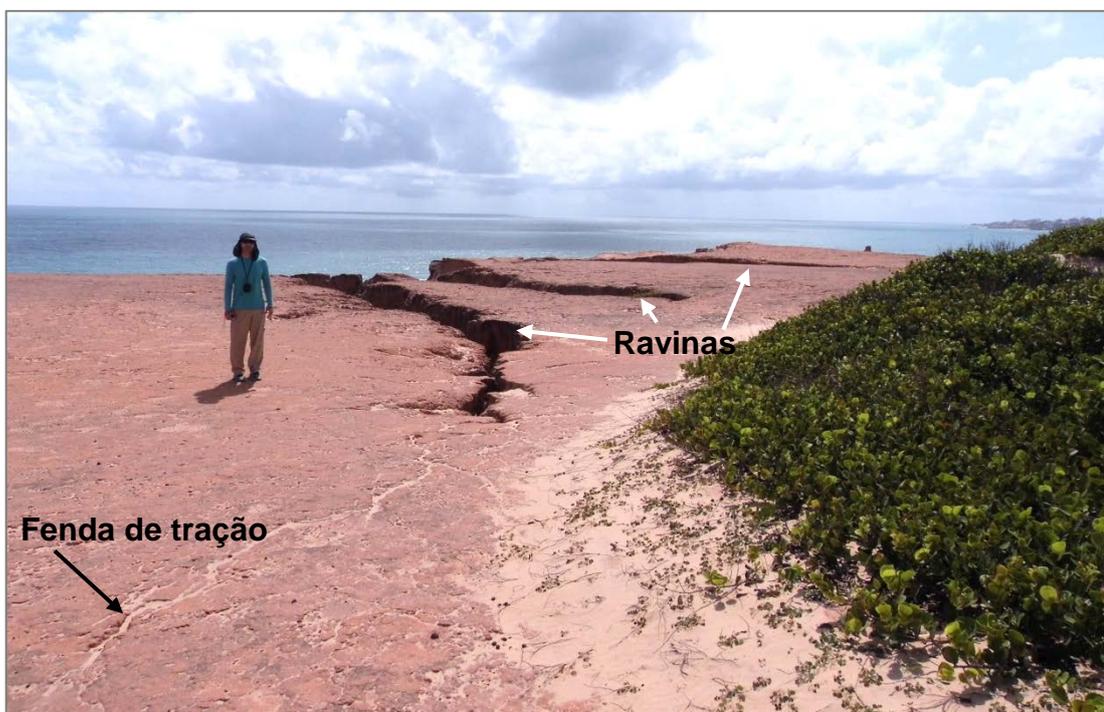


Figura 2.1 - Fendas de tração (seta preta) e sua evolução para uma ravina (setas brancas), em consequência da erosão pluvial (*Fonte: Almeida Jr., 2017*).

De fato, verifica-se que a intensidade das chuvas recorrentes nas regiões tropicais assume o protagonismo para as consequências dos processos erosivos, como o mecanismo de ruptura e consequente movimentos de massas nas falésias, conforme já constatado em estudos anteriores ocorridos em falésias costeiras do estado do Rio Grande do Norte. A redução da resistência ao cisalhamento decorre da perda de coesão como um parâmetro importante de resistência dos solos.



Figura 2.2 - Processo de ravinamento na área de afloramento da Formação Barreiras, consequência da erosão hídrica (Fonte: Almeida Jr., 2017).

2.3.2 Erosão em ravinas e voçorocas

Existem diversos critérios distintos para a diferenciação de ravinas e voçorocas. De acordo com Guerra (1994), o Glossário de Ciência dos Solos dos Estados Unidos (1987) indica um modo geométrico: as voçorocas ultrapassam 50 cm na largura e profundidade, podendo alcançar mais de 30 m de comprimento. De acordo com Santos Jr. *et al.* (2008), para o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1991), as voçorocas apresentariam a contribuição ou insurgência de águas subterrâneas, constituindo-se, desse modo, um critério geotécnico de classificação.

As voçorocas possuem geralmente caráter permanente nas encostas apresentando também maiores larguras e profundidades com fundo chato quando comparadas às ravinas, que se constituem em canais contínuos, estreito e com pouca profundidade (Guerra, 1994). Evans (1980) e Goudie (1985) *apud* Guerra

(1994), sugerem outra maneira para diferenciar essas formas erosivas: as máquinas agrícolas são capazes de suprimirem as ravinas, mas não as voçorocas.

O alargamento das ravinas provocado pelos escoamentos superficial e subsuperficial como processos erosivos dá origem às voçorocas (Guerra, 1998). Estas formas erosivas apresentam-se com maiores largura e profundidade quando comparadas às ravinas. Usualmente, possuem caráter permanente nas encostas. A erosão em ravinas e voçorocas constitui a forma erosiva preponderante em solos mais coesos. Tais solos são mais resistentes à ação do salpicamento (*splash*) e a consequente erosão em lençol. Já em solos predominantemente arenosos o processo em lençol é a principal forma de erosão (Guerra, 1998).

2.4 Cartas e mapas

Os termos carta geotécnica e mapa geotécnico são muitas vezes usados como sinônimos, mas existem diferenças entre instrumentos de representação geotécnica, como disparidades entre escalas, finalidades e metodologias de elaboração, o que tem gerado erros graves e a elaboração de documentos cartográficos sem relação com o objetivo proposto (Zuquette & Gandolfi, 2004).

O mapeamento geotécnico pode ser caracterizado como o processo que abrange todos os procedimentos necessários para a obtenção da carta geotécnica, por meio da obtenção das informações e dos dados geotécnicos; enquanto a cartografia geotécnica constitui a representação gráfica dos produtos do mapeamento (Franco *et al.*, 2010).

A Associação Cartográfica Internacional define o conceito de mapa como a representação convencional gráfica de fenômenos concretos ou abstratos, localizados na terra ou em qualquer parte do universo, sendo este um produto esquemático. O conceito de “carta” refere-se a produtos derivados e sistemáticos (Rios, 2012).

Segundo Franco *et al.*, 2010, a cartografia geotécnica é um importante instrumento técnico de representação ambiental que estabelece meios para a gestão ambiental, pois fornece as diretrizes para que as atividades humanas sejam cada vez melhor investigadas, de modo a reduzir o comprometimento ambiental frente aos

impactos gerados pela ação antrópica. Para os autores, esse conhecimento contempla a caracterização do meio físico quanto às propriedades dos materiais constituintes (rochas, solos e águas), em relação aos processos geodinâmicos naturais ou induzidos e às modificações desses materiais diante das intervenções humanas (uso e ocupação do solo). A carta geotécnica está incorporada na cartografia temática, que retrata a partir de elementos cartográficos pré-existentes, os eventos qualitativos ou quantitativos, através de técnicas de abordagem de informações espaciais (Franco *et al.*, 2010).

2.5 Suscetibilidade, risco e vulnerabilidade

De um modo geral, o IPT (Brasil, 2007) traz as seguintes definições acerca da ocorrência de fenômenos ou desastres ambientais e sobre seus impactos relativos aos locais atingidos:

- Vulnerabilidade: grau de perda para um dado elemento, grupo ou comunidade dentro de uma determinada área passível de ser afetada por fenômeno ou processo;
- Suscetibilidade: Indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em uma dada área, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência;
- Risco: relação entre a probabilidade de ocorrência de um dado processo ou fenômeno, e a magnitude de danos ou consequências sociais e/ou econômicas sobre um dado elemento, grupo ou comunidade. Quanto maior a vulnerabilidade, maior o risco.

Áreas em risco são comumente atingidas por desastres ambientais. Conseqüentemente, deve haver a criação de um sistema de informações com o monitoramento de eventuais desastres através do mapeamento dessas áreas de risco nos estudos de identificação de ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades, com as respectivas ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação. Em todos esses casos, a utilização de ferramentas de geoprocessamento é de fundamental importância.

2.6 Ambiente SIG

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) podem ser definidos como um “conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real” (Burrough, 1986 *apud* Magri, 2013), e são utilizados no tratamento de dados georreferenciados. Com isso, o SIG é destinado ao processamento de dados georreferenciados, partindo-se da coleta dos dados até a geração de produtos finais como mapas, cartas e arquivos digitais, além de oferecer recursos para armazenamento, gerenciamento, manipulação e análise dos dados. As técnicas cartográficas computadorizadas, desenvolvidas a partir dos SIG's, possibilitam a manipulação de grandes quantidades de informações, como o mapeamento temático, o diagnóstico ambiental, a avaliação do impacto ambiental, e o ordenamento territorial (Magri, 2013).

O Geoprocessamento pode ser definido como uma interface que utiliza técnicas temáticas e computacionais para o aperfeiçoamento da informação geográfica de modo a contribuir de maneira crescente às áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Geotecnia, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional (Silva, 2005).

Dessa forma, as ferramentas computacionais utilizadas no geoprocessamento, chamadas de SIG, permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e criar banco de dados georreferenciados, tornando ainda possível a automação e a produção de elementos cartográficos (Câmara & Medeiros, 1998 *apud* Silva, 2005). Assim, conclui-se que o ambiente SIG acaba por constituir uma ferramenta apropriada para emprego em gestão ambiental e produção cartográfica associada.

2.7 Avaliação de perda de solo pela erosão

Existem diversos modelos empíricos que permitem estimar a perda média de solo pela erosão hídrica, e o modelo EUPS (Equação Universal de Perda de Solos), proveniente do termo original em inglês *Universal Soil Loss Equation* (USLE), criado por Wischmeier e Smith (1978) fundamenta-se em um dos procedimentos pioneiros

para tal finalidade. Os componentes da EUPS são compostos por seis fatores que são todos multiplicados entre si como segue:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \text{ (Equação Universal de Perda de Solos)}$$

Onde:

A = reflete a estimativa de perda média anual de solo em determinada área, em condições específicas de uso e ocupação do solo (t/ha.ano);

R = Erosividade da chuva (Mj.mm/ha.h.ano);

K = Erodibilidade do solo (t.h/Mj. mm)

L = Comprimento de rampa (m);

S = Declividade de rampa (%);

C = Uso e manejo do solo (0 a 1); e

P = Práticas conservacionistas (0 a 1).

Os índices L e S são usualmente analisados em conjunto e compõem o fator topográfico (fator LS).

A EUPS possibilita estimar a perda média anual de solo provocada pela erosão laminar (Bertoni & Lombardi Neto, 2005). Por ser um método ponderativo pioneiro e que requer uma quantidade relativamente baixa de dados face a métodos mais complexos, a EUPS ainda é muito utilizada em todo o mundo, tendo recebido atualizações e aprimoramentos ao longo do tempo.

No entanto, como qualquer modelo empírico, a EUPS apresenta uma série de limitações. O método deixa de considerar as áreas de deposição do solo carregado e a erosão linear (erosão de ocorrência entre sulcos, ravinas e voçorocas), fator que é relevante para a correta avaliação do balanço erosão-deposição dos sedimentos envolvidos em processos erosivos. O procedimento também seria limitado a áreas com características fisiográficas homogêneas, além dos problemas de utilização restrita dos fatores envolvidos nos cálculos (Ranieri, 2000).

Por sua vez, o modelo MEUPS (Modificação da Equação Universal de Perda de Solo) ou em inglês *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE) acaba por incorporar a contribuição dos sedimentos depositados nas bacias hidrográficas ao considerar escoamento associado à precipitação. Existem ainda outros modelos,

como o AGNPS (*Agricultural Non-Point Source Model*), o LISEM (*Limburg Soil Erosion Model*), o EUROSEM (*European Soil Erosion Model*) e o WEPP (*Water Erosion Prediction Project*) (Silva, 2003). Segundo Amorim (2004), este último constitui um procedimento muito mais complexo, baseado em princípios teóricos.

O método WEPP estabelece uma avaliação dinâmica de simulação que considera perda e deposição, ponderando também a erosão nos sulcos e as mudanças que ocorrem no solo e na cobertura vegetal. Entretanto esta metodologia não considera o efeito da erosão que ocorre em grandes voçorocas e cursos d'água (Amorim, 2004).

Como a análise da erosão depende de uma série de fatores específicos das áreas avaliadas, conclui-se que esta condição constitui uma questão complexa demais para ser traduzida através de modelos, que acabam por homogeneizar de maneira generalizada os aspectos específicos de cada bacia, como o tipo de perfil das encostas. As metodologias de uma forma geral pressupõem declives uniformes, minimizando as perdas de solos em perfis de caráter convexo e maximizando as perdas em perfis côncavos, pois um perfil de caráter convexo tende a apresentar maiores suscetibilidades à erosão, quando comparado ao perfil côncavo (Amorim, 2004).

Outro fator complicador para os modelos empíricos seria o momento em que a erosão entre sulcos passa a ocorrer através dos sulcos. São inúmeras variações intrínsecas ao solo, topografia, cobertura vegetal e morfologias locais que se associam às variações das chuvas no tempo e no espaço (Amorim, 2004).

Além do fator de erosão e deposição em vertentes e da erosão em voçorocas - dificilmente considerados de forma precisa nos modelos empíricos citados - não são consideradas de maneira ponderada a erosão em canais fluviais. Assim, os modelos tendem a disponibilizar resultados insatisfatórios, especialmente em locais onde haja certa heterogeneidade de condições de declividade, de solo e do uso da terra.

Para o funcionamento dos modelos, os parâmetros previstos nas formulações foram estimados e acabaram por se limitar a regiões com certas características específicas, de modo que sua utilização em regiões de características heterogêneas acaba por desvirtuar o modelo utilizado (Ranieri, 2000).

Para a utilização de determinado modelo de predição da erosão hídrica do solo torna-se fundamental a necessidade de exame e investigação da adequação dos parâmetros envolvidos diante das condições locais, tornando-se imprescindível a avaliação do modelo de erosão para o desenvolvimento de cada pesquisa (Amorim, 2004). Na maioria das vezes esta etapa não é devidamente considerada na elaboração das pesquisas (Gonçalves, 2008).

De um modo geral as estimativas dos parâmetros envolvidos nos processos não se mostram apropriados para as condições de solos brasileiros, pois a maioria dos modelos de previsão de erosão foi concebida com os seus parâmetros ajustados para as condições de clima temperado (Amorim, 2004; Gonçalves, 2008). Conseqüentemente, os modelos demandam validações experimentais para certas regiões brasileiras, fato que prejudica sua aplicação para avaliações de fato quantitativas (Júnior *et al.*, 2001). Os resultados, para as regiões que não dispõem de verificações dos parâmetros envolvidos, serão de análises puramente qualitativas.

Valladares *et al.* (2012), ao compararem o método multicritério aditivo ao modelo da equação universal de perda de solo como ferramenta de planejamento, indicam o método aditivo como o mais adequado, fruto da maior uniformidade dos polígonos das classes e da maior homogeneidade entre os polígonos adjacentes. Segundo os autores, no caso da EUPS, para mapas com classes mais uniformes e para o emprego viável ao planejamento, seriam necessárias filtragens ou interpolações.

Por todos os motivos expostos, neste trabalho optou-se por desenvolver a carta de suscetibilidade ou de potencial qualitativo à erosão a partir de álgebra de mapas utilizando os produtos cartográficos elaborados nesta pesquisa.

2.7.1 Carta de suscetibilidade à erosão

A suscetibilidade de uma área a determinado evento geológico caracteriza a expectativa de sua ocorrência (Cerri & Amaral, 1998 *apud* Magri, 2013), de modo que as análises de cartas de suscetibilidade à erosão possibilitam a avaliação dos

processos erosivos atuantes na região, propiciando medidas de monitoramento e prevenção.

Os métodos de análise qualitativa de erosão possibilitam a avaliação da intensidade e maneira como ocorre o processo erosivo para a área mapeada. Estes processos possibilitam o exame e análise das propriedades e aspectos que regem os processos erosivos em determinada região. Segundo Valladares *et al.* (2012), no mapeamento de risco ambiental direcionado ao planejamento, têm sido empregados métodos multicritério aditivos, com resultados satisfatórios.

Por tratar-se de uma análise qualitativa e não resultar em valores numéricos (Silva, 2003), os elementos e fatores que são intrínsecos aos processos erosivos devem ser devidamente investigados e analisados de modo a compor um processo de análise multicritério. Esta análise possibilitará uma combinação com níveis de significâncias relativas que deverão ser ajustadas, possibilitando a geração de um mapa de suscetibilidade à erosão.

Para a análise quantitativa dos processos erosivos, Sá (2001) indica o sensoriamento remoto como o melhor instrumento de trabalho, através da utilização de imagens de satélite e de radares associadas a fotografias aéreas em ambiente SIG para o desenvolvimento das avaliações. O levantamento de mapas existentes referentes à pedologia, geologia e geomorfologia também são importantes a fim de subsidiar a verificação das informações sobre a área mapeada. Muito importante também é a associação do trabalho computacional associado ao trabalho efetivas no campo, que possibilitará a comprovação dos resultados das análises foto interpretativas.

Como a carta de risco potencial a erosão pode ser elaborada através de análise e integração dos dados de mapas preexistentes, produzindo um novo mapa com atributos redefinidos, faz-se necessária a criação de uma metodologia de análise multicritério.

A análise multicritério surgiu na década de 1960 como uma ferramenta matemática de apoio à tomada de decisão. É utilizada pelo exame comparativo de alternativas heterogêneas para uma escolha ponderada.

No caso de mapa de suscetibilidade à erosão, o processo combina e transforma, através da sobreposição de mapas, os dados referentes ao potencial

erosivo, atendendo a uma hierarquia de pesos. A hierarquização dos pesos e notas é aplicada, em ambiente SIG, através da álgebra de mapas.

2.7.2 Ensaios para avaliação da erodibilidade dos solos

Existem metodologias diretas e indiretas para a determinação da erodibilidade dos solos. Os métodos diretos ocorrem em campo e sob chuvas naturais ou simuladas, devendo ocorrer coleta de dados de maneira sistemática e periódica (Meira, 2008). As técnicas indiretas ocorrem por meio de ensaios laboratoriais e utilizam-se das determinações em laboratório das propriedades físicas e químicas do solo (Miranda, 2005 *apud* Magri, 2013). Abaixo são apresentadas algumas das metodologias laboratoriais mais utilizadas para avaliação indireta da erodibilidade dos solos.

- **Ensaio de Inderbitzen (1961)**

Inderbitzen (1961) concebeu um canal hidráulico com uma inclinação conhecida para avaliação da erodibilidade em laboratório. Uma amostra com 152 mm de diâmetro é exposta a uma certa vazão de água e a quantidade de material erodido será função do tipo de solo e das especificidades do ensaio, como o fluxo d'água e a inclinação do canal (Meira, 2008; Magri, 2013).

- **Ensaio de Furo de Agulha (*Pinhole Test*)**

O ensaio furo de agulha, ou *Pinhole Test*, foi desenvolvido por Sherard *et al.* (1976) para avaliar a dispersibilidade em estudos de erosão hídrica para solos argilosos pelo fluxo de água destilada através de um pequeno furo de 1,0 mm de diâmetro executado axialmente no corpo de prova, com o formato cilíndrico com 25,4 mm de comprimento (Lafayette, 2006). O gradiente hidráulico é variado durante o ensaio e a coloração da água que atravessa o corpo de prova é avaliada, permitindo a classificação quanto à dispersão da argila. No Brasil, o procedimento é

normatizado pela Norma ABNT NBR 14114:1998, Solo - Solos argilosos dispersivos - Identificação e classificação por meio do ensaio do furo de agulha (*pinhole test*).

- **Critério de erodibilidade pela Metodologia MCT**

A metodologia MCT foi proposta por Nogami e Villibor (1979) e baseia-se na composição de dois ensaios considerados simples e rápidos, pois não necessitam de equipamentos complexos: absorção de água (obtido pelo ensaio de infiltrabilidade) e perda de massa por imersão (ensaio de erodibilidade específica) (Lafayette, 2006; Meira, 2008; Magri, 2013).

De acordo com Meira (2008), o ensaio de infiltrabilidade possibilita a quantificação da velocidade de ascensão capilar e retrata a facilidade com que a água infiltra no solo através de sua superfície, comandada pelas tensões de sucção. A erodibilidade específica é avaliada por um ensaio de perda de massa por imersão modificado. O mesmo autor indica que o resultado de uma relação matemática entre os resultados dos ensaios aponta o grau de erodibilidade do solo.

- **Ensaio de Dispersão Rápida (*Crumb Test*)**

De acordo com Meira (2008) o ensaio de dispersão rápida, também denominado *crumb test* foi desenvolvido para avaliar de maneira qualitativa o grau de dispersão de um solo argiloso, mas também é utilizado para qualificar a erodibilidade dos solos, tratando-se de um ensaio rápido e simples. Segundo descrição de procedimento contida na Norma ABNT NBR 13601:1996, Solo - Avaliação da dispersibilidade de solos argilosos pelo ensaio do torrão (*crumb test*) - Método de ensaio, o ensaio consiste na colocação de dois ou três torrões com aproximadamente 3g de solo cada um, na umidade natural, em um recipiente de vidro contendo uma solução de hidróxido de sódio. Na sequência, observa-se a reação por 5 a 10 minutos, com relação à turbidez na água e grau de dispersão. De acordo com o grau de dispersividade, o material é então avaliado desde não dispersivo até altamente dispersivo (Meira, 2008).

CAPÍTULO 3

Descrição e caracterização da área de estudo

3.1 Área de estudo, localização e vias de acesso

O Centro de Lançamento da Barreira do Inferno (CLBI) (Figura 3.1) é uma Instituição de Ciência e Tecnologia (ICT) do Comando da Aeronáutica (COMAER). Foi criado pela Portaria nº S-139/GM3, de 12 de outubro de 1965 e tornou-se o primeiro campo de lançamento de foguetes da América do Sul (MAER, 1992). É diretamente subordinado ao Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA), em São José dos Campos/São Paulo, e possui por finalidade executar e prestar apoio às atividades de lançamento e também rastreamento e trajetografia de engenhos aeroespaciais, coleta e processamento de dados de suas cargas úteis, bem como executar os testes, experimentos, pesquisa básica ou aplicada, além de outras atividades relacionadas. Monitora também lançamentos de foguetes de outros locais do globo, bem como outras atividades de desenvolvimento tecnológico de interesse da Aeronáutica, relacionados com a Política da Aeronáutica para Pesquisa e Desenvolvimento e com a Política Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais (MAER, 1992).

A área de estudo, correspondente ao CLBI está localizada na Rota do Sol, no município de Parnamirim, a 12 km ao sul de Natal e 24 km ao centro da cidade (Figura 3.2).

Parte da área do CLBI também se encontra delimitada no interior do município de Natal. Geomorfologicamente, nessa região predomina a planície costeira limitada pelo oceano e por tabuleiros costeiros, alterados pela presença de morros e dunas (Figura 3.3). Na área encontra-se o afloramento do Grupo Barreiras e a praia é predominantemente arenosa.

Através da análise de documentos originários da Seção de Patrimônio do CLBI, tais como os tombos patrimoniais e plantas em formato CAD (elementos que compuseram o Plano Diretor da unidade), verificou-se que a Organização Militar

possui sob sua jurisdição área superior a 18,2 milhões de metros quadrados, sendo cortado pela Rodovia Estadual RN-063, também denominada de Rota do Sol. Esta rodovia interliga a zona sul da capital à costa leste dos municípios de Parnamirim e Nísia Floresta, terminando na ligação com a Rodovia Federal BR-101, em São José de Mipibú.



Figura 3.1 - Entrada (A e B) e vista aérea (C) do CLBI [Fonte: Acervo CLBI (A e C); próprio autor (B)].

Em sua faixa litorânea o CLBI inicia-se, no sentido Norte-Sul, no Morro do Careca, um dos cartões Postais da cidade de Natal, e estende-se até a praia de Cotovelo, somando mais de 8.600 metros lineares. Observa-se que a rodovia RN-063 divide a área do CBLI em duas partes: seção oeste, onde se situam os radares de trajetografia e a área de Telemedidas, e seção leste, onde se situa a Direção, as

unidades administrativas, técnicas e operacionais do Centro, incluindo os locais de lançamento e a faixa litorânea (Figura 3.4).

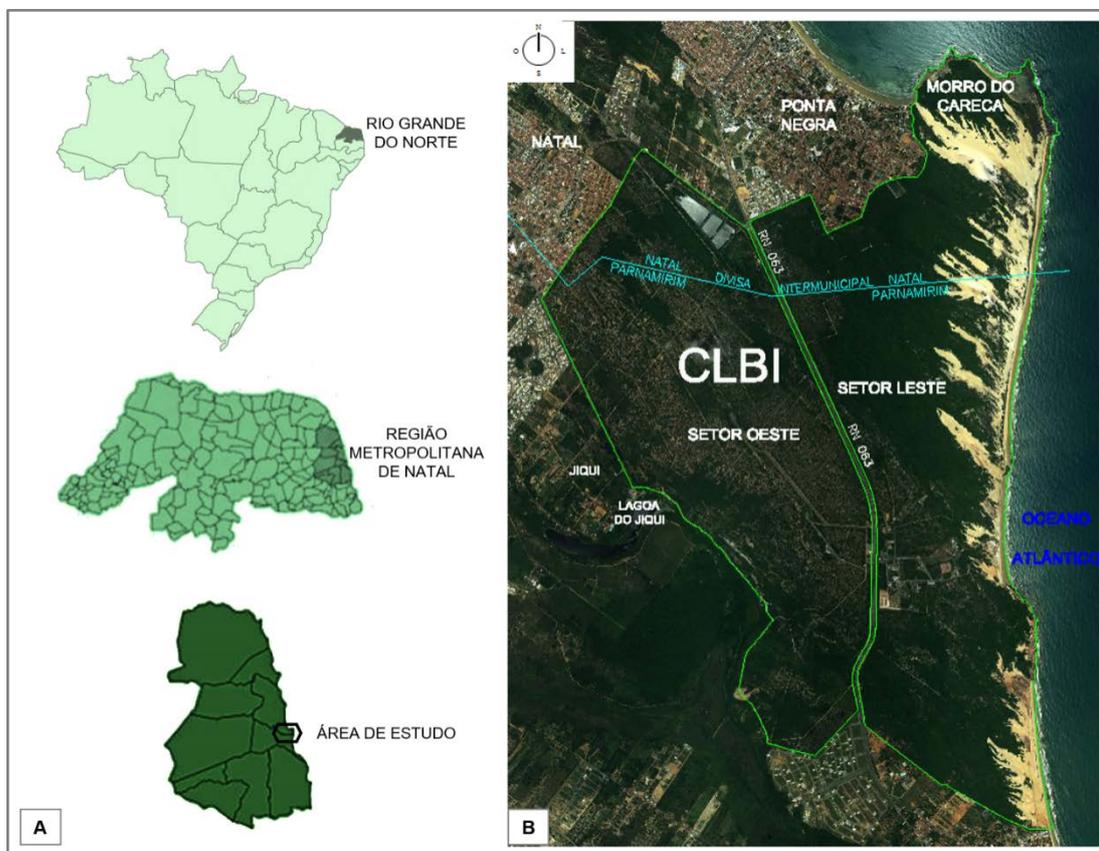


Figura 3.2 - Mapa da cidade de Natal (A) com destaque para a área sob jurisdição patrimonial do CLBI (B) [Adaptado de: INPE (A); Ortofoto de 12/02/2016 cedida pela Base Aérea de Recife (BARF), sem escala nesta montagem (B)].

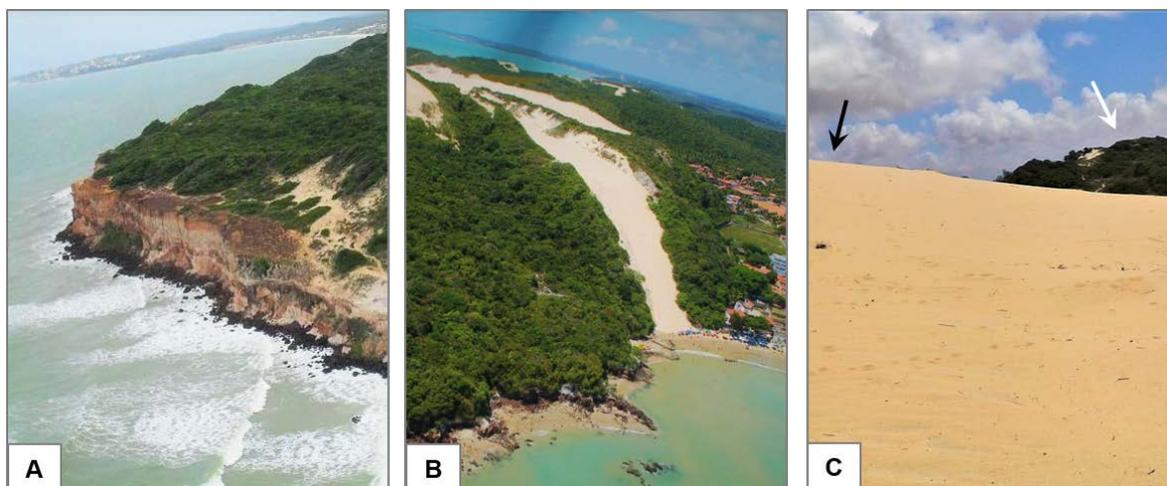


Figura 3.3 - Falésia (A), Morro do Careca (B), e dunas vegetadas (seta branca) e não vegetadas (seta preta) (C) [Fonte: Acervo CLBI (A e B); próprio autor (C)].



Figura 3.4 - Área do CLBI cortada pela rodovia RN-063 [Fonte: Acervo CLBI].

Na área patrimonial como um todo, situam-se quatro tombos, discriminados na Tabela 3.1, além da indicação dos perímetros e orla marítima.

Tabela 3.1 - Relação dos Tombos, área e perímetros do CLBI (Fonte: Seção de Patrimônio do CLBI).

Tombo	Medida	Área ou comprimento
Tombo 01	Superfície	6.120.932,50 m ²
Tombo 02	Superfície	8.915.419,39 m ²
Tombo 03	Superfície	1.136.669,86 m ²
Tombo 04	Superfície	2.066.291,60 m ²
Superfície Total	Superfície	18.239.313,35 m ²
Perímetro total	Comprimento	32.927,971 m
Perímetro Cercado	Comprimento	24.292,311 m
Orla marítima (sem cercas)	Comprimento	8.635,660 m

O CLBI possui um marco geodésico localizado nas proximidades do centro da área operacional, no prolongamento da Rua Aerobee, denominado Barreira do Inferno, IBGE – 1ª Ordem (Datum SAD-69). Esse marco está fixado no ponto

geográfico determinado pelas seguintes coordenadas: latitude 05° 54' 56,2530"S; longitude: 035° 09'40,1860"W e altitude de 35,23 m. O referido marco consta da Planta de Localização (Seção de Patrimônio, CLBI 2017).

Aproximadamente dois quilômetros da faixa de praia são ocupados por imensas vertentes íngremes, as falésias que parecem pegar fogo, quando recebem a luz do sol nascente. É daí que vem o nome, Barreira do Inferno, por conta da histórica lenda de pescadores de Natal. Os pescadores retornavam de suas pescarias ao amanhecer e viam do alto-mar o reflexo dos raios solares nas falésias em tons avermelhados, e contavam que eram labaredas de fogo, chamando o local de “Barreira do Inferno”, uma referência para seu retorno ao continente.

3.2 Breve histórico e generalidades

Na certeza de que o Brasil não poderia prescindir da tecnologia espacial, foi criado em 10 de junho de 1964 o GTEPE (Grupo de Trabalho e de Estudos de Projetos Espaciais). Esse grupo, mais tarde, passou a ser denominado GETEPE (Grupo Executivo de Trabalho e de Estudos de Projetos Espaciais), subordinado ao Estado-Maior da Aeronáutica (EMAER) (MAER, 1992).

Segundo MAER (1992), as metas do GETEPE eram:

- Preparar as equipes especializadas em lançamento de foguetes;
- Estabelecer programas de sondagens meteorológicas e ionosféricas em cooperação com organizações estrangeiras;
- Incentivar a indústria privada brasileira a galgar os degraus da tecnologia espacial;
- Escolher o local e construir um Campo de Lançamento de Foguetes no Brasil.

Três possíveis locais que atendessem aos critérios técnicos indispensáveis para um centro de lançamento de foguetes foram colocados sob as cogitações oficiais: Fernando de Noronha, Aracati (CE) e Ponta Negra (Natal, RN), (MAER, 1992).

A seleção recaiu sobre a área de Parnamirim/Natal, pois a região é relativamente próxima ao equador magnético, tornando os lançamentos mais

econômicos e eficientes. Em linhas gerais, o consumo de combustível é menor quando o lançamento acontece mais próximo a Linha do Equador, quando comparado às latitudes maiores. Há ainda outros pontos motivadores para a seleção da região, como o fato da área possuir proximidade com um campo de pouso de grande porte (Aeroporto Augusto Severo, atualmente restrito às operações militares, sob jurisdição atual da Ala 10, antiga Base Aérea de Natal, seguindo a reestruturação atualmente em andamento na Força Aérea, denominada “Força Aérea 100 Anos”) e também fácil acesso rodoviário, possibilitando um bom suporte logístico para as operações de lançamento. A região apresenta baixo índice pluviométrico, possui grande área de impacto representada pelo oceano e também condições de ventos predominantes favoráveis (MAER, 1992).

De acordo com informações constantes no Plano Diretor da unidade, a segurança das operações de lançamento requer uma vasta área no seu entorno, e os aproximadamente nove quilômetros de costa situados na região da Barreira do Inferno foram mantidos sem ocupação desde 1965, permanecendo isoladas e protegidas, tendo inclusive se tornado uma importante área de reprodução de tartarugas marinhas, sob a supervisão do Projeto Tamar, desde 2005 (Figura 3.5). Pelo mesmo motivo de segurança operacional, toda a área patrimonial da Organização é mantida protegida.

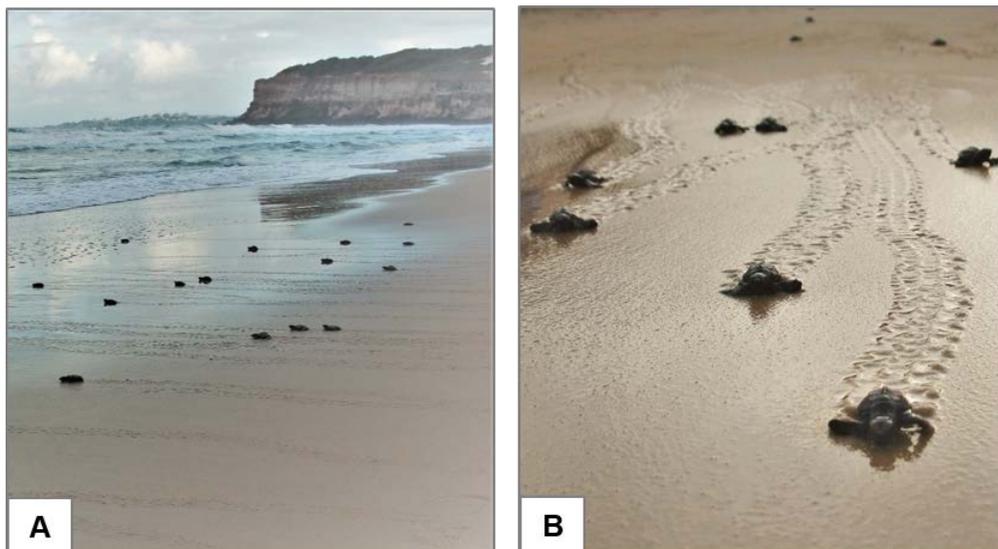


Figura 3.5 - Filhotes de tartaruga após o nascimento, em área protegida pelo CLBI (A) e (B). Projeto TAMAR (Fonte: Acervo CLBI).

3.3 Clima

Segundo IBGE (1990), o Departamento de Geografia (DEGEO), órgão subordinado à Diretoria de Geociências (DGC) do IBGE produziu a Divisão Regional do Brasil em Mesorregiões e Microrregiões Geográficas para fins estatísticos em substituição à Divisão Regional em Microrregiões Homogêneas editado pelo IBGE em 1968, utilizando como parâmetros de seleção a similaridade de características regionais. Seguindo as divisões e subdivisões propostas, a área contemplada por este trabalho localiza-se na mesorregião do Leste Potiguar, e na microrregião de Natal, no litoral do estado do RN (IBGE, 1990).

Cumprido salientar que o termo “microrregião”, embora instituído pela Constituição Brasileira de 1988 (art. 25, §3º), possui sua aplicação mais difundida em função de sua utilização divulgada e praticada pelo IBGE, conforme verificado em diversos documentos (FADE, 2007; CPRM, 2010).

A área de estudo localiza-se numa região correspondente a um clima tropical litorâneo úmido, classificado como As', de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger. Este sistema assume que a vegetação nativa de cada localidade é a melhor manifestação do clima e associa as temperaturas do ar e precipitações médias para a definição das regiões climáticas. O clima possui um verão seco devido aos mínimos de precipitação nesta estação (Amaral, 2000), com uma alta insolação e as chuvas concentram-se entre abril e junho. Assim, o verão é considerado “seco”, e o inverno “chuvoso”.

A associação dos fatores climáticos e meteorológicos, tais como os regimes de ventos, marés e correntes marítimas e as chuvas são importantes para a interpretação e o entendimento do sistema dinâmico costeiro local. Os processos costeiros decorrem das associações e efeitos de todas as influências de elementos atuantes na faixa litorânea, que apresenta baixa latitude, baixa altitude, alta insolação e uma ação relativamente expressiva de ventos.

3.3.1 Temperatura do ar

A partir da análise dos dados fornecidos pelo ICEA (Anexo 01), verifica-se que as temperaturas atmosféricas médias mensais anuais medidas entre 1955 e

2016 variaram entre 24,5 e 27,3°C, conforme se verifica no gráfico abaixo (Figura 3.6). A amplitude térmica predominante situa-se próximo de 3,0°C, valor relativamente baixo, resultado da baixa latitude local. A nível nacional, estas temperaturas médias podem ser consideradas altas. O valor de temperatura média anual é de 26,2°C, e a menor temperatura média foi observada em julho, com 24,5°C, e a maior temperatura média foi verificada no mês de fevereiro, atingindo 27,3°C.

As temperaturas máximas atingiram os 29,4°C, no mês de dezembro, chegando a 29,2°C em novembro e 29,1°C em março. A partir do mês de maio as temperaturas tendem a baixar e os valores máximos voltam a subir a partir de outubro. O regime de ventos e a umidade relativa do ar alta atenuam satisfatoriamente os picos de temperaturas registrados no verão.

As temperaturas mínimas registradas ficaram levemente abaixo de 24°C, quando chegaram a 23,6°C em julho e 23,8°C em agosto.

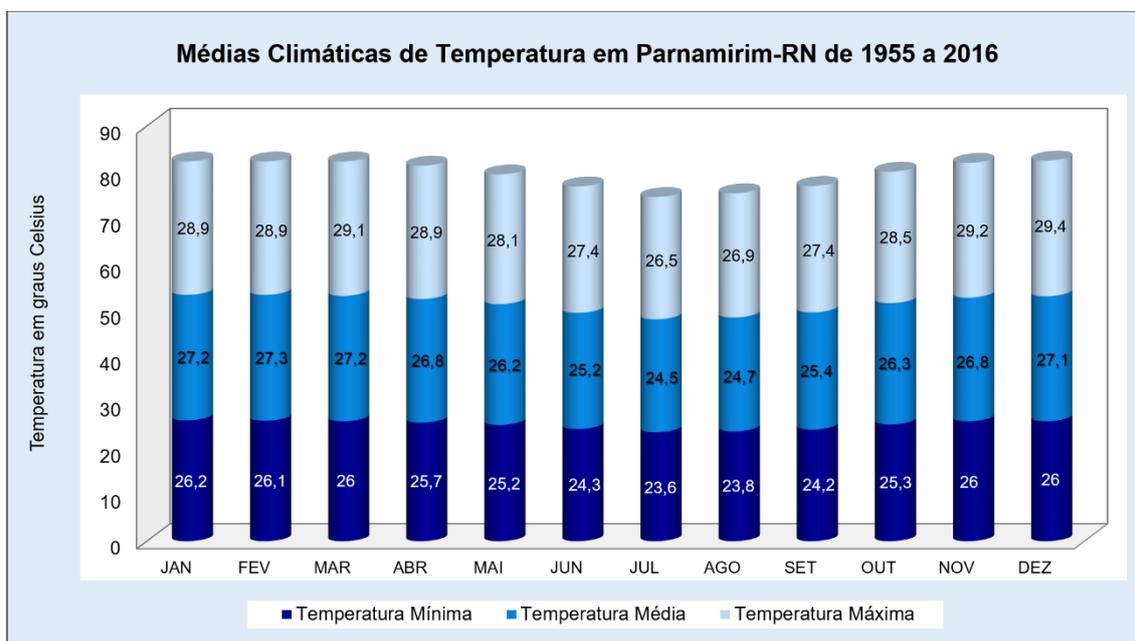


Figura 3.6 - Variação da Temperatura, em graus Celsius, coletados pela Estação Meteorológica SBNT do aeroporto de Natal, entre os anos de 1955 a 2016. (Dados cedidos pela Subdivisão de Climatologia e Arquivo Meteorológico da Aeronáutica).

3.3.2 Umidade relativa do ar

Observando os dados fornecidos pelo ICEA (Anexo 01), constata-se que a média mensal anual de umidade relativa do ar oscilou principalmente no intervalo de

73 a 83%, com média aproximada anual de 78%, valores relativamente altos, devido aos efeitos da maritimidade (Figura 3.7). Este mesmo efeito, aliado aos resultados dos ventos não leva a variações significativas entre as umidades medidas. Os menores valores de umidade média foram observados nos meses de outubro e novembro (73%). Já as maiores médias ocorreram nos meses de maio, junho e julho, com 82, 83 e 83%, respectivamente, acompanhando a estação chuvosa de inverno.

Os valores máximos estiveram sempre próximos de 100%, enquanto os menores valores avaliados situaram-se nos meses de fevereiro (45%), agosto (50%) e julho (51%).

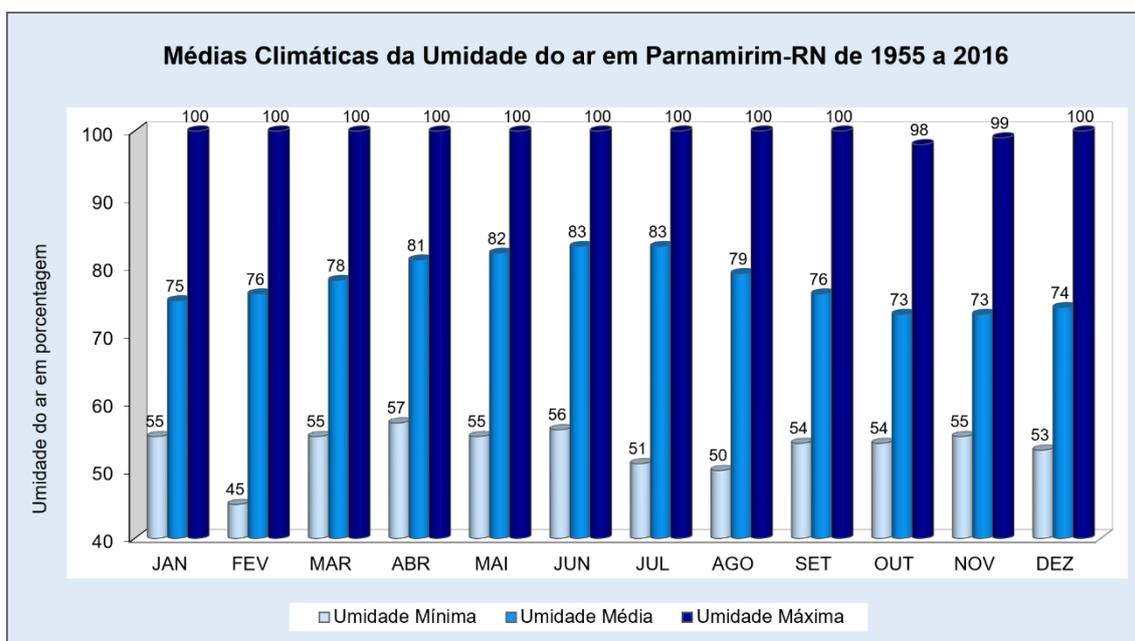


Figura 3.7- Variação da Umidade Relativa, em porcentagem (%), coletados pela Estação Meteorológica SBNT do aeroporto de Natal, entre os anos de 1955 a 2016. (Dados cedidos pela Subdivisão de Climatologia e Arquivo Meteorológico da Aeronáutica).

3.3.3 Precipitação

A avaliação das informações climatológicas fornecidas pelo ICEA (Anexo 01) possibilitou certificar que a precipitação pluviométrica entre os anos de 1955 e 2016 possui o valor médio mensal de 126,6 mm (Figura 3.8). Os maiores valores médios ocorreram no mês de junho, quando a precipitação média superou 247 mm mensais.

Já o trimestre de outubro a dezembro apresentou os menores valores médios, 34,5, 33,1 e 37,1 mm respectivamente, resultado das chuvas esparsas que ocorrem no período.

A partir de janeiro a precipitação média começa a subir, até atingir o pico em junho, para logo na sequência voltar a decrescer progressivamente até o fim do ano. As precipitações máximas atingiram valores próximos a 800 mm em agosto e em maio os valores também são altos (775,5 mm). Os menores valores máximos ocorrem em fevereiro, com 304,6 mm. Os menores valores mínimos, entre 0,2 e 0,5 mm ocorreram nos meses de setembro a dezembro, enquanto os maiores valores mínimos foram identificados em junho, com 69,2 mm de chuva.

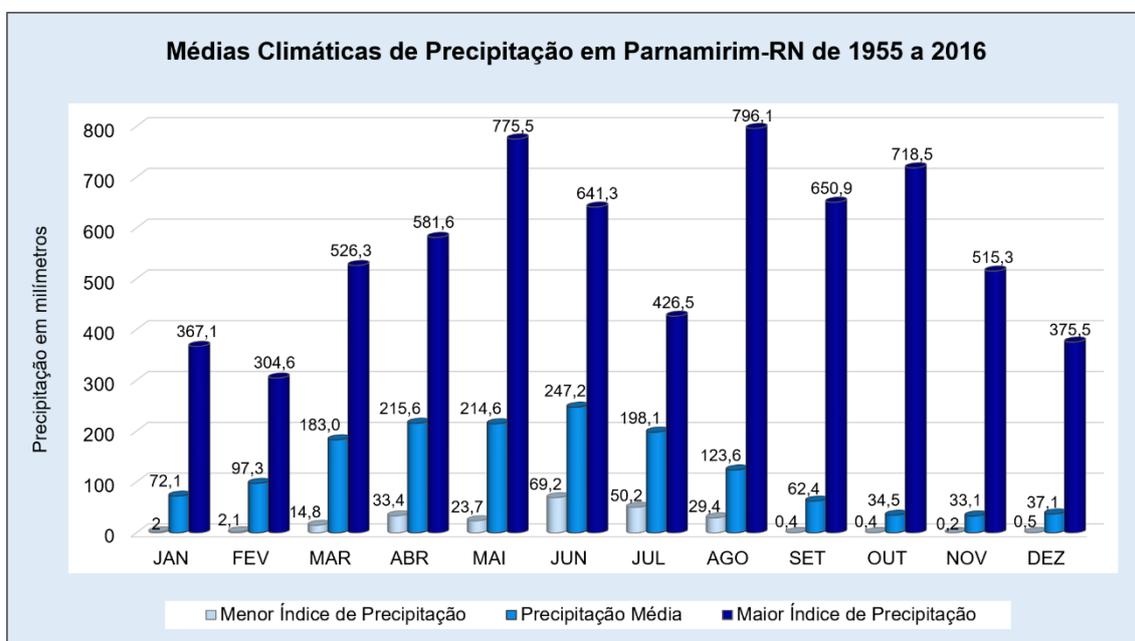


Figura 3.8 - Variação das Precipitações, em milímetros (mm), coletados pela Estação Meteorológica SBNT do aeroporto de Natal, entre os anos de 1955 a 2016. (Dados cedidos pela Subdivisão de Climatologia e Arquivo Meteorológico da Aeronáutica).

3.3.4 Direção e velocidade do vento

Com a observação dos dados climatológicos disponibilizados pelo ICEA (Anexo 01), observa-se que os ventos são praticamente constantes, provenientes principalmente do quadrante E-SE (direção entre 110 e 160° a partir do Norte geográfico) e os mais fortes sopram principalmente entre os meses de agosto e

novembro (Figura 3.9). As máximas velocidades situam-se entre 7,9 e 8,6 KT, o equivalente a 14,6 e 15,9 km/h, ou 4,0 e 4,4 m/s. Os menores valores ocorreram entre os meses de março e abril, com velocidades de 6,3 e 6,1 KT (11,7 e 11,3 km/h, ou 3,2 e 3,1 m/s) respectivamente.

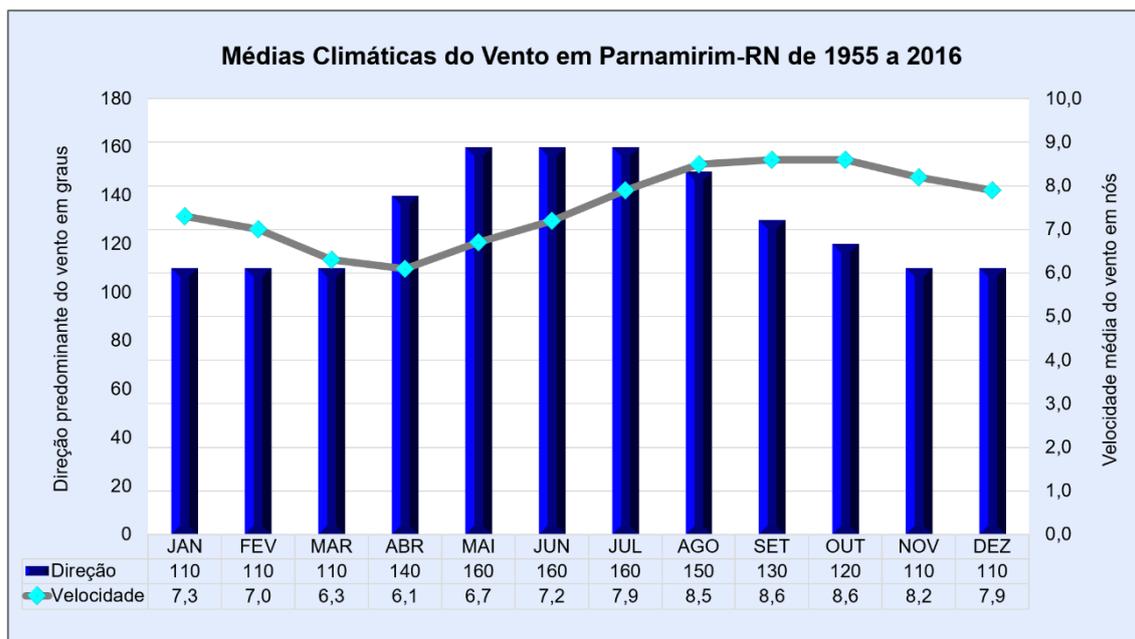


Figura 3.9 - Variação dos Ventos, quanto à direção em graus e a velocidade em nós, coletados pela Estação Meteorológica SBNT do aeroporto de Natal, entre os anos de 1955 a 2016. (Dados cedidos pela Subdivisão de Climatologia e Arquivo Meteorológico da Aeronáutica).

3.3.5 Pressão atmosférica

O exame dos valores medidos pelo ICEA (Anexo 01) de pressão entre os anos de 1955 e 2016 (Figura 3.10) não apresentaram variações expressivas, concluindo-se como resultado da pequena amplitude térmica da região e pequena alteração de incidência solar. Os menores valores de pressão tiveram a média de 1003 hPa. Os valores médios chegaram a 1007 hPa, enquanto os valores máximos atingiram 1013 hPa.

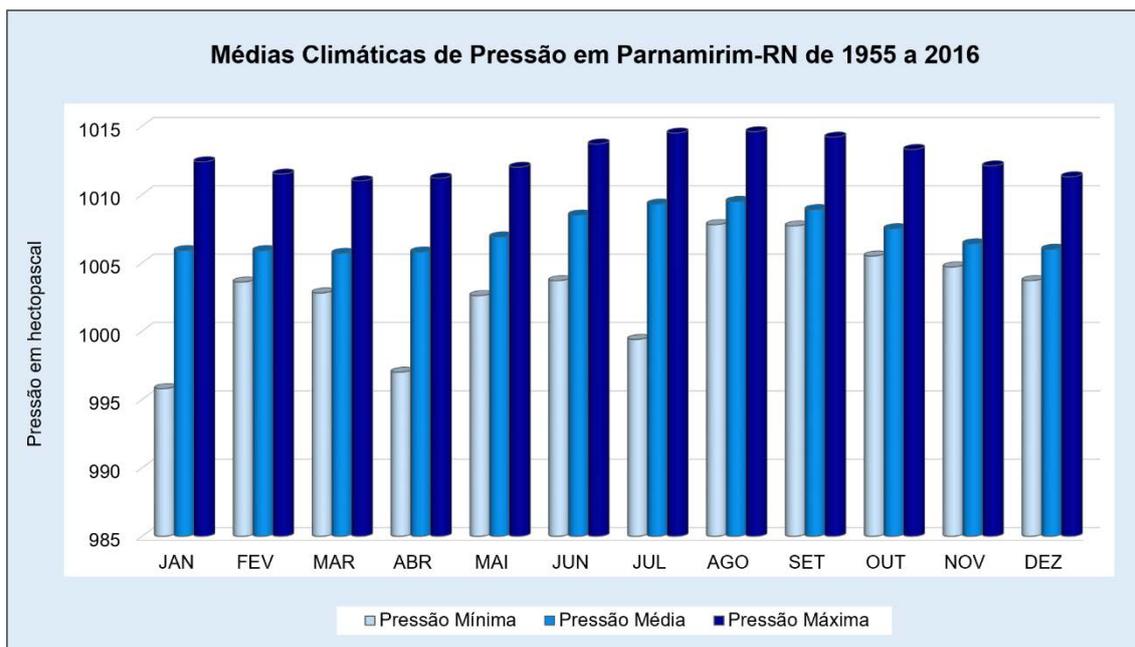


Figura 3.10 - Variação das Pressões, em hectopascal (hPa), coletados pela Estação Meteorológica SBNT do aeroporto de Natal, entre os anos de 1955 a 2016. Obs. $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ e $1 \text{ hPa} = 100 \text{ N/m}^2$. (Dados cedidos pela Subdivisão de Climatologia e Arquivo Meteorológico da Aeronáutica).

3.4 Geologia

3.4.1 Contexto geológico regional

O estado do Rio Grande do Norte pode ser estratigraficamente dividido em três grandes grupos de unidades geológicas (Figura 3.11), levando-se em consideração as idades numéricas da Carta Estratigráfica Internacional, 2004 (CPRM, 2010):

- I. Primeiro grupo e mais antigo, com 3,45 bilhões de anos até 542 milhões de anos, representado por unidades pré-cambrianas;
- II. Segundo grupo, com 145 a 65 milhões de anos, constitui unidades do cretáceo ou mesozoicas, representado pelas rochas sedimentares da Bacia Potiguar e vulcânicas associadas;
- III. Terceiro grupo, com 65 milhões de anos até os dias atuais, constituído pelas coberturas sedimentares cenozoicas.

As rochas do embasamento cristalino pertencentes à unidade pré-cambrianas, compõem os domínios geológicos Jaguaribeano (a oeste), Rio

Piranhas-Seridó (parte central) e São José do Campestre (a leste), como mostrado na Figura 3.11 A – ocupando aproximadamente 65% da área territorial do Estado, sendo a porção restante recoberta por rochas sedimentares meso-cenozoicas (CPRM, 2010).

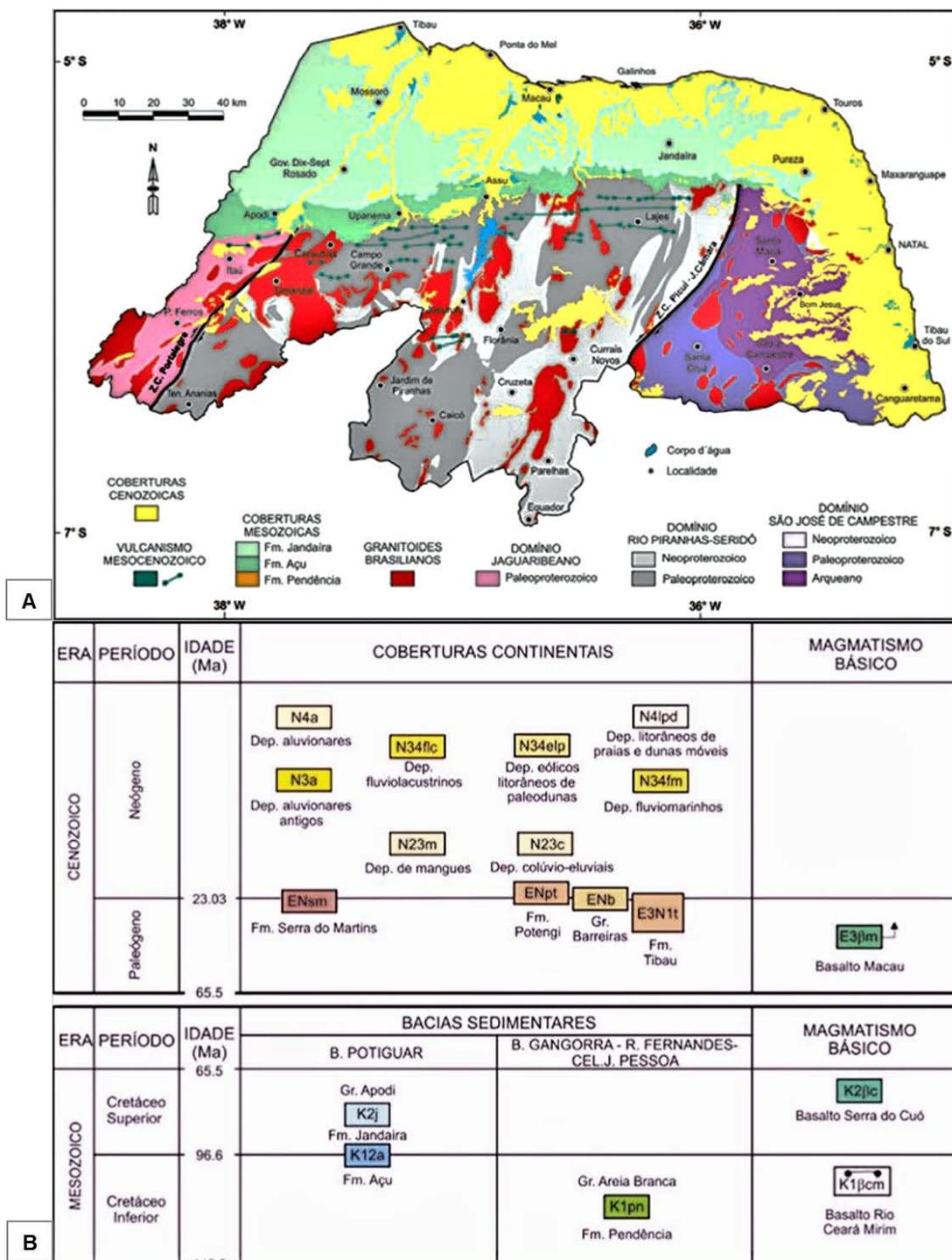


Figura 3.11 - Mapa geológico (A) e Relações tectonoestratigráficas das unidades meso-cenozoicas (B) do Estado do Rio Grande do Norte [Fonte: CPRM (2010) (A); Angelim *et al.* (2006) (B)].

Os depósitos meso-cenozoicos (com 145 milhões de anos até os dias atuais) que se agrupam compondo uma estreita faixa que perpassa tanto o litoral Setentrional quanto o litoral Oriental do RN, formando as bacias sedimentares Potiguar e Pernambuco-Paraíba, as quais estão localizadas geotectonicamente na Província Borborema (Figura 3.12) (CPRM, 2010). A cobertura sedimentar cenozoica, que representa o grupo geológico mais recente, é representada por depósitos de rochas siliciclásticas de grande expressão regional, envolvendo argilitos, siltitos, arenitos e conglomerados do Grupo Barreiras; arenitos denominados de Supra-Barreiras; arenitos da Formação Potengi; rochas de praia (*beachrocks*); dunas pleistocênicas e atuais; depósitos de praias recentes; depósitos de mangues e aluviões (Araújo, 2004).

3.4.2 Formação Barreiras

As coberturas continentais cenozoicas no RN são constituídas pela Formação Barreiras e pelas formações Tibau, Serra do Martins e Potengi de idades atribuídas ao Paleógeno-Neógeno e pelos depósitos continentais do Neógeno mais recentes (Angelim *et al.*, 2007).

A Formação Barreiras é uma unidade geológica de vasta ocorrência na zona litorânea brasileira, emergindo do Estado do Rio de Janeiro até o Amapá, recobrendo depósitos sedimentares mesozoicos, nos quais afloram grande parte do Quaternário brasileiro (Severo, 2011). Ademais, a composição desta Formação foi influenciada pelas forças tectônicas continentais, pulsos climáticos terciários e quaternários, os quais foram depositados em diversas condições de relevo e em plataformas continentais com extensões distintas, o que oportunizou a formação de diferentes rochas sedimentares e com maturidades mineralógicas e texturais díspares (Angelim *et al.*, 2007). No RN, a faixa aflorante desta unidade geológica apresenta em média extensões da ordem de 50 km (no litoral oriental do estado), geralmente sob a forma de falésias, além de ser também encontrada no continente, repousando discordantemente sobre o embasamento cristalino, ou sobre as rochas sedimentares mesozoicas (Araújo, 2004).

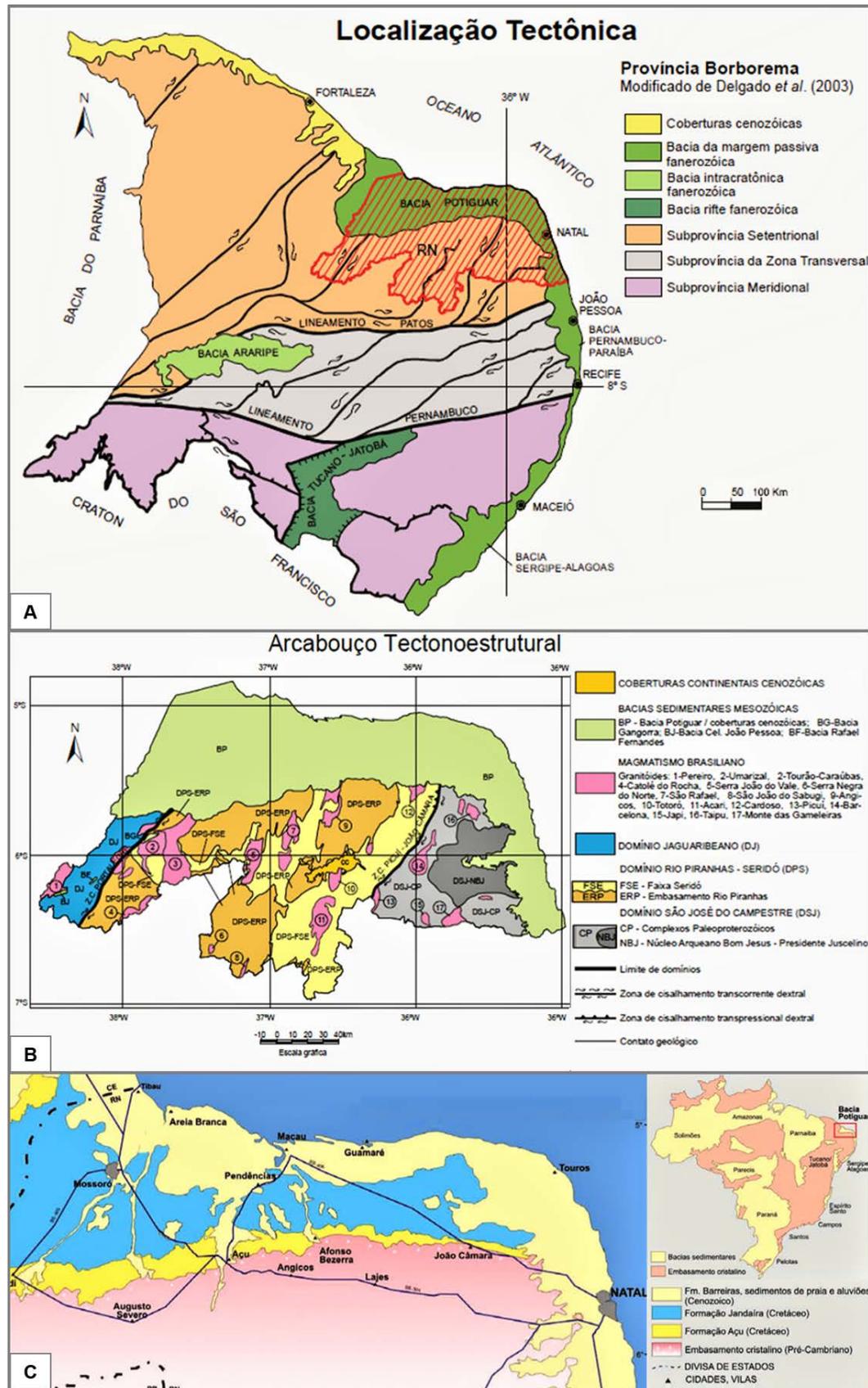


Figura 3.12 - Mapa geotectônico da Província Borborema, na região Nordeste do Brasil (A), evidenciando o arcabouço tectonoestrutural do Estado (B) e a bacia Potiguar e suas divisões (C) no Rio Grande do Norte. [Fonte: Angelim *et al.* (2006) (A e B); Adaptado de: (CPRM, 2010) (C)].

Na Formação Barreiras é possível observar fácies típicas de um sistema fluvial entrelaçado e fácies transicionais para leques aluviais e planícies litorâneas (flúvio-lagunares), que podem ser datadas de 18-6 milhões de anos até o presente, que afloram no interior (constituindo a Superfície dos Tabuleiros) e na área costeira, suportando falésias e paleofalésias bastante comuns nesta região, assim como também ocorre como plataforma de abrasão marinha. Esta unidade geológica é representada por arenitos e conglomerados pouco coesos, cujas características composicionais e texturais são bastante diversas, representando os diferentes processos de deposição na sua geração e da degradação a que foram impostos pelos processos geodinâmicos ao longo do Quaternário (FADE, 2007).

De modo resumido ao que Alheiros e Lima Filho (1991) descreveram sobre os sedimentos Barreiras, podemos considerar como sua caracterização:

1. Areias quartzosas a subarcosianas de coloração creme, com aspecto maciço, onde às vezes, desenvolvem-se solos do tipo “podzol” com até dois metros de espessura, frequentemente referidos como “coberturas de areias brancas”. Na base dessas areias, desenvolvem níveis endurecidos de ferro, impermeabilizando as areias cremes.
2. Areias quartzosas a subarcosianas, com cores vivas variando entre alaranjado, vermelho e roxo, resultado dos diferentes estados de oxidação. Apresentam grande porcentagem de pseudo-matriz argilosa, decorrente da decomposição dos grãos de feldspatos;
3. Argilas maciças – em uma perspectiva geológica, as argilas maciças referem-se aos argilitos – e siltes, de cores variadas, sob a forma de camadas com espessura decimétrica, apresentando a caulinita como argilo-mineral preponderante;
4. Diamictitos, com matriz geralmente formada por material argilo-arenoso avermelhado, com fragmentos subangulosos de quartzo, na dimensão cascalho e, mais raramente, seixos.

Os sedimentos do quaternário recente, que compõem as dunas na região, são provenientes da Formação Barreiras e de sedimentos transportados da Plataforma Continental, os quais afloram discordantemente sobre tal Formação, podendo ocorrer sob a forma de falésias vivas, composta por sedimentos semi-

consolidados e bastante friáveis, podendo ser compostos de quartzo, minerais pesados, mica, fragmentos de rochas e carapaças de organismos, com granulometria bastante variada (Maciel, Silva & Lima, 2016).

Outras coberturas sedimentares cenozoicas, que também representam unidades do Quaternário, e estão associadas à Formação Barreiras, na região litorânea do RN, são: (i) Depósitos eólicos litorâneos de paleodunas; (ii) Depósitos litorâneos de praias e dunas móveis; e (iii) Depósitos aluvionares (Angelim *et al.*, 2007), sendo brevemente descritos como:

i. Depósitos eólicos litorâneos de paleodunas originados por processos eólicos de tração, saltação e suspensão subaérea, e são constituídos por areias esbranquiçadas, de granulação fina a média, bem selecionadas, maduras, com estratificações cruzadas de baixo ângulo, formando dunas tipo barcana, barcanóide e parabólica. Representam fácies de dunas e interdunas da planície costeira e são recobertas por dunas móveis. As discrepâncias entre os depósitos eólicos (paleodunas/dunas móveis) são representadas pelas diferentes texturas e colorações observadas no contato abrupto entre dunas e paleodunas, além da presença e a densidade da cobertura vegetal (Barreto *et al.*, 2004).

Depósitos de praia que se originam por processos de tração subaquosa, influenciados por marés, em planície costeira suavemente inclinada, - correspondendo à fácies de intermaré ocorrem em uma faixa estreita e paralela à linha de costa – e são constituídos por areias esbranquiçadas de granulação fina a grossa, quartzosas, bem selecionadas, limpas, ricas em bioclastos, podendo conter minerais pesados.

ii. Depósitos de dunas móveis: são constituídos por areias esbranquiçadas de granulometria fina a média, bem selecionadas, com grãos arredondados. São do tipo barcana, barcanóide e parabólica formando campos de dunas e interdunas atuais. Apresentam formas com relevo que se destacam na paisagem, com pouca ou nenhuma vegetação.

Elas se superpõem às paleodunas num processo migratório para NW, deslocando-se no mesmo sentido das paleodunas.

- iii. Depósitos aluvionares que se originam de processos de tração subaquosa, compreendendo fácies de canal e barras de canal fluvial e ocorrem ao longo dos vales dos principais rios que drenam o estado, sendo constituídos por sedimentos arenosos e argilo-arenosos, com níveis irregulares de cascalhos, formando os depósitos de canal, de barras de canal e da planície de inundação dos cursos médios dos rios.
-

3.5 Geomorfologia

O estado do RN apresenta muitas variações no que tange aos aspectos geomorfológicos e sua evolução, os quais estão condicionados a um leque de fatores que interferiram, e ainda interferem, na geomorfogênese, tais como “a estrutura geológica, a evolução morfoclimática e os processos atuais, resultando em diversificada variedade de paisagens” (CPRM, 2010).

As unidades geomorfológicas (Figura 3.13) ocorrentes no litoral Oriental do estado podem ser basicamente determinadas em: Depressão Sertaneja (domínio dos terrenos pré-cambrianos), Tabuleiros Costeiros (domínios das rochas mesozoicas e da Formação Barreiras), Planície Litorânea (ocupada pelas planícies fluvio-marinhas, praias e paleopraias), além de dunas e campos de dunas que ocorrem associados à Planície Litorânea e aos Tabuleiros Costeiros (FADE, 2007).

A Planície Costeira no RN compreende a uma extensa e estreita faixa ao longo do litoral Oriental do estado, posicionada entre a linha de costa e os Tabuleiros Costeiros, onde, por vezes, esses tabuleiros estão diretamente colocados junto à linha de costa, formando falésias com desnivelamentos superiores a 20 metros (CPRM, 2010). 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 as Planícies Fluviomarinhas (extensos manguezais) (FADE, 2007; IBGE, 2009; CPRM, 2010).

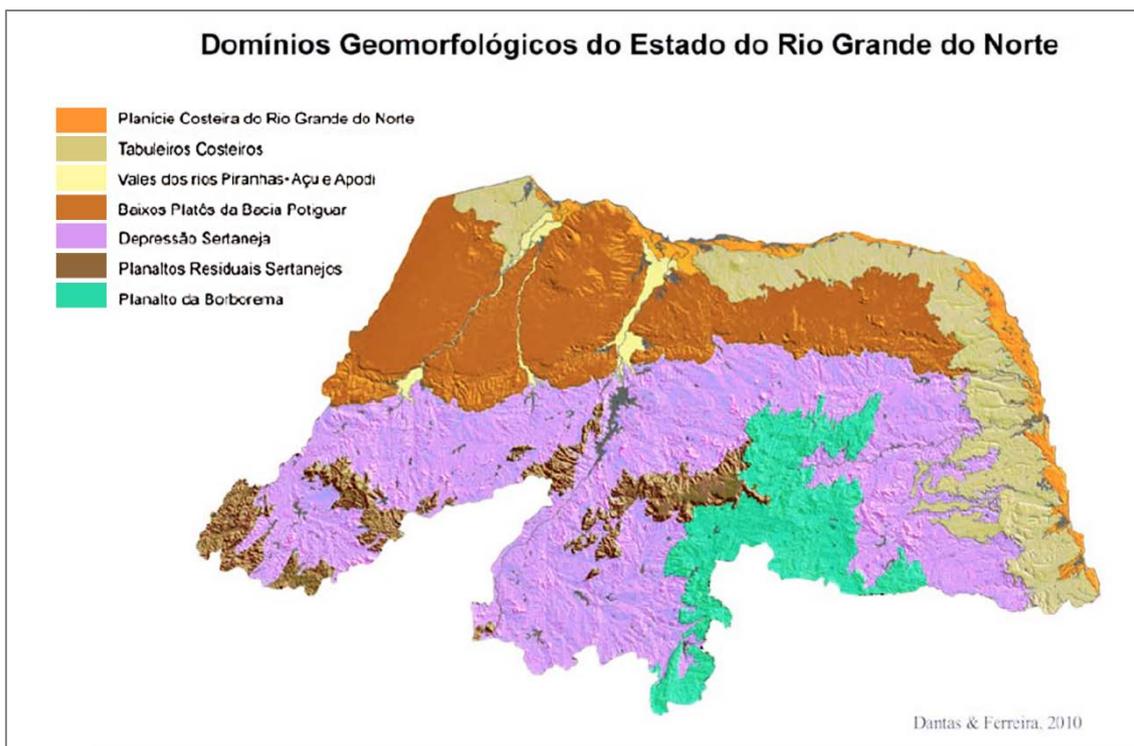


Figura 3.13 - Domínios geomorfológicos do estado do Rio Grande do Norte [Fonte: CPRM (2010)].

Os Campos de Dunas ocupam grande parte da Planície Litorânea potiguar, atingindo, por vezes, as falésias da Formação Barreiras, e gerando imensos campos eólicos - fato que pode estar associado à menor pluviosidade (e maior ação dos ventos e da erosão eólica) do litoral potiguar, em relação aos outros estados do Nordeste Oriental (CPRM, 2010).

O relevo dos Tabuleiros Costeiros caracteriza-se como uma superfície aplainada da Formação Barreiras, que se estende por toda a costa do Estado (UFRN/FUNPEC/MPRN, 2011). Essa Formação apresenta-se com formas suaves e onduladas, e em algumas localidades são interrompidas abruptamente, formando falésias vivas ou falésias recuadas ao longo da costa, ou mesmo barrancos nas margens dos rios. Em outras localidades, a continuidade desses terrenos é quebrada pelo aparecimento de dunas (Nogueira, 1981 *apud* Medeiros, 2001).

Esta unidade geomorfológica representa formas de relevo tabulares esculpidas em rochas sedimentares, em geral, pouco litificada, de idade terciária, da Formação Barreiras, estando delimitados, a leste, pelas planícies costeiras e, a oeste, pelas superfícies aplainadas da Depressão Sertaneja. Os tabuleiros estão posicionados aproximadamente entre 30 e 100 metros, sendo que estas são

crecentes à medida que essas formas de relevo avançam em direção ao interior. 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 (FADE, 2007; CPRM, 2010).

3.6 Solos

Segundo estudo realizado no Estado do RN pelo CPRM - Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2010), o solo da região leste do estado pode ser classificado em: Latossolos Amarelos distróficos, Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos e Neossolos Quartzarênicos.

De modo resumido, tomando em consideração a classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006), a definição desses solos de 1ª ordem é:

- Latossolos: são solos muito intemperados, profundos e de boa drenagem, constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300 cm, se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura. São típicos das regiões equatoriais e tropicais, ocorrendo também em zonas subtropicais, distribuídos, sobretudo, por amplas e antigas superfícies de erosão, e distribuem-se amplamente pelo território nacional, ocorrendo em praticamente todas as regiões, diferenciando-se entre si, principalmente, pela coloração e teores de óxidos de ferro. São originados a partir das mais diversas espécies de rochas e sedimentos, sob condições variáveis de clima e tipos de vegetação.
- Argissolos: são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, com argila de atividade baixa ou com argila de atividade alta conjugada com saturação por bases baixa e/ou caráter alítico na maior parte do horizonte B, geralmente acompanhado de boa diferenciação também de cores e outras características. As cores do horizonte B variam de acinzentadas a avermelhadas e as do horizonte A, são sempre mais escurecidas. A

profundidade dos solos e variável, mas em geral são pouco profundos e profundos.

- Neossolos: grupamento de solos pouco evoluídos, em via de formação, sem horizonte B diagnóstico definido. Compreende solos constituídos por material mineral, ou por material orgânico pouco espesso, que não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário, devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, seja em razão de características inerentes ao próprio material de origem - como maior resistência ao intemperismo ou composição químico-mineralógica - ou por influência dos demais fatores de formação - clima, relevo ou tempo - que podem impedir ou limitar a evolução dos solos.

O solo do tipo Neossolos Quartzarênicos pode ser encontrado na região correspondente a Planície Litorânea, de idade quaternária. Esse tipo de solo tem sua formação ligada à deposição de areias marinhas eutróficas (areias do pós-praia e de dunas) “sobre as quais se desenvolve uma fina capa de solos que suporta a vegetação litorânea, predominantemente representada por espécies arbustivas e gramíneas”. E os solos do tipo Latossolos Amarelos distróficos, Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos e Neossolos Quartzarênicos, são encontrados nos Tabuleiros Costeiros do litoral leste - os quais estão sobre rochas sedimentares pouco litificadas, da Formação Barreiras – e que podem ser tidos como solos espessos e de baixa fertilidade natural.

3.6.1 Trabalhos prévios realizados em solos das falésias do CLBI

Taquez (2017) investigou a ocorrência de movimentos de massas e a estabilidade das falésias sob condições não saturadas. Foram realizados ensaios de compressão triaxial tipo adensado não-drenado (CU) em condições saturadas, e ensaios de compressão triaxial tipo não-adensado não-drenado (CW) para a condição de umidade residual. Utilizando um modelo hiperbólico, o autor efetuou a previsão da resistência ao cisalhamento dos solos não saturados.

No mesmo trabalho, Taquez (2017) investigou a estabilidade das encostas para avaliar o fator de segurança envolvido, considerando as seções mais susceptíveis à ocorrência dos movimentos de massas e os parâmetros de

resistência dos solos. No estudo, o autor contemplou camadas de solo com cimentação das partículas (fator de resistência também existente em solos sedimentares da Formação Barreiras na região de Tibau de Sul, abordados anteriormente por Santos Jr. *et al.*, 2008 e Severo, 2011) associadas às fendas de tração encontradas no topo da falésia.

Na mesma pesquisa, segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), os solos das falésias na base foram caracterizados como areia argilosa (SC), na sua porção intermediária como areia Silto-Argilosa (SM), e no seu topo como areia mal graduada (SP). Importante destacar que os três tipos de solos identificados na área das falésias são classificados na Tabela 2.1 como solos de alta erodibilidade. Os tipos de movimentos de massas foram estudados avaliando-se os fatores geomorfológicos associados a diferentes graus de saturação.

O autor considerou que o mapa final de suscetibilidade traduziu com boa proximidade os movimentos de massas observados no campo, refletindo a eficiência do modelo adotado, alertando, entretanto, para a necessidade de novas pesquisas a fim de se reduzir as incertezas das avaliações de suscetibilidade e também para validar o modelo diante das condições climáticas (marés e erosão). A partir dos ensaios triaxiais CU e CW realizados, verificou-se que os solos apresentaram desempenho de areias compactas.

Taquez (2017) também ponderou que os resultados referentes às avaliações de estabilidade indicaram falésias em boas condições de estabilidade em sua condição natural, resultado da coesão por sucção que leva a uma considerável resistência do solo. Esta condição é alterada ao ser incrementada a saturação do solo, levando a condições de instabilidade. Para taludes com menores inclinações, o autor avaliou a predominância do movimento tipo escorregamento, enquanto o tombamento destaca-se nos taludes com inclinações maiores que 70° , confirmando estudos anteriores realizados em falésias com características similares.

Barbosa (2017) analisou a estabilidade e obteve os perfis críticos das falésias, tendo verificado também a presença de incisão basal em alguns pontos. A autora constatou baixos valores de tensões de tração atuantes e observou que o mecanismo preponderante para os processos de instabilidade foi o acréscimo da

saturação dos solos, resultado das chuvas. Esta circunstância reduz a resistência e acaba por provocar os movimentos de massas.

Através dos ensaios, Barbosa (2017) verificou o valor de coesão dos solos saturados próximo a 26% do valor obtido para os solos no teor de umidade natural. No entanto a autora percebeu pequenas variações nos valores dos ângulos de atrito. A autora também concluiu, através de análises por Equilíbrio-Limite, haver pouca influência da incisão basal existente na redução da estabilidade e que a avaliação da estabilidade retratou de forma eficaz as formas de ruptura constatadas nas falésias do litoral do Rio Grande do Norte.

Tal como Taquez (2017), os solos das falésias foram classificados por Barbosa (2017) pelo SUCS como areia argilosa (SC), para o solo topo, areia argilo-siltosa (SC-SM) para o solo intermediário e areia mal graduada (SP) para o solo topo.

Confirmando os resultados obtidos por Santos Jr. *et al.*(2008) na região de Tibau do Sul, Barbosa (2017) não verificou redução expressiva no ângulo de atrito ao incrementar a umidade nas amostras. Já os valores de coesão, naturalmente elevados, reduziram significativamente quando saturados os solos.

Barbosa (2017) também verificou que a evolução da incisão basal nas falésias não altera de maneira importante os fatores de segurança obtidos, bem como as tensões de tração na face da falésia. A autora observou que os movimentos de massas da área estudada ocorrem como o desprendimento de material, tombamento e queda de blocos, devido aos valores de tensões de tração superaram a resistência à tração.

Júnior (2017) pesquisou dentro do curto prazo a retração em falésia na área do CLBI. As análises foram realizadas com a aplicação do Laser Escâner Terrestre (LT), entre agosto de 2016 e fevereiro de 2017. O LT emprega o pulso laser para realizar o mapeamento tridimensional da falésia. Foram construídos Modelos Digitais do Terreno (MDT) para a verificação do principal gerador de erosão. O autor comparou os MDTs aos perfis transversais constituídos em cinco setores da falésia. O autor verificou que a falésia apontou uma retração aproximada de 6 cm para o intervalo analisado. O autor também destaca a pesquisa como pioneira ao utilizar o

LT em falésias da Formação Barreiras e sua importância para a compreensão da dinâmica costeira.

Oliveira (2017) estabeleceu a vulnerabilidade física natural e ambiental da área. Foram considerados três cenários distintos de mudanças climáticas, segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). As análises indicaram muito baixa, baixa, média e alta vulnerabilidade com o cenário mais pessimista para o Índice de Vulnerabilidade Natural apresentando a maior porcentagem de alta vulnerabilidade em cerca de 40% da área.

Segundo o autor, o Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) indicou valores entre baixa e média vulnerabilidade com as piores projeções para o método do IVC-USGS com 100% da linha de costa sob média vulnerabilidade.

Oliveira (2017) concluiu que a metodologia empregada para avaliação da vulnerabilidade costeira possibilitou a análise de processos erosivos e deposicionais dos trechos da Linha de Costa (LC), através do exame das posições das LCs dos anos de 1984, 1993, 2005 e 2015 em Ambiente SIG.

Com relação aos índices de vulnerabilidade costeira, Oliveira (2017) constatou que o nível médio do mar sofrerá elevações, em geral, de forma gradual, com previsão, segundo o IPCC (2013), de alguns anos com taxas de aumentos mais fortes. O autor também verificou que os valores de baixa a média vulnerabilidade do IVC detectados foram resultado da baixa influência antrópica na área e a existência de ambientes vegetados naturais bem conservados.

3.7 Vegetação

A vegetação que ocorre na região mapeada é do tipo restinga, que compreende uma classe de vegetação restrita às áreas de influência marinha vegetal (Barreto *et al.*, 2004). Esta cobertura vegetal reveste as praias, dunas, e por vezes os terrenos esculpidos nos solos sedimentares da Formação Barreiras. Levando-se em consideração o trabalho desenvolvido pela UFRN acerca da zona de proteção ambiental (ZPA) 06 (UFRN/FUNPEC/MPRN, 2011), tem-se,

resumidamente, que o tipo e descrição de vegetação presente em tal área correspondem a:

- **Restinga arbustiva:** representada por vegetação lenhosa que recobre as dunas (Figura 3.14), também nomeada de Formação Pioneira Arbustiva com Influência Marinha pelo IBGE (1992) - havendo pontos em que essa vegetação apresenta um porte mais alto, quando em áreas mais protegidas do vento (sendo denominada restinga arbórea). A restinga arbustiva e restinga arbórea são consideradas como componentes do bioma Mata Atlântica, tratando-se de uma vegetação em ótimo estado de conservação praticamente em toda a sua extensão.

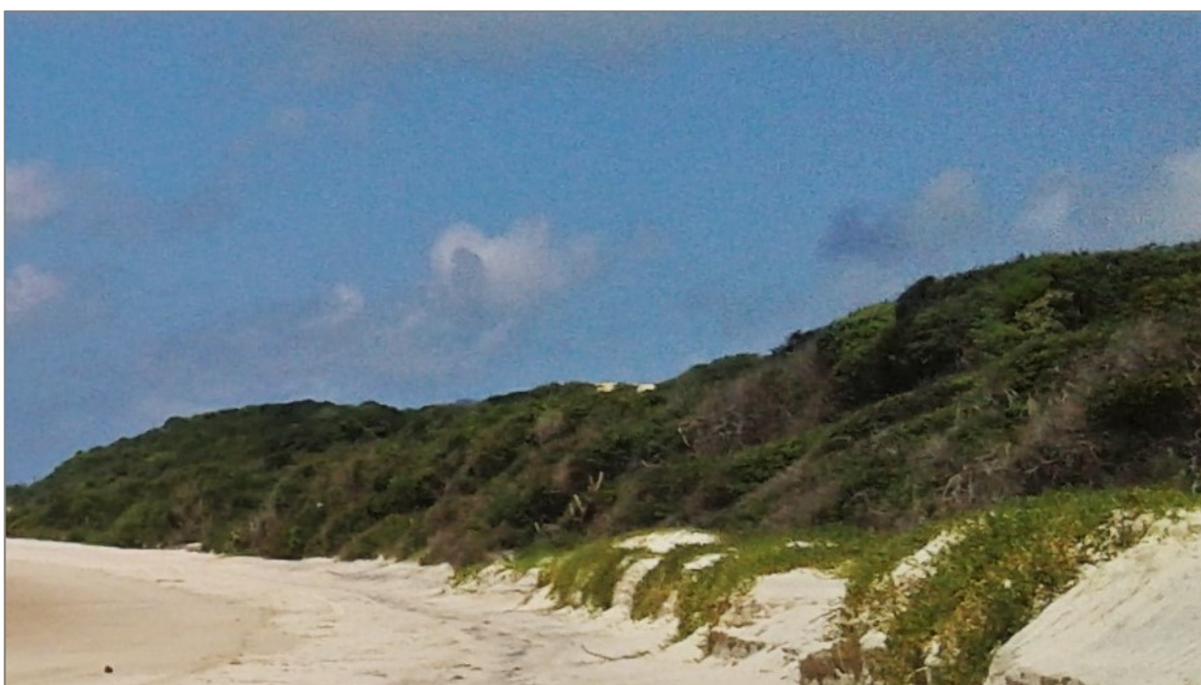


Figura 3.14 - Vegetação denominada restinga arbustiva.

- **Restinga herbácea:** vegetação presente na região de pós-praia, nas dunas frontais, na planície de deflação e nos flancos de dunas (Figura 3.15), sendo denominada de Formação Pioneira Herbácea com Influência Marinha pelo IBGE (1992). Esse tipo de vegetação apresenta a mesma classificação fitogeográfica que a restinga arbustiva e, igualmente, apresenta-se bem conservada ao longo de sua área de ocorrência.



Figura 3.15 - Vegetação denominada restinga herbácea.

- **Savana arborizada:** é a vegetação lenhosa de tabuleiro costeiro, classificada também como campo-cerrado (Figura 3.16), segundo o IBGE (1992). Está presente em áreas com relevo mais baixo, diretamente associada aos solos arenosos, e originalmente ligada às rochas sedimentares da Formação Barreiras. Embora não existam estudos detalhados sobre esse tipo de vegetação na área em análise, muito provavelmente a proximidade física com a restinga arbustiva deve implicar no compartilhamento de espécies vegetais.
- **Superfície arenosa:** envolve as áreas de praia, de planície de deflação e de dunas onde a vegetação está ausente ou ocorre de modo muito escasso (Figura 3.17), de maneira a não interferir na dinâmica dos sedimentos.

3.8 Uso e Cobertura do Solo

As regiões litorâneas apresentam grande importância turística, tendo como consequência imediata a expansão econômica e social local, que por sua vez

provoca o aumento da interferência antrópica, em grande parte desordenada, sendo este o maior fator transformador do ambiente natural (Maciel & Lima, 2014).



Figura 3.16 - Vegetação denominada savana arborizada.



Figura 3.17 - Superfície arenosa, com escassez ou ausência de vegetação.

Com isso, a superfície da paisagem e o estudo do uso do solo, que se examina através da análise das intervenções do homem no meio, faz-se necessária

a verificação da distribuição geográfica e espacial das tipologias de uso do solo (Camapum de Carvalho, Junior & Carvalho, 2012).

Esta análise deve se estender em especial para o entorno da área mapeada, que se encontra entre áreas densamente povoadas e valorizadas, com empreendimentos verticais luxuosos ao norte, na região de Ponta Negra, além de diversos condomínios residenciais horizontais de alto padrão distribuídos ao redor da unidade militar.

O tipo de uso e ocupação do solo no bairro de Ponta Negra, situado ao Norte da área mapeada, sofreu grandes transformações nas últimas décadas. As casas de veraneio, comumente presentes nas décadas de 1970 e 1980 foram substituídas por grandes investimentos imobiliários, representados pelas edificações verticais das redes hoteleiras, além do denso desenvolvimento de instalações que dão apoio ao desenvolvimento turístico da região, como restaurantes, bares, locadoras de veículos, entre outros empreendimentos (Maciel, Silva & Lima, 2016).

Como consequência da necessidade premente de preservação das áreas desta região turística, nela estão inseridas as Zonas de Proteção Ambiental (ZPAs) 05 e 06, de acordo com o Zoneamento Ambiental adotado pelo município de Natal (Figura 3.18). As Zonas de Proteção Ambiental são áreas com uso e ocupação do solo urbano restritos, visando à proteção, manutenção e recuperação dos aspectos ambientais, paisagísticos, históricos, arqueológicos e científicos (NATAL, 2008).

A ZPA-05 refere-se à Associação de dunas e lagoas do bairro de Ponta Negra (Região de Lagoinha), constitui-se um complexo de dunas e lagoas com desenvolvimento de vegetação com espécies predominantes de formação de tabuleiro litorâneo e espécies de Mata Atlântica. Este ecossistema constitui umas das principais áreas de recarga dos aquíferos.

A ZPA-06, também denominada Zona de Proteção Ambiental do Morro do Careca e dunas fixas contínuas, limita-se em parte por região de praia e abrange o Morro do Careca, um dos maiores símbolos turísticos da cidade. Referida ZPA encontra-se atualmente em proposta de regulamentação. A área sofre com a pressão imobiliária e conflitos sócio-espaciais em seus limites territoriais com a Vila de Ponta Negra (MPRN/UFRN, 2011).



Figura 3.168 - ZPA-05 e ZPA-06 no contexto da legislação urbanística e ambiental municipal (Fonte: UFRN/FUNPEC/MPRN, 2011).

Importante destacar a atual proteção já assegurada em toda a área do CLBI pela instituição militar. O Morro do Careca, um dos principais cartões postais do RN e que mantém grande importância cultural local encontra-se em excelente estado de conservação, bem como todo o restante da área sob jurisdição patrimonial da Aeronáutica (UFRN/FUNPEC/MPRN, 2011). Referido Laudo pericial também menciona em sua página 43:

“...Tratando-se das características físico-ambientais, a análise evidenciou um maciço dunar com quase todas as suas feições naturais preservadas, fato que resultou na explicitação de um conteúdo marcadamente ambiental e o registro de poucas ações de natureza urbanística, que possam ser identificadas como resultado de ações antrópicas. Tal constatação reside no fato de que, apesar das pressões por ocupação em diversos trechos das franjas do maciço, já demonstradas neste relatório, à natureza da área como de segurança nacional é fator inibidor do acesso ao mesmo, em razão da presença e vigilância permanente do contingente militar que atua na Barreira do Inferno”.

Esta análise estabelecida no Laudo Pericial constata uma das preocupações das Forças Armadas, muito bem exposta recentemente pelo Ministério da Defesa, através do livro publicado em 02 jun. 2017 intitulado: *“Defesa e Meio Ambiente – Preparo com sustentabilidade”*. O principal objetivo da publicação foi divulgar as ações de proteção ambiental adotadas pela Marinha, pelo Exército e pela Aeronáutica, conforme se verifica no trecho abaixo (página 5):

“Tradicionalmente, a contribuição das Forças Armadas vai muito além de sua missão precípua, de defesa do território e da soberania nacionais, e abarca a ocupação e a integração do território, bem como a promoção do desenvolvimento nacional. A proteção ambiental e o legado secular de preservação, embora menos conhecidos, inserem-se também nesse nobre rol de atividades”.

O estudo do uso e cobertura do solo referente à área militar será focado essencialmente sob dois aspectos: o da cobertura do solo onde serão caracterizados e mapeados os diferentes tipos de cobertura, e as descrições físico-ambientais dos ecossistemas presentes (restinga arbustiva, restinga herbácea, savana arborizada e superfície arenosa), constatando a influência direta de ambientes preponderantemente costeiros.

Como será verificado adiante nos produtos cartográficos, pouco mais de 90% da área mapeada possui cobertura vegetal. Como a cobertura vegetal possui relevante proteção contra os processos erosivos hídricos por desempenhar uma defesa natural do terreno ao minimizar o impacto das gotas de água sobre as partículas de solo, favorecer a dispersão da água, aumentar a capacidade de infiltração graças à ação das raízes e de húmus presentes, melhorar a retenção de água e reduzir a velocidade de escoamento de água devido à resistência por atrito proporcionada (Bertoni & Lombardi Neto, 2005), a avaliação da cobertura vegetal torna-se um elemento importante para consideração.

CAPÍTULO 4

Materiais e Métodos

O procedimento adotado para este trabalho (Figura 4.1) iniciou-se com a revisão bibliográfica. Foram explorados os trabalhos importantes nas áreas de geologia, geomorfologia e de avaliação e análise de processos erosivos. Foi também contemplado material acadêmico referente às pesquisas realizadas não somente no entorno da área estudada, mas também em áreas com características geológicas e geomorfológicas similares, com dunas não vegetadas, dunas vegetadas e tabuleiros costeiros.

Na sequência foi criada uma base de dados essenciais para a geração dos mapas temáticos da área em estudo. Todos os elementos envolvidos, sejam as imagens orbitais, fotos aéreas, arquivos em formato CAD e mapas prévios foram examinados e processados em ambiente SIG. Os mapas criados da área estudada foram adaptados a escala de 1:35.000, considerado o melhor valor de projeção para a impressão dos mapas.

Após a elaboração de todo o mapeamento temático da área, foi realizada análise dos fatores majoritariamente envolvidos nos processos erosivos através de modelo multicritério. Utilizando a metodologia de álgebra de mapas em ambiente SIG foi possível gerar o mapa de suscetibilidade dos solos à erosão.

A análise de suscetibilidade à erosão avaliou os fatores condicionantes (características de altitude, declividade, aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, de vegetação e de uso e cobertura) em ambiente de baixa intervenção antrópica. Foram examinados os principais fatores e suas preponderâncias para a ocorrência dos processos erosivos.

4.1 Base de dados e softwares

Foi criada uma base de dados composta por mapas preexistentes, provenientes do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), como o Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte, de escala 1:500.000, do ano de 2006, associada ao

arquivo vetorial (Folha Natal, com escala 1:100.000), extraído em 05 fev.2014 e obtido através do sítio Geobank (geogb.cprm.gov.br), banco de dados corporativo que reúne informações sobre geologia e recursos minerais do CPRM.

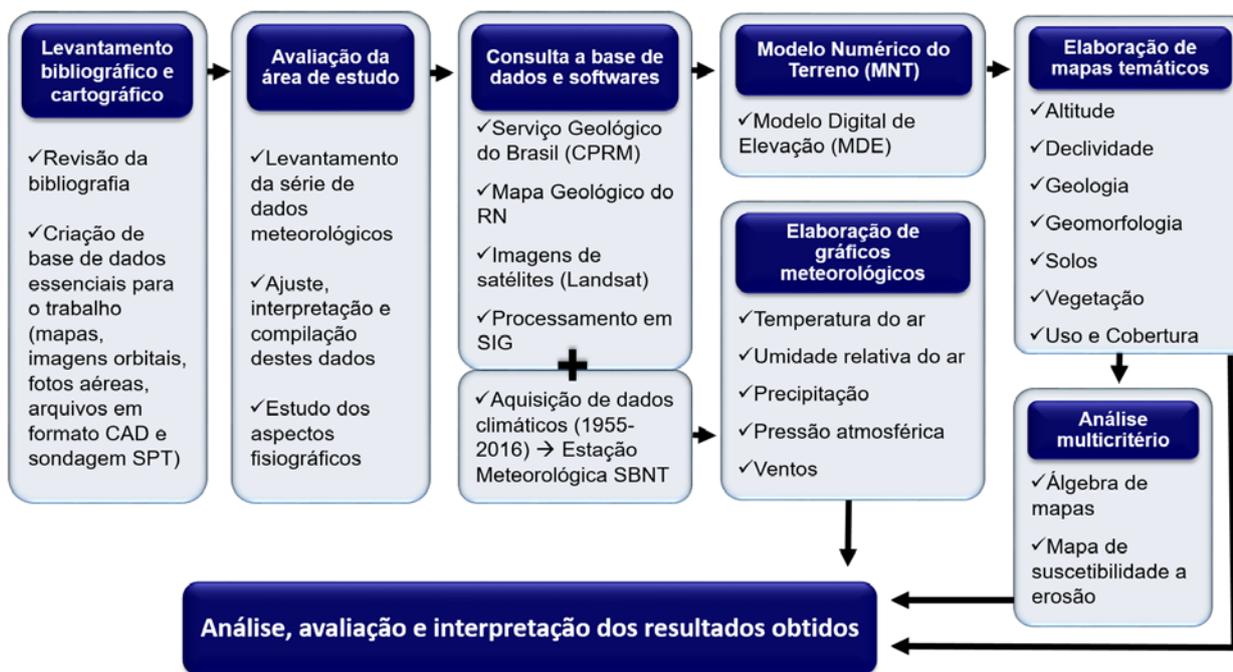


Figura 4.1 - Delineamento experimental desenvolvido para a execução do projeto de pesquisa.

Foram também obtidas imagens de satélites, tanto da série Landsat como da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Foi obtida também uma fotografia digital com resolução de 2m (arquivo OF_32.tif), de 2006, fruto do projeto PRODETUR (Programa de ação para o desenvolvimento do turismo do Nordeste) e disponibilizada pela SEMURB (Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo de Natal).

Os mapas de solos dos municípios de Natal e Parnamirim, de 1971, provieram dos Levantamentos Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Rio Grande do Norte, Projeto do Ministério da Agricultura em parceria com a Embrapa e Sudene foram analisados em conjunto com o mapa do IBGE (Mapa de Solos do Brasil), de escala 1:5.000.000, do ano de 2001. O mapa de vegetação do Brasil, de 2004 do IBGE também fez parte do banco de dados, com escala 1:5.000.000.

Foram cedidos pela Seção de Patrimônio do CLBI desenhos em formato CAD e uma ortofoto relativamente recente, de 12 fev. 2016 com escala de ampliação 1:6.250 obtida através do sensor ADS-80, pelo 1º/6º GAV (Primeiro Esquadrão do Sexto Grupo de Aviação), sediado em Recife, PE. Este Esquadrão é especializado em reconhecimento aéreo por meios eletrônicos e fotográficos.

Os desenhos em CAD contêm todas as informações oficiais referentes às divisas da área sob jurisdição patrimonial da Organização Militar, com os seus respectivos tombos, edificações e acessos no seu interior. Vale ressaltar a diferença no valor de áreas para o registro patrimonial oficial da Organização Militar (18.239.313,35 m²) face ao valor trabalhado em SIG (19.798.106,28 m²). Esta diferença é resultado do alinhamento existente na divisa em seu extremo oriental (fronteira com o Oceano Atlântico) no Tombo 001. Esta diferença existe desde o termo de entrega da área da SPU – Secretaria do Patrimônio da União, ao Comando da Aeronáutica, fruto de um processo de doação de área. Assim, o Tombo 001 possui área inferior a real, pois sua divisa a leste foi aproximada por segmentos distantes do alinhamento de costa, enquanto os mapas temáticos gerados consideram exatamente a orla como limite oriental, de acordo com informações e plantas cedidas pela Seção de Patrimônio do CLBI (2017).

As imagens de satélite selecionadas foram dos satélites Landsat TM 5 e OLI 8, disponíveis de forma gratuita mediante cadastramento realizado no site da Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE/ImagCatalog). Esta Divisão integra a Coordenação Geral de Observação da Terra (OBT) naquele Instituto. Foi possível também obter as imagens da série Landsat a partir do site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS).

As imagens da família Landsat compõem a maior coleção de dados de sensoriamento remoto terrestre de resolução moderada – resoluções entre 15 a 30 metros – a partir de uma estação de satélite. Trata-se de um programa gerenciado pelo USGS e a NASA, a Agência Espacial Norte-Americana, possuindo quatro décadas de imagens fornecidas em recurso único para trabalhos voltados à agricultura, geologia, silvicultura, planejamento regional, educação, mapeamento e pesquisa de mudanças globais (USGS, 2017).

As imagens de satélite possuem diferentes resoluções, que se referem à largura da faixa espectral que cada sensor do satélite opera. Os sistemas Landsat 5

e 8 superam as demais opções devido ao vasto acervo de imagens, fator que justifica sua larga utilização e aplicação nas geociências.

As indicações TM e OLI são as designações dos sensores *Thematic Mapper* para o Landsat 5 e *Operational Land Imager* para o Landsat 8. No caso do satélite Landsat TM 5, sua resolução espectral oferece elementos para mapeamentos temáticos na área de recursos naturais e opera com 7 bandas. Cada uma destas bandas representa uma faixa do espectro eletromagnético que foi captada pelo satélite (INPE, 2017). O instrumento *Operational Land Imager* do Landsat 8, que iniciou a operar em 2013, possibilita a captação de duas bandas espectrais adicionais, proporcionando um avanço frente aos instrumentos Landsat anteriores. As duas bandas espectrais adicionais são um canal visível azul profundo (banda 1) especificamente concebido para investigação de recursos hídricos e zonas costeiras e um novo canal infravermelho de ondas curtas (banda 9) para a detecção de nuvens (USGS, 2017). Vale ressaltar, entretanto, que a banda 9 não possui função para o meio físico.

4.2 Metodologia aplicada às atividades de campo e análise de dados climatológicos e das sondagens SPT

- **Visitas de campo**

Desde o início da pesquisa foram realizadas visitas periódicas em diversas localidades de toda a área do Centro de Lançamento. O principal objetivo das atividades de campo foi identificar, distinguir e localizar os elementos componentes do meio físico para a elaboração dos produtos cartográficos.

A avaliação em campo contou também com um sobrevoo realizado em uma aeronave de asas rotativas sobre toda a área de estudo. Este fato possibilitou a produção das fotos aéreas, importantes para a caracterização de pontos sem acesso terrestre, como a face das falésias vivas, a visão superior do Morro do Careca, bem como as perspectivas topográficas das demais áreas. Este sobrevoo auxiliou a interpretação da topografia e dos elementos morfológicos na região.

- **Análises dos dados climatológicos**

A fim de subsidiar este trabalho com uma série de dados meteorológicos mais completa e longa possível, a Subdivisão de Climatologia e Arquivo Meteorológico

(PBCA), da Subdiretoria de Pesquisa (SDP) do Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA), forneceu as informações meteorológicas do Aeroporto Augusto Severo, situado em Parnamirim-RN, hoje restrito às operações militares, através das séries meteorológicas mensais das variáveis abaixo, no período de janeiro de 1951 a junho de 2017 (Anexo 01):

- Temperatura média do ar em graus Celsius (°C);
- Direção predominante do vento em graus e em relação ao norte geográfico;
- Velocidade média do vento em nós (KT);
- Precipitação pluviométrica acumulada em milímetros (mm); e
- Pressão atmosférica ao nível da estação meteorológica (QFE) em hectopascal (hPa).

Segundo as informações constantes do Anexo 01, cedidas pelo ICEA (Instituto de Controle do Espaço Aéreo), para efeito de conversão de medidas, 01 nó (kt) equivale a 1,852 km/h. A estação meteorológica de superfície do Aeroporto de Natal está localizada nas coordenadas 05° 45'S e 035° 14' W, numa altitude de 52 metros. O horário de funcionamento da estação no período solicitado foi das 00 às 23 h local (Anexo 01).

Os dados foram todos cuidadosamente compilados e organizados de modo a sintetizarem as informações através dos gráficos apresentados no item 3.3, Clima. Como as planilhas fornecidas incorporam informações antigas, da década de 1950, nem todos os dados estavam completos. Desse modo, optou-se, neste trabalho, por adotar os dados referentes aos anos de 1955 a 2016, de janeiro a dezembro, a fim de gerar os gráficos completos de médias mensais, pois os dados meteorológicos de todos os meses estavam preenchidos nesse período de 61 anos.

- **Análises das sondagens de simples reconhecimento (SPT)**

Um dos ensaios mais utilizados para avaliar a resistência do solo à penetração é o *Standard Penetration Test* (SPT). Esse ensaio estabelece parâmetros para a avaliação da capacidade do solo em resistir a esforços de cisalhamento e permite obter amostras. O ensaio de sondagem SPT é normatizado no Brasil pela norma ABNT NBR 6484 (2001) e é realizado em três estágios

diferentes, repetidos para cada metro de profundidade: perfuração, ensaio de penetração e amostragem.

Este Teste de Simples Reconhecimento do solo ou *Standard Penetration Test* (SPT) é um método de investigação geológico-geotécnica e tem por principais finalidades: elaborar o perfil geológico das camadas do subsolo e determinar a capacidade de carga das diferentes camadas do subsolo, sendo uma ferramenta fundamental para investigação dos solos em Geologia de Engenharia e em Engenharia de Fundações, possuindo como principais atrativos a simplicidade de execução e o baixo custo associado com a possibilidade de identificação do material colhido no decorrer do ensaio.

Foram examinados três furos de sondagem tipo SPT executados na área de lançamento do CLBI pela empresa Norte Sonda Sondagens, em setembro de 2014 (Figura 4.2). Constam no Anexo 02 o relatório nº 201456-SPT14, de 25. Set 2014, da referida empresa, seguida dos três perfis estratigráficos, referente aos furos SPT 01, 02 e 03, acompanhados do croquis de localização dos pontos investigados de sondagem. As sondagens tipo SPT foram realizadas nos dias 19, 22 e 23 de setembro de 2014, correspondendo ao período seco da região.

A resistência à penetração dinâmica é caracterizada por um índice de resistência (N_{SPT}). Este índice é obtido através do procedimento padronizado pela Norma citada: cravação de um amostrador padrão sob a ação da queda livre, em golpes sucessivos, de um martelo com massa de 65 kg, de uma altura de 0,75 m. O valor de N_{SPT} corresponde ao número de golpes necessários para a cravação de 0,30 m do amostrador no solo, após uma cravação inicial de 0,15 m. Os golpes são aplicados sucessivamente até que o amostrador penetre 0,45 m. Após a penetração do amostrador, é realizada a amostragem do solo, com a retirada da amostra do solo para identificação.

Esta amostragem possibilita a determinação da constituição e respectiva espessura das camadas de solo compreendidas ao longo do perfil do terreno. O ensaio é finalizado seguindo critérios técnicos estabelecidos pela norma NBR 6484, de 2001.

A principal informação numérica obtida, o índice de resistência à penetração dinâmica ou N_{SPT} , é utilizada para correlações empíricas e experimentais na

estimativa de valores de tensões admissíveis, de densidades relativas, de ângulo de atrito, de peso específico, de recalques, de atrito lateral e de coesão dos solos.

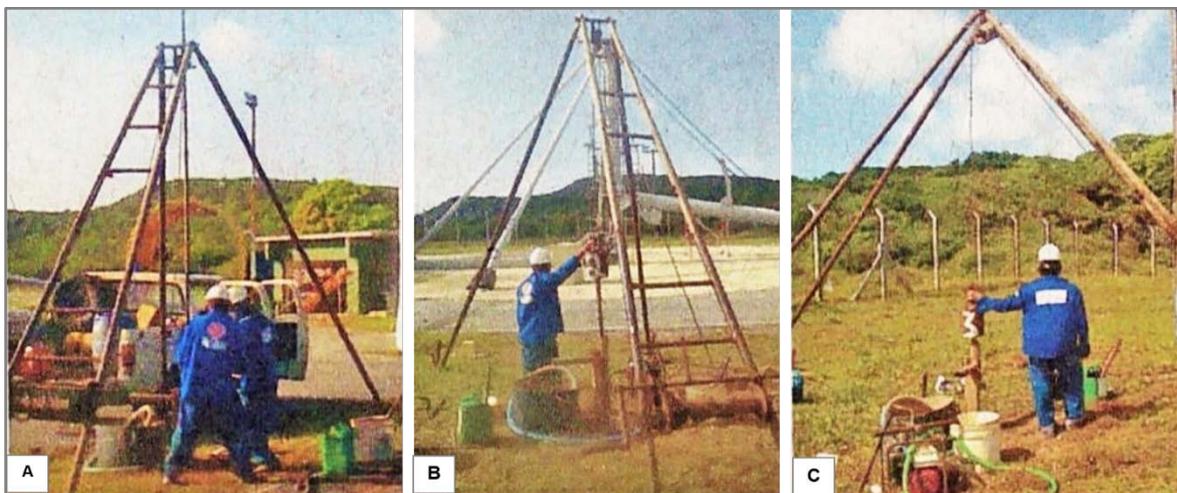


Figura 4.2 - Fotos da execução dos furos SPT-01 (A), SPT-02 (B) e SPT-03 (C) (Fonte: Seção de Engenharia, CLBI. Empresa: NorteSonda Sondagens. Cliente: Taldi Indústria Serviços e Incorporações. Obra: SPDA da Divisão de Operações do CLBI).

4.3 Elaboração do Modelo Digital de Elevação (MDE)

O Modelo Numérico do Terreno (MNT) pode ser representado como uma expressão matemática e computacional da classificação de um fenômeno espacial (neste caso as informações de relevo) e a partir dele são obtidas as declividades da área de estudo, elementos necessários para o diagnóstico de erodibilidade (Filgueira, 2011).

Quando o MNT representa as altitudes de uma área, ele é denominado Modelo Digital de Elevação (MDE). O MDE constitui um importante produto para as avaliações de erodibilidade necessárias para esta pesquisa, pois a topografia constitui-se em um elemento natural que caracteriza a intensidade dos processos erosivos, já que declividades mais acentuadas propiciarão velocidades maiores de escoamento superficial de água (Fontes, 1998).

A declividade do terreno influencia diretamente na intensidade escoamento superficial (Bertoni & Lombardi Neto, 2005), ou seja, nas mesmas condições pedológicas e de chuva, quanto maior for o grau de declividade do terreno maior será a energia associada ao escoamento e conseqüentemente menor será a

infiltração na área (Reis *et al.*, 2006). Com isso, a declividade é o fator topográfico mais relevante no desenvolvimento dos fenômenos erosivos (Fontes, 1998).

Para a obtenção do Modelo Numérico do terreno foi necessário criar o modelo digital TIN (*Triangulated Irregular Network*, ou Rede Irregular Triangular), em ambiente SIG (extensões *3D Analyst, Creat TIN From Features*). Este modelo digital é gerado a partir de curvas de nível ou pontos com cotas altimétricas, e a partir destas informações ocorre a interpolação dos valores altimétricos através de geração de triângulos com tamanhos variados, contíguos, mas não sobrepostos. A partir do modelo TIN foi gerado um arquivo com o atributo de elevação, tomando-se como base o MNT, possibilitando a elaboração dos mapas de altitude e declividade.

A carta de declividade em graus foi gerada a partir do MDE. A função *Slope* (do inglês: declive) é acessada através das extensões *Spatial Analyst Tools – Surface – Slope*. Nova janela surge, onde os seguintes campos são preenchidos: *Input raster, Output polyline features* e *Output measurement*, que possui como padrão a inclinação em graus. A variação dos graus segue de 0° a 90°.

4.4 Elaboração dos Mapas temáticos

A seleção das imagens de satélite ocorreu através de análise visual, para os anos 1984, 1993, 2005 e 2015, conforme Tabela 4.1. Nesta tabela também estão informadas as bandas espectrais de cada sensor, respectivas datas e horário de aquisição e a fonte de aquisição. A opção das imagens recaiu para os quesitos de cores mais acentuadas e com menor quantidade visível de nuvens.

Tabela 4.1 - Características das imagens orbitais, dados SRTM e Ortofoto (*Adaptado de: Oliveira, 2017*).

SENSOR	BANDAS ESPECTRAIS	RESOLUÇÃO ESPACIAL	DATA DE AQUISIÇÃO	HORA DE AQUISIÇÃO	FONTE
TM	B1 a B5 e B7	30 m	17 nov. 1984	11:58:17	INPE
TM	B1 a B5 e B7	30 m	18 mai. 1993	11:50:56	INPE
TM	B1 a B5 e B7	30 m	24 set. 2005	12:16:47	USGS
OLI	B1 a B8	30 m (B1 a B7) 15 m (B8)	22 out. 2015	12:28:44	USGS

MISSÃO	BANDAS ESPECTRAIS	RESOLUÇÃO ESPACIAL	DATA DE AQUISIÇÃO	FONTE
SRTM	Bandas C e X	30 m	11 fev. 2000	USGS
FOTO	SENSOR	ESCALA	DATA DA FOTO	FONTE
Ortofoto	ADS-80	1:6250	12 fev. 2016	1º/6º GAV

O processo de mapeamento foi executado utilizando-se as ferramentas de Geoprocessamento e de processamento do programa ArcGIS® Desktop 10 da empresa ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), com suas extensões *ArcMap*, *ArcView* e *ArcToolbox*. Através destes recursos foi possível realizar a correta delimitação e atualização das classes temáticas, correção de imperfeições detectadas e refinamento dos mapas. As principais combinações de bandas espectrais utilizadas nos trabalhos estão contidas na Tabela 4.2. Foram utilizadas essencialmente as aplicações *Spatial Analyst* e *3D Analyst* da plataforma *ArcMap*.

Tabela 4.2 - Composições coloridas nos sistemas RGB e RGBI elaboradas com as técnicas de PDI (*Adaptado de: Oliveira, 2017*).

SISTEMA	COMPOSIÇÕES SIMPLES	RAZÃO DE BANDAS	PCS
RGB	R(5) G(4) B(3)	R(6/4) G(5/7) B(7)	R(PC1) G(PC3) B(PC6)
	R(6) G(5) B(2)	R(5) G(3) B(NDWI)	R(PC5) G(PC4) B(PC6)
	R(7) G(6) B(4)	R(7/5) G(6/4) B(5/3)	
RGBI	R(5) G(4) B(3) I(8)	R(5/4) G(6) B(5/3) I(8)	R(PC5) G(PC6) B(PC7) I(8)
	R(6) G(5) B(2) I(8)		

Foi empregado como referência o arquivo em formato CAD dos limites patrimoniais da área, convertido em formato *shapefile*. Este arquivo foi importado dentro do ambiente ArcGIS® e georreferenciado utilizando pontos de referência identificados nas ortofotos. As fotos foram também georreferenciadas através do comando *georeferencing*. Todas as fotos e imagens foram georreferenciadas pela projeção cartográfica *Universal Transversa de Mercator* (UTM), Datum WGS 1984 para a Zona 25S.

Para os produtos cartográficos elaborados, neste trabalho optou-se por utilizar a representação através do sistema de coordenadas geográficas, por meio de graus,

minutos e segundos, seguindo as metodologias das publicações internacionais. Embora ainda muito utilizado, o sistema de projeção UTM apresenta algumas limitações para a representação do globo terrestre, como a repetição do mesmo par de coordenadas ocorrer nos 60 fusos diferentes.

Toda a base de dados foi georreferenciada pelo mesmo sistema de referência. Na sequência foi realizada a associação entre as unidades homogêneas de mapas preexistentes às informações e análises das imagens de satélite. As definições relativas às classes temáticas para os mapas fundaram-se na sensibilidade dos sensores de satélite, no exame e verificação das fotografias aéreas obtidas e especialmente no conhecimento da área estudada, resultado de visitas a campo em veículos 4x4 e em sobrevoo.

Todos os mapas gerados foram compatibilizados para a escala final 1:35.000, em ambiente ArcGIS® (ESRI). Esta escala foi considerada adequada para as dimensões da área estudada.

A Tabela 4.3 indica os materiais utilizados (dados SRTM, mapas prévios, imagens orbitais, fotos digitais e planta no formato CAD) como parâmetros para o desenvolvimento de cada mapa temático.

Tabela 4.3 - Mapas base elaborados para a área sob jurisdição patrimonial do Centro de Lançamento da Barreira do Inferno, em ambiente SIG (Adaptado de: Oliveira, 2017).

MAPA	ESCALA	REFERÊNCIA
Altitude	1:35.000	Dados SRTM (11 fev. 2000), USGS, com resolução espacial de 30 m. Processamento em SIG.
Declividade	1:35.000	Dados SRTM (11 fev. 2000), USGS, com resolução espacial de 30 m. Processamento em SIG.
Geologia	1:35.000	CPRM, 2006 e 2014. LANDSAT OLI 8 (22 out. 2015). Processamento em SIG.
Geomorfologia	1:35.000	CPRM, 2006 e 2014. LANDSAT OLI 8 (22 out. 2015). Processamento em SIG.
Solos	1:35.000	IBGE, 2001, EMBRAPA, 1971. LANDSAT 8 (22 out. 2015). Processamento em SIG.
Vegetação	1:35.000	IBGE, 2004. LANDSAT OLI 8 (22 out. 2015). Processamento em SIG.
Uso e cobertura	1:35.000	Ortofotos (1º/6º GAV, de 12 fev. 2016) e projeto PRODETUR (2006); LANDSAT OLI 8 (22 out. 2015), Planta CAD CLBI (SPT, dez. 2016). Processamento em SIG.

Para a criação dos mapas temáticos foi utilizado o processo de classificação supervisionada de imagem, em ambiente GIS. Este procedimento consiste na extração de amostras de pixel, que auxilia o programa a interpretar a imagem de forma automática, proporcionando uma classificação mais apurada. Esta interpretação ocorre de acordo com a distribuição espectral da classe.

A imagem classificada passa a apresentar suas classes representadas através de uma legenda. Estas classes podem ser desde área urbanizada, corpo d'água ou tipo de vegetação. Foi utilizado também o programa AutoCad® (Autodesk) para tratamento das informações patrimoniais do CLBI.

Seguem as descrições referentes aos detalhes para a criação de cada mapa temático:

- **Mapa de altitude e declividade**

Foram derivados a partir de Modelo Digital de Elevação (MDE) do sistema SRTM que integra o projeto Topodata do INPE do ano 2000. Este projeto estabelece um banco de dados Geomorfométricos do Brasil, oferecendo o MDE e suas derivações locais básicas em cobertura nacional, ora elaborados a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo USGS (TOPODATA/INPE, n.d.), com resolução aproximada de 30 metros.

- **Mapa de geologia**

A geologia foi analisada com base nos dados do Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte (CPRM, 2006, escala 1:500.000) associados aos arquivos matriciais CPRM de 2014 (Folha Natal, escala 1:100.000), em conjunto com a análise da imagem Landsat OLI 8.

- **Mapa de geomorfologia**

Foi elaborado a partir da análise dos dados do CPRM (2006), escala original de 1:500.000 e arquivos matriciais CPRM de 2014 (Folha Natal, escala 1:100.000)

em conjunto com a análise visual da imagem Landsat OLI 8, possibilitando a identificação das formas de relevo.

- **Mapa de solos**

O mapeamento de solos também utilizou como base os dados do IBGE, de 2001 e da EMBRAPA de 1971 dos municípios de Natal e Parnamirim.

- **Mapa de vegetação**

A inspeção digital da imagem de satélite Landsat OLI 8 foi trabalhada no Programa ArcGIS® para auxiliar na interpretação das diferentes classes de unidades vegetais. Através da classificação supervisionada das imagens orbitais aplicando técnicas de Geoprocessamento foi possível confirmar a existência preponderante de três classes vegetais: restinga arbustiva, savana arborizada e restinga herbácea, estando em concordância com o trabalho realizado pela Universidade Federal do RN (UFRN/FUNPEC/MPRN, 2011).

- **Mapa de Uso e cobertura do solo**

O mapa de uso e cobertura do solo foi obtido através da vetorização das investigações visuais das fotografias digitais associadas à análise das imagens Landsat OLI 8. As plantas em formato CAD também foram utilizadas neste processo, pois estas contemplam os limites patrimoniais e as edificações da área. O conhecimento da área, resultado de diversas visitas em seus diversos setores auxiliaram nas especificações das classes identificadas, contando inclusive com um sobrevoo. Na avaliação das fotos digitais foi também importante a análise visual. Foram examinados os detalhes de coloração, tonalidade e configuração das imagens e das ortofotos.

4.5 Processamento das imagens

De acordo com o estudo das bandas espectrais do satélite Landsat TN 5, certificou-se que a banda 5 é a que indica maior riqueza de informações para a geomorfologia apresentando variância acima das demais. Esta banda ressalta a rede de drenagem e a intensidade de dissecação, a morfologia e o contato entre as diferentes unidades geomorfológicas. A banda 7 também reflete estes aspectos de forma mais sutil. Apresenta alta correlação com as bandas do visível e contribui substancialmente para as análises em áreas de pouca cobertura vegetal, realçando feições referentes aos diferentes tipos de uso da terra, estradas, áreas urbanas e feições relacionadas com processos de degradação. A banda 3, menos afetada pela interferência atmosférica do que a 1 e a 2, também oferece uma boa resposta à análise de feições erosivas em áreas que se encontram em franco processo de degradação e convém, portanto, analisá-la durante a elaboração do mapa de feições de detalhe. A análise da imagem da banda 4 na faixa do infravermelho próximo contribui sobremaneira para a delimitação de corpos de água ou de áreas mais úmidas (Florenzano, 1993).

4.6 Elaboração da Carta de suscetibilidade

O potencial erosivo de uma determinada área deriva de inúmeras variáveis, como a intensidade e duração das chuvas, as condições topográficas (em especial a declividade), as condições geológicas, de uso e cobertura do solo e o tipo de vegetação. Através de *softwares* para Sistemas de Informações Geográficas, como o ArcGIS® é possível produzir elementos cartográficos que auxiliem na análise e interpretação da ação conjunta de todos os fatores considerados. No mapeamento de risco ambiental aplicado ao planejamento, têm sido utilizados métodos multicritério aditivos, com resultados satisfatórios (Valladares *et al.*, 2012).

A análise multicritério utilizada em ambiente SIG constitui uma ferramenta eficaz para o estudo da suscetibilidade erosiva ao permitir a interação de todas as variáveis ambientais envolvidas simultaneamente para gerar um mapa síntese. Esta composição é processada através de cálculos aritméticos em ambiente SIG

denominados “álgebra de mapas”: uma ferramenta que possibilita a associação de inúmeras camadas que processadas resultarão em um único produto cartográfico capaz de sintetizar os elementos envolvidos.

Inicialmente foram definidas as variáveis que deveriam compor a análise de susceptibilidade a erosão na área. Foram estabelecidas as seguintes variáveis: declividade, uso e cobertura, solos e geologia. Cada shapefile foi inserido na extensão ArcMap do programa ArcGIS®. Na sequência foi criado um arquivo tipo *raster* (representação matricial) para cada *shapefile* inserido, através dos comandos: *ArcToolbox, Conversion tools, To raster, Feature to raster*. O tamanho estipulado para o pixel foi de 15 metros.

Seguindo as metodologias utilizadas por Valladares *et al.* (2012), Silva (2014) e Neves (2015), e de acordo com a hierarquização definida do menor ao maior potencial erosivo (Tabela 4.4), foram criados pesos, com a soma chegando a 100%, para cada indicador e notas para cada classe determinada. Os pesos respectivos para cada classe seguiram a importância que o atributo desempenha no processo erosivo, a partir de critérios estabelecidos em função do conhecimento técnico sobre o comportamento de cada elemento considerado, frente ao desenvolvimento da erosão.

Existe certa subjetividade nesta concepção, que pode ser ponderada e avaliada a partir de análises comparativas entre diferentes resultados a serem obtidos com a adoção de diferentes pesos e notas a serem atribuídos na álgebra de mapas. Esta investigação, no entanto, não foi contemplada neste trabalho e foi inserida, conforme se verificará adiante, como uma recomendação para trabalhos futuros.

Na hierarquização de indicadores aqui utilizada, de forma correspondente ao procedimento adotado pelos autores acima citados (Valladares *et al.*, 2012; Silva, 2014 e Neves, 2015) para a composição de notas e pesos, foram atribuídos aos indicadores “Declividade” e “Uso e Cobertura do solo”, maiores relevâncias, com pesos considerados de 30% para cada fator. Estes indicadores foram considerados os principais elementos atuantes nos processos de erosão hídrica existentes na localidade mapeada. Com pouca antropização, a declividade assume relevância, pois influencia diretamente na velocidade de escoamento das águas. A forma de

cobertura também é significativa, especialmente ao considerar áreas vegetadas ou descobertas.

O elemento “Solos” vem na sequência, tendo sido atribuído um peso de 25% para este quesito. Ao mesmo tempo em que se constitui no elemento diretamente afetado pelo processo erosivo, sua distribuição acabou por não apresentar grande variação na área mapeada, como será verificado adiante no mapa de solos gerado (Figura 5.7). Diante dos motivos expostos, foi considerado um fator “intermediário” para a suscetibilidade à erosão: não obteve o maior peso (30%), tampouco o menor (15%), tendo recebido um peso intermediário (25%).

Por último, foi considerada a influência de 15% para a distribuição geológica, uma vez que as mesmas encontram-se cobertas pelos solos e pelas condições de cobertura do solo, justificando-se, dessa maneira, o menor peso atribuído (15%). As classes de vegetação não foram consideradas nesta composição, devido à necessidade de maior aprofundamento no estudo de potencial a erosão no solo associado a cada tipo de cobertura vegetal, análise não contemplada neste trabalho.

As notas atribuídas (Tabela 4.4) para cada classe determinada seguiram fundamentos já consolidados na literatura, também seguidos por Silva (2014) e Neves (2015). Foram consideradas maiores influências erosivas em terrenos com maiores declives (indicador: declividade). Assim, foi atribuída nota 1 para as declividades consideradas “muito baixas”, 0 a 3,24°. Nota 2 para as declividades “baixas”, 3,25° a 9,77°, nota 3 para as declividades “médias”, 9,78° a 18°, nota 4 para as declividades “altas”, 18,1° a 30,5° e finalmente nota 5 para as declividades muito altas, superiores a 30,6°.

Para o indicador uso e cobertura do solo, a lagoa de tratamento de esgotos ficou com nota zero, por apresentar condição nula para a erosão. Para a área urbanizada, adotou-se nota 1, para a área vegetada, 2 e para as áreas descobertas, 4, seguindo a tendência de maior suscetibilidade à erosão (Tabela 4.4).

A erodibilidade está relacionada às características específicas do solo, tais como estrutura, porosidade e textura e reflete sua suscetibilidade à erosão, indicando a resistência do solo para a desagregação de partículas pela chuva e o transporte sequente. É mensurada através de proporção de perda de solo por

unidade de erosividade. Wischmeier e Smith (1978), uniformizaram os parâmetros para as estimativas do fator erodibilidade do solo (K), utilizado na EUPS.

Tabela 4.4 - Apresentação dos indicadores, respectivos pesos e notas referentes a cada critério para o mapa de suscetibilidade à erosão.

MAPA DE SUCETIBILIDADE À EROSÃO				
Indicadores	Critérios	Classes determinadas	Notas	Pesos
Declividade	0 a 3,24°	muito baixa	1	0,30
	3,25° a 9,77°	baixa	2	
	9,78 ° a 18	média	3	
	18,1° a 30,5°	alta	4	
	30,6° a 90°	muito alta	5	
Uso e Cobertura do solo	Lagoa de tratamento de esgoto (CAERN)	nula	0	0,30
	Área Urbanizada	muito baixa	1	
	Área de vegetação Natural	baixa	2	
	Área Descoberta	alta	4	
Solos	Neossolos Quartzarênicos	média	2	0,25
	Argissolos Vermelho-Amarelo	média alta	3	
Geologia	Formação Barreiras	média baixa	2	0,15
	Depósitos eólicos litorâneos vegetados	média	3	
	Depósitos eólicos litorâneos não vegetados	alta	5	

Foi estabelecida, como padrão, uma rampa de 22m de comprimento com 9% de inclinação, conservada sem cobertura e sujeita a chuva (natural e/ou artificial). Com esta situação, os fatores L, S, C e P são iguais a 1,0 e $K = A/EI$, e dessa maneira são obtidos os valores do fator K indiretamente, para cada tipo de solo.

Bertoni & Lombardi Neto (2012, *apud* Michette, 2015) propuseram os valores do fator K, para solos do estado de São Paulo, conforme Tabela 4.5. A classificação indica sete classes de solos. A partir destes valores, e com os respectivos valores de K para os solos dos tipos Argissolos Vermelho-Amarelo ($k_1=0,034$) e Neossolos Quartzarênicos ($k_2=0,022$), foram estabelecidas as notas 3 e 2, respectivamente para os Argissolos Vermelho-Amarelo e Neossolos Quartzarênicos, pois a relação $3/2=1,50$ é um valor muito próximo à relação $k_1/k_2=1,55$, que indica a relação de

suscetibilidade à erosão existente entre os dois tipos de solos encontrados na área mapeada (maior potencial erosivo esperado no solo do tipo Argissolos Vermelho-Amarelo face aos Neossolos Quartzarênicos).

Tabela 4.5 - Valores de erodibilidade dos solos (fator K)
(Bertoni & Lombardi Neto, 2012, *apud* Michette, 2015)

VALORES DE ERODIBILIDADE DO SOLO (FATOR K)	
Classes de Solos	K
Latossolos Vermelhos - LV	0,017
Latossolos Vermelho-Amarelos - LVA	0,013
Argissolos Vermelho-Amarelos - PVA	0,034
Nitossolos - NV	0,018
Neossolos Quartzarênicos - RQ	0,022
Neossolos Litólicos - RL	0,050
Gleissolos - G	0,011

Com relação à Geologia, espera-se menor suscetibilidade à erosão da Formação Barreiras, especialmente devido ao alto grau de cimentação entre as partículas, encontrado em diversas camadas deste depósito sedimentar. Esta condição confere maior resistência ao material (Santos Jr. *et al.*, 2008; Severo, 2011), e por esse motivo, a nota estabelecida para a Formação Barreiras foi 2. Na sequência, os depósitos eólicos litorâneos vegetados foram classificados com nota 3, por serem considerados mais suscetíveis à erosão, e finalmente, com maior potencial a erosão, os depósitos eólicos litorâneos não vegetados, recebendo a nota 5.

Finalizada a atribuição de pesos e notas para todos os indicadores e critérios adotados, os valores da tabela de atributos de cada arquivo raster foram reclassificados através dos comandos: *Spatial Analyst, Reclassify* no programa ArcGIS®. A combinação dos mapas de acordo com os pesos atribuídos para cada indicador foi realizado através dos comandos *Spatial Analyst, Raster Calculator*. Com os comandos *Symbology* e *Classified* foram ajustadas as classes geradas.

Os indicadores, critérios, classes determinadas, respectivas notas e pesos de cada indicador estão apresentados na Tabela 4.4.

O resultado da álgebra de mapas apresentou valores (*labels* em inglês no programa ArcGIS®) resultantes entre 1,25 e 4,20 (Tabela 4.6). As classes de suscetibilidade à erosão foram definidas em número de cinco, e os respectivos

intervalos distribuídos através do método matemático de classificação reconhecido como de Quebras Naturais (também denominado método *Natural Break* ou *Jenks*), do programa ArcGIS®.

O programa ArcGIS® disponibiliza cinco métodos diferentes para classificação dos dados: Intervalo idêntico, Quebras Naturais (*Jenks*), Desvio Padrão, Quantil e Quebras manuais. Esta classificação de dados deve auxiliar a representatividade das classes de maneira a melhor retratar as feições e a aparência da camada, para que feições com valores semelhantes estejam na mesma classe (ArcGIS®, 2017).

Para a obtenção do melhor resultado possível, os dados obtidos pela álgebra de mapas foram classificados e examinados para os seguintes métodos oferecidos pelo programa ArcGIS®: Intervalo idêntico, Quebras Naturais (*Jenks*), Desvio Padrão e Quantil. O método que resultou nos melhores resultados em termos de representatividade das diferentes classes de suscetibilidade à erosão foi o de Quebras Naturais (*Jenks*), pois este retratou melhor a realidade da área. Segundo Rodrigues (2008, *apud* Magri, 2013), o Método de Quebras Naturais faz uso de um algoritmo estatístico baseada na variabilidade, denominada de otimização *Jenk*, minimizando a soma da variância dentro de cada uma das classes, e dessa maneira identificando as diferenças relativamente grandes entre as classes de uma população de dados.

Segundo o próprio site do programa ArcGIS®, o método de Quebras Naturais é assim definido:

“As classes de Quebras Naturais são baseadas em agrupamentos naturais inerentes aos dados. As quebras de classe que agrupam valores semelhantes e que maximizam as diferenças entre classes - por exemplo, altura da árvore em uma floresta nacional - são identificadas. As feições são divididas em classes cujos limites são configurados onde existem diferenças relativamente grandes nos valores de dados. Pelo fato da classificação de quebras naturais adicionar valores na mesma classe, este método serve para mapeamento dos valores de dados que não estão uniformemente distribuídos” (ArcGIS®, 2017).

A respectiva correlação entre as classes de suscetibilidade à erosão laminar do solo e cada intervalo são apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Apresentação dos intervalos resultantes da álgebra de mapas e respectivas classes definidas para o mapa de suscetibilidade à erosão.

Classes	Intervalos (Labels)
Baixa	1,25 - 1,94
Média Baixa	1,94 - 2,29
Média	2,29 - 2,85
Média Alta	2,85 - 3,30
Alta	3,30 - 4,20

CAPÍTULO 5

Resultados e Discussões

5.1 Sondagens de simples reconhecimento (SPT)

Segundo os perfis de sondagens (Anexo 02), os solos possuem tonalidades com coloração viva, variando desde marrom, amarela, a branca até a classificação preta, amarela e branca. A classificação do material indicou uma grande homogeneidade no quesito granulométrico, abrangendo areia fina nas camadas examinadas.

Os menores valores de N_{SPT} foram encontrados nas camadas superficiais, com quatro golpes até 3,0 m de profundidade, praticamente para os três furos, demonstrando menores resistências dessas camadas superficiais. O N_{SPT} é baixo até a profundidade média de 5,0 metros. O índice de resistência à penetração indica o grau de compactidade das areias e siltes arenosos, da categoria de fofa para muito compacta. Enquanto este índice correlaciona a consistência das argilas e siltes argilosos, da condição de muito mole a dura. Os valores do índice de resistência à penetração apresentaram-se aproximadamente lineares ao longo do perfil, com crescimento gradativo da resistência à penetração com o incremento da profundidade, devido à maior compactidade das areias. Não foi verificado crescimento considerável até a profundidade média de 12,0 metros. A partir deste valor verifica-se um aumento expressivo da resistência do solo.

Na coluna de perfil geológico constante no Anexo 02, as penetrações atingiram o limite impenetrável à percussão nas profundidades respectivas de 15, 11 e 16 metros para os três diferentes furos SPT 01 a 03 e para o três furos não foi atingido o nível freático. Esta condição de finalização do procedimento levou aos maiores valores de N_{SPT} obtidos de 64, 46 e 56. O limite impenetrável é uma das três condições para a finalização do procedimento de sondagem. O alcance à profundidade especificada na programação do procedimento do serviço e eventuais desmoronamentos sucessivos da parede do furo compõem as outras duas condições para a conclusão dos trabalhos.

Na coluna de classificações do material, constante no Anexo 02, foram obtidos os perfis do subsolo, além das representações do perfil demonstrando as diferenças de coloração ao longo da profundidade. De um modo geral, das camadas superiores para as inferiores as variações ocorreram na sequência: areia fofa com silte, areia pouco compacta com silte, areia medianamente compacta com silte, areia compacta com silte, areia muito compacta com silte e areia muito compacta com silte e pedregulho. Para os três furos executados os perfis demonstraram pouca variação no material, exceto com relação à coloração das areias.

5.2 Produtos cartográficos gerados

São apresentados a seguir os mapas temáticos elaborados em ambiente SIG, a partir do levantamento e estudo de mapas prévios, processo de fotointerpretação, visitas de campo, incluindo um sobrevôo sobre a área avaliada, além de estudos realizados a partir da bibliografia associada.

5.2.1 Mapa de Altitude

Foram estabelecidas para o mapa de Altitude (Figura 5.1 e Tabela 5.1) oito classes diferentes para os valores de cotas altimétricas. As maiores altitudes identificadas na área variam entre 91 e 105 metros e ocorrem no entorno do Morro do Careca, situado na região nordeste do mapa, bem como em outra área menor situada a sudeste, e representam apenas 0,47% da área mapeada. Na faixa litorânea, assim como na região sudoeste da área - onde existe na proximidade a Lagoa do Jiqui – são observadas os menores índices de altitude. Embora a Lagoa do Jiqui situe-se fora da delimitação do CLBI, sabidamente trata-se de uma planície fluvial, forma de relevo predominantemente com baixas elevações.

A faixa de altitude que abrange a maior porção da área mapeada varia entre 33,5 e 48 metros, e representa pouco mais de metade de toda a área, abrangendo 56,39% da superfície mapeada. Na sequência o intervalo de 48 a 62 metros estende-se por 15,54% da área.

Modelo Digital de Elevação

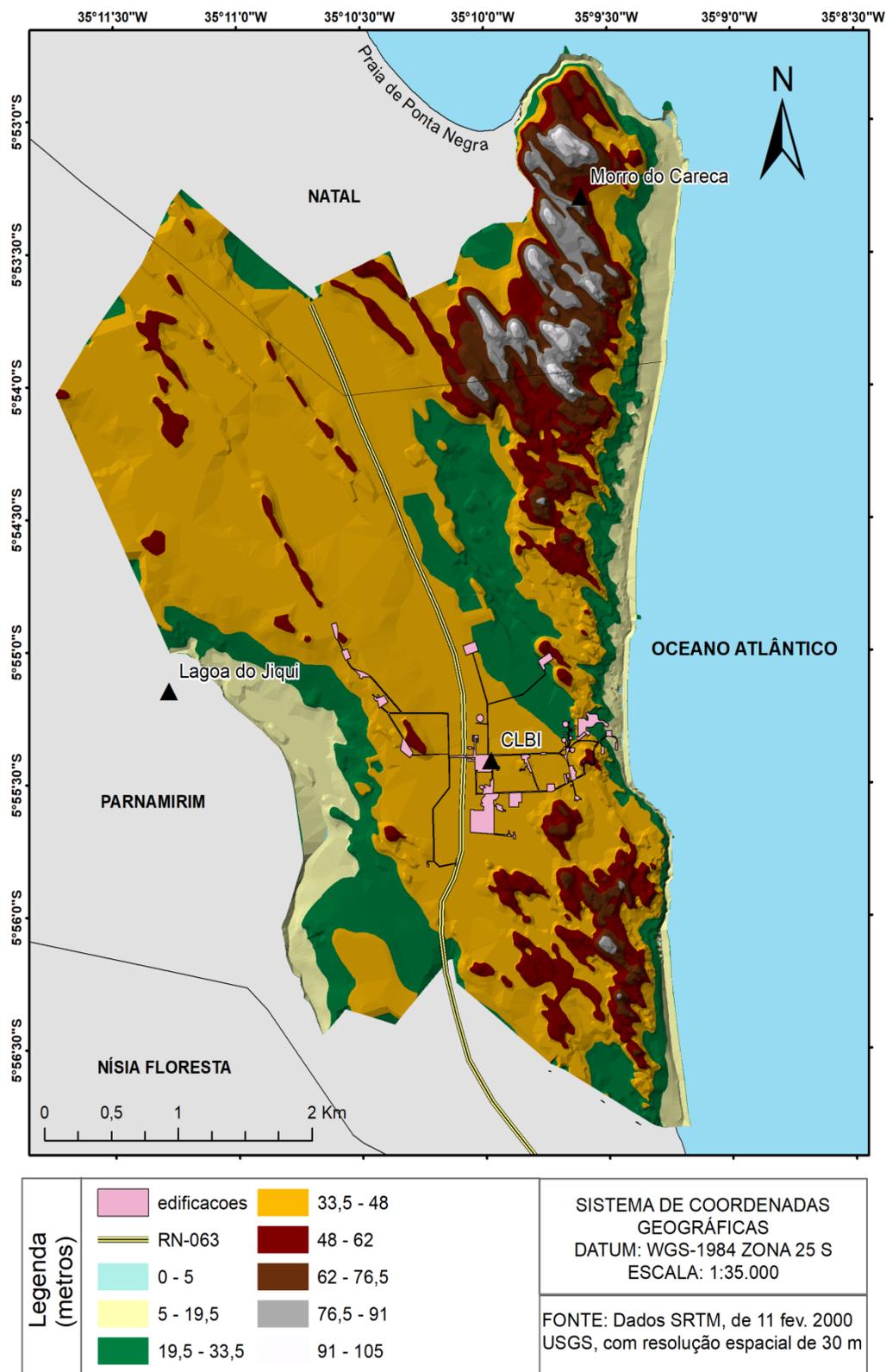


Figura 5.1 - Mapa de Altitude (metros) do CLBI, escala 1:35.000.

Tabela 5.1 - Apresentação das classes de altitude, respectivas áreas e percentuais representativos na área mapeada

MAPA DE ALTITUDE		
Classes	Área (m²)	%
0 - 5	151.496,97	0,77%
5 - 19	1.054.564,49	5,327%
19 - 33,5	2.557.705,60	12,92%
33,5 - 48	11.163.461,41	56,39%
48 - 62	3.077.481,24	15,54%
62 - 76,5	1.055.474,39	5,331%
76,5 - 91	644.658,28	3,26%
91 - 105	93.263,90	0,47%
TOTAL	19.798.106,28	100%

Com área próxima, o intervalo 33,5 - 48 metros vem logo depois, com 12,92%, seguido pelos intervalos 62 - 76,5 e 5 - 19 metros, com áreas aproximadamente equivalentes, representando, cada uma, 5,33% da área mapeada. Os intervalos de altitudes com menores áreas, 76,5 - 91, 0 - 5 e 91 - 105 metros, abrangem os percentuais de áreas respectivos de 3,26%, 0,77% e 0,47%, conforme se verifica na Tabela 5.1.

Acompanhando toda a linha de costa da área em estudo, com exceção do trecho de falésias vivas, com maiores cotas, a faixa de areia de toda a extensão da praia possui menores altitudes. Tratam-se das planícies costeiras citadas por Muehe (1998) como superfícies relativamente planas, de baixa altitude, situadas junto ao mar e com formação proveniente da deposição de sedimentos marinhos e fluviais. Especialmente na região Nordeste possuem largura estreita, limitando-se entre o oceano e os taludes dos depósitos sedimentares da Formação Barreiras.

Segundo Cunha (2004), a linha de costa da região foi delineada a partir da associação das forças das ondas, das correntes marítimas e da intensa ação dos ventos. O mesmo autor descreve morfologicamente as praias com baixa a média inclinação, e de configuração não estável, efeito dos mecanismos hidrodinâmicos costeiros (ondas e correntes).

5.2.2 Mapa de Declividade

O Mapa de declividade em graus (Figura 5.2 e Tabela 5.2) foi dividido em cinco classes representativas calibradas para os valores: 0 - 2,5°; 2,5° - 5,0°; 5,0° - 10,0°, 10,0° - 15,0° e 15,0° - 44,36°, considerados os melhores intervalos representativos.

Os maiores valores de declividade compreendem o intervalo entre 15,0° e o valor máximo de declividade encontrado na área, que é de 44,36 graus. As maiores declividades ocorrem na área das dunas vegetadas e não vegetadas (setor nordeste do mapa, na região do Morro do Careca) e na área das falésias, exatamente onde são verificados os desníveis abruptos no relevo, presentes em praticamente toda a costa da área estudada. São encontradas também altas declividades em áreas de dunas vegetadas dispostas no setor oeste e sudoeste do mapa. Este último intervalo, compreendido entre 15,0° e 44,36° representa pouco mais de 1% da área.

Tabela 5.2 - Apresentação das classes de declividade, respectivas áreas e percentuais representativos na área mapeada.

MAPA DE DECLIVIDADE		
Classes	Área (m²)	%
0 - 2,5°	10.548.431,03	53,28%
2,5° - 5,0°	5.442.499,42	27,49%
5,0° - 10,0°	2.924.180,30	14,77%
10,0° - 15,0°	681.054,86	3,44%
15,0° - 44,36°	203.920,49	1,03%
TOTAL	19.798.106,28	100%

O valor de declividade que abrange a maior área pertence ao intervalo entre 0 e 2,5 graus, com área percentual de 53,28%, seguido e permeado, na superfície estudada, pelo intervalo 2,5 e 5,0 graus, que possui 27,49% de ocupação, demonstrando a predominância de baixas declividades na área mapeada, conforme se verifica na Tabela 5.2. As menores declividades são encontradas na área central do mapa, no setor sudoeste e em área expandida a noroeste da região. Para Guerra (1998), estas amplitudes do relevo e suas correspondentes variações topográficas são consequência de processos erosivos e deposicionais ocorridos ao longo do tempo através de ações das águas e ventos, associados ao elemento gravitacional.

Mapa de Declividade

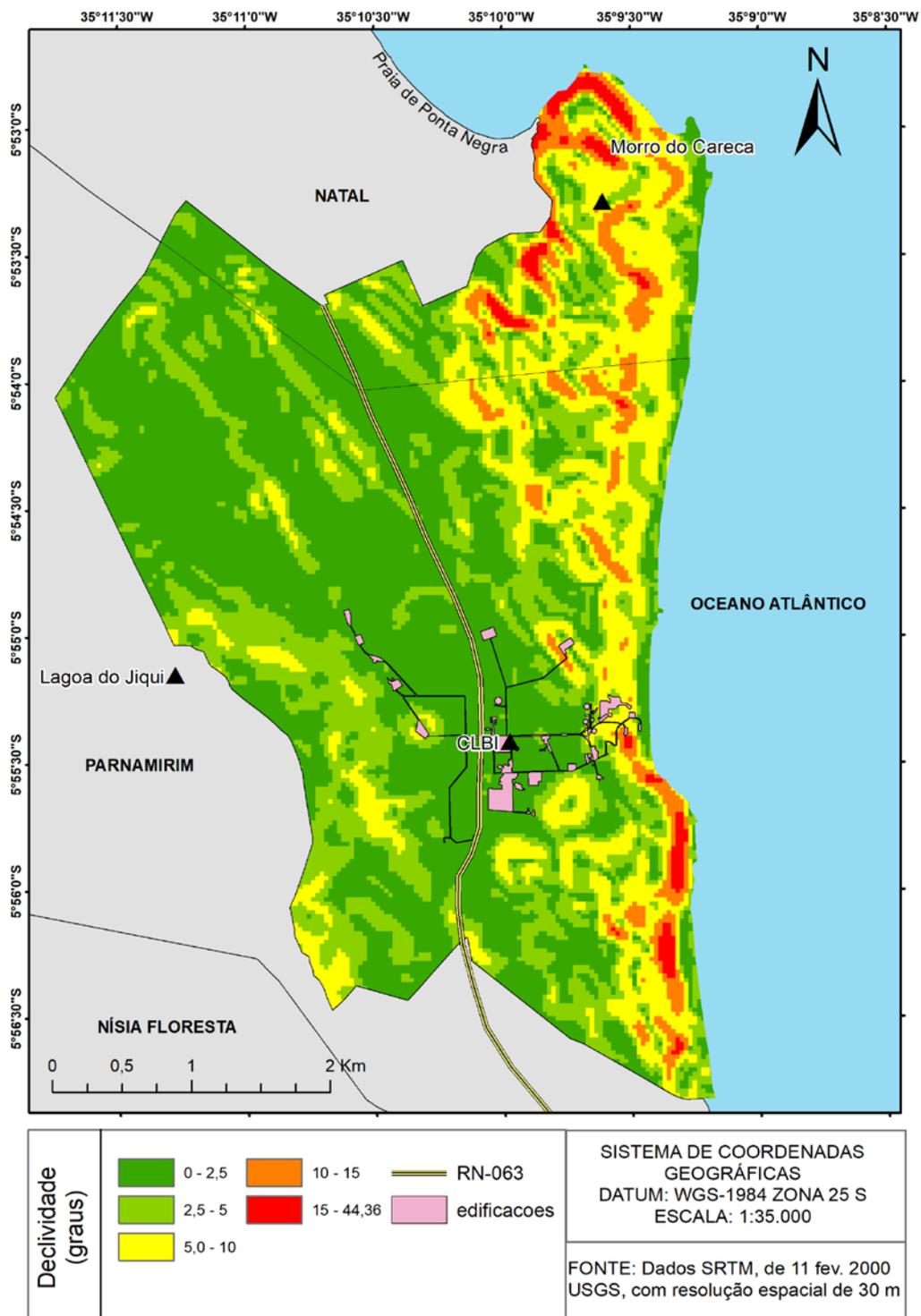


Figura 5.2 - Mapa de Declividade (em graus) do CLBI, escala 1:35.000.

As maiores declividades associadas aos maiores comprimentos de rampa reúnem as condições para as maiores taxas de erosão em comparação a terrenos mais planos e com as mesmas condições de chuva e de solo. As formas geométricas do relevo e respectivos gradientes topográficos resultarão na ação de processos erosivos ou deposicionais na área (Netto, 1998). No entanto, a superfície mapeada apresenta baixos percentuais de áreas expondo declividades elevadas: as declividades com intervalos $5,0^{\circ}$ a 10° , 10° a 15° e 15° a $44,36^{\circ}$ graus ocupam, respectivamente, 14,77%, 3,44% e 1,03% (Tabela 5.2).

5.2.3 Mapa de Geologia

O mapa de Geologia (Figura 5.3) revela a predominância de cobertura dos Depósitos eólicos litorâneos vegetados (Figura 5.4 A), e relacionam-se às dunas fixas mais antigas (código N4elv), ocupando grande parte da área mapeada (87,30%), de acordo com a Tabela 5.3.

Os depósitos eólicos litorâneos não vegetados (Figura 5.4 B) e os depósitos litorâneos de praias (Figura 5.5 A), tal como foram descritos no Mapeamento do RN (CPRM, 2006) foram agrupados neste trabalho em uma única unidade estratigráfica, de código N4eln, como se verifica na Figura 5.3. Ocupam 6,62% da área mapeada (Tabela 5.3) e localizam-se na porção do extremo leste da área mapeada, em contato com o oceano.

Os depósitos de praia ocorrem em estreita faixa paralela à linha de costa e são compostos por areias esbranquiçadas de granulação fina a grossa, quartzosas e limpas. As dunas móveis são constituídas por areias esbranquiçadas de granulometria fina a média, bem selecionadas, com grãos arredondados. Exibem formas de relevo que se sobressaem na paisagem, com pouca ou nenhuma vegetação. Concentram-se na região oriental do mapa, evoluindo para a região do Morro do Careca, onde se concentram as dunas mais novas descobertas de vegetação. Estas dunas diferenciam-se das dunas vegetadas não só pela textura, mas também pela coloração.

Os depósitos quaternários eólicos apoiam-se nos sedimentos da Formação Barreiras (Cunha, 2004; Severo, 2011) e são formados nos locais onde a velocidade do vento e a disponibilidade de areias praias de granulometria fina são adequadas para o transporte e deposição eólica (Muehe, 1998).

Destacando-se no extremo sudoeste do mapa, bem como afloramentos que surgem em forma de falésias e representando 6,08% da área, aparecem os sedimentos da Formação Barreiras (Figura 5.5 B). O Mapeamento Geológico do RN (CPRM, 2006) retrata estes depósitos sedimentares como coberturas continentais cenozoicas representadas por sedimentos siliciclásticos do Paleógeno-Neógeno de código estratigráfico Enb.

Araújo *et al.* (2006) realizaram estudo das Fácies e Sistema Depositional da Formação Barreiras exatamente nas falésias da área de estudo e concluíram que o sistema fluvial meandrante de granulometria grossa melhor representaria o depósito. Este entendimento foi resultado da análise de associações das fácies analisadas e de condições climáticas específicas, contrariando alguns autores que defendem a alternativa de um sistema deposicional entrelaçado de leque aluvial e fluvial.

De acordo com Cunha (2004), as falésias consistem em feições abruptas talhadas no relevo da Formação Barreiras. Constituídas de conglomerados de arenitos incrustados de grãos e grânulos angulosos de quartzo, são fortemente cimentadas por hidróxidos de ferro, resultando em uma unidade de suporte duro e resistente.

Na condição de exposição direta à ação marinha constituem-se nas falésias “ativas” ou “vivas”, e nesse caso a formação sofre constantemente os efeitos hidrodinâmicos das ondas e das marés. Em posições mais distantes ou elevadas são denominadas falésias “mortas”.

A área mapeada possui um afloramento de falésias com exposição aproximada de 1,8 km, de altura variável, atingindo até 20 metros na parte central do Centro de Lançamento. A cor avermelhada do afloramento sedimentar da Formação Barreiras é resultado da cimentação ferruginosa e justifica a coloração que leva ao nome das falésias da região.

Mapa de Geologia

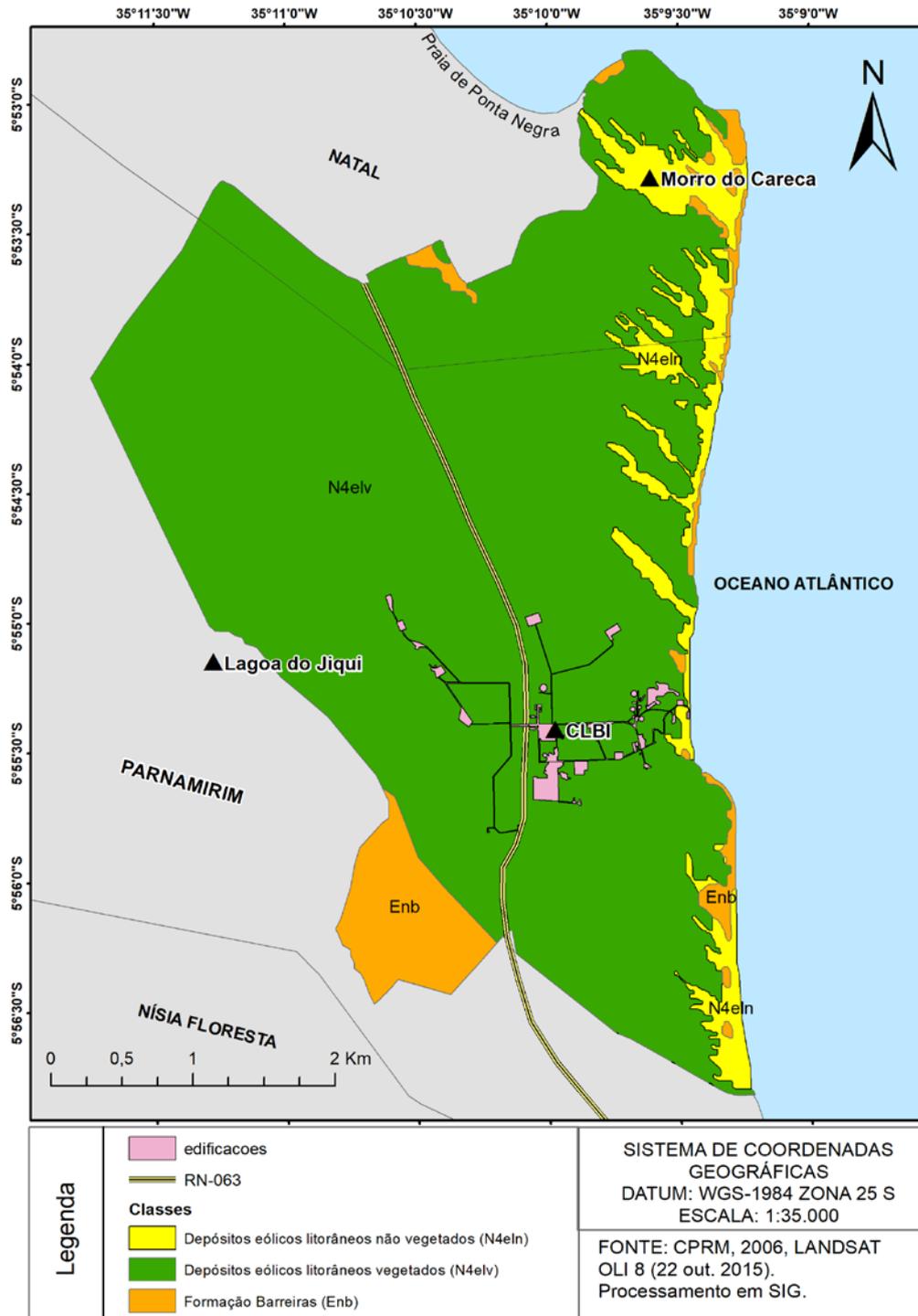


Figura 5.3 - Mapa de Geologia do CLBI, escala 1:35.000.

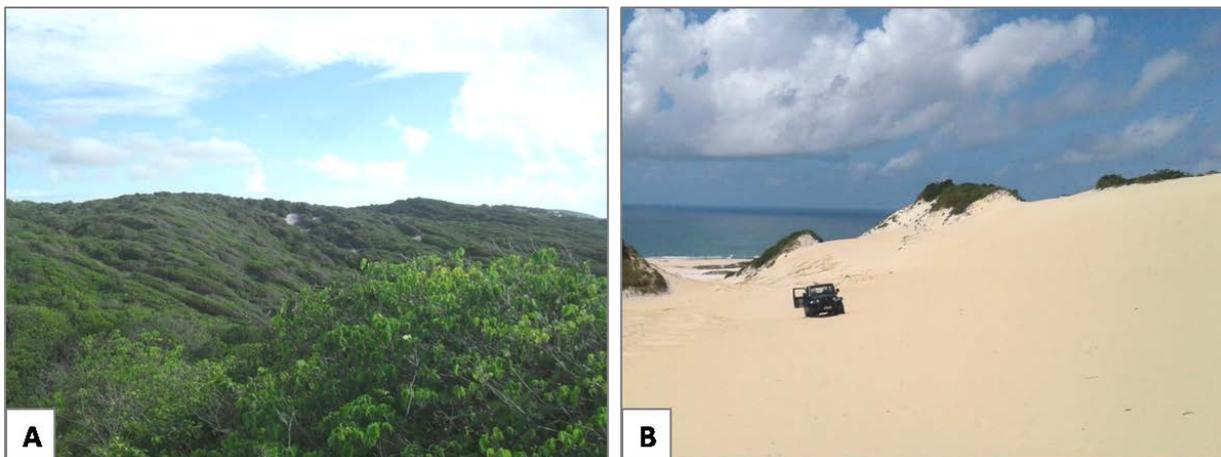


Figura 5.4 – Perspectiva dos depósitos eólicos litorâneos vegetados (A) e depósitos eólicos litorâneos não vegetados (B).



Figura 5.5 - Depósitos litorâneos de praias (A) e afloramento sedimentar da Formação Barreiras (B).

Tabela 5.3 - Feições geológicas e respectivas representatividades na área de estudo.

GEOLOGIA		
Classes	Área (m ²)	%
Formação Barreiras (Enb)	1.203.724,86	6,08%
Depósitos eólicos litorâneos vegetados (N4elv)	17.283.746,78	87,30%
Depósitos eólicos litorâneos não vegetados (N4eln)	1.310.634,64	6,62%
TOTAL	19.798.106,28	100%

5.2.4 Mapa de Geomorfologia

A geomorfologia na área de estudo é identificada por configurações com baixa variação altimétrica devido à ação de diversos agentes naturais intensos como os ventos e ações oceanográficas. Baixas ações antrópicas ocorrem na área, porque ela é protegida pela Organização (Barbosa, 2017). Toda a área é considerada de Segurança Nacional de interesse estratégico da União e essencial para a missão desempenhada pelo CLBI.

Foram verificados pontos naturalmente sem vegetação (Figura 5.6), com alto grau de erodibilidade, onde a erosão laminar atua com maior intensidade. Caso sejam extraídas as coberturas vegetais nas regiões vegetadas – como será verificado na tabela do mapa de vegetação (Tabela 5.6), pouco mais de 90% da área mapeada é vegetada – associada à alta erodibilidade dos solos arenosos (Tabela 2.1) em época de chuvas concentradas, certamente estas áreas serão levadas a processos erosivos acelerados. Daí a importância de manutenção desta proteção da área.

O mapa de geomorfologia (Figura 5.6) segue a distribuição do mapa geológico (Figura 5.3) no que tange a distribuição de classes na área mapeada, apontando aproximadamente 87,30%, 6,62% e 6,08% respectivamente das seguintes formas de relevo: Dunas fixas (vegetadas), que correspondem aos depósitos eólicos litorâneos vegetados do mapa de geologia (Figura 5.4 A), Dunas móveis (não vegetadas), referindo-se aos depósitos eólicos litorâneos não vegetados na geologia (Figura 5.4 B) e Tabuleiros Costeiros, relacionados à Formação Barreiras (Figura 5.5 B) de acordo com a Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Feições geomorfológicas e respectivas representatividades na área de estudo.

GEOMORFOLOGIA		
Classes	Área (m²)	%
Tabuleiros Costeiros (Tbc)	1.203.724,86	6,08%
Dunas Fixas (Adef)	17.283.746,78	87,30%
Dunas Móveis (Ade)	1.310.634,64	6,62%
TOTAL	19.798.106,28	100%

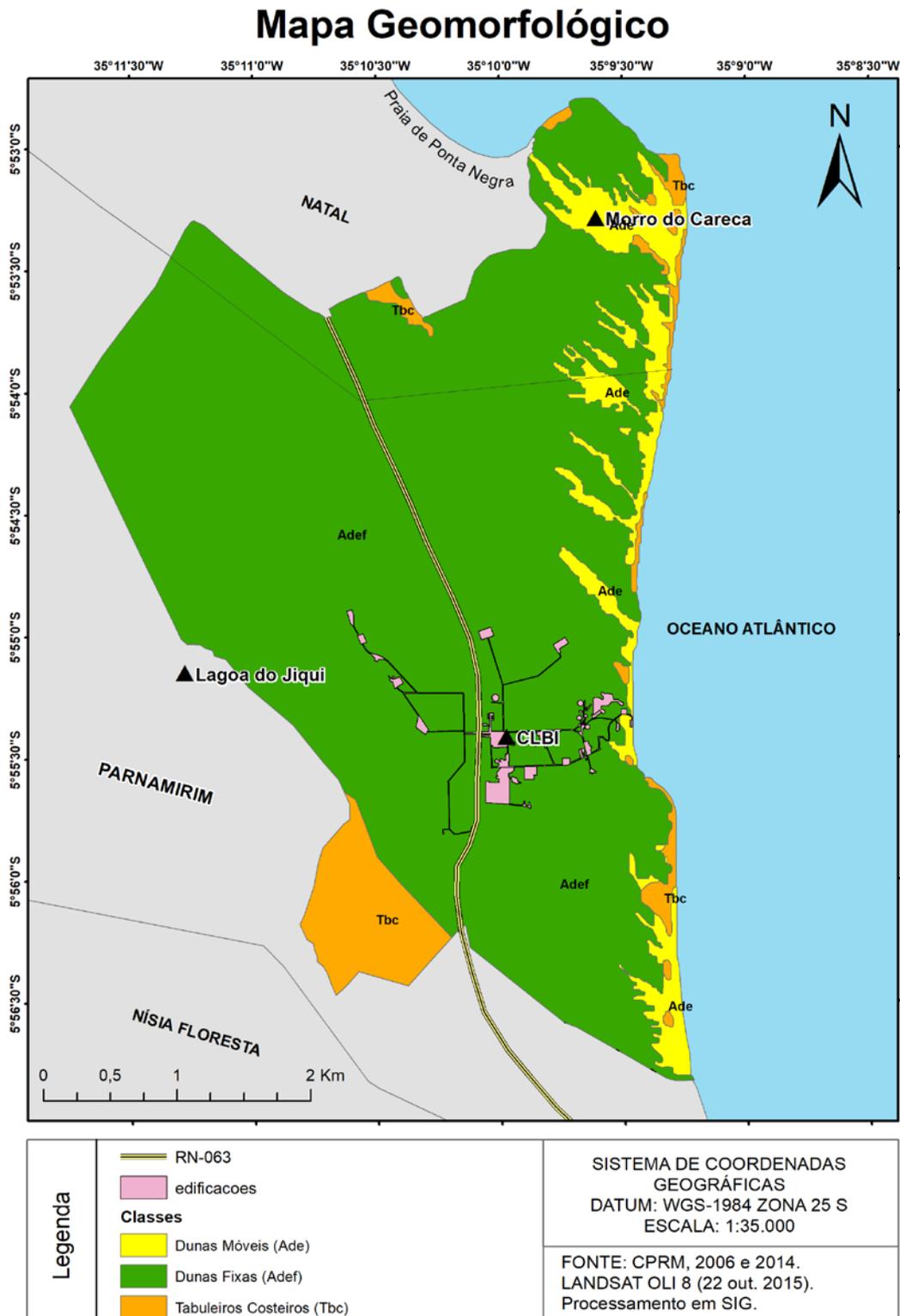


Figura 5.6 - Mapa de Geomorfologia do CLBI, escala 1:35.000.

5.2.5 Mapa de Solos

Como já era esperado, devido à intensa presença de dunas na área litorânea de estudo, a maior proporção de solo encontrada foi de Neossolos Quartzarênicos (código RQ) (Figura 5.7) atingindo 82,83% da área mapeada (Tabela 5.5). De idade quaternária, são provenientes de sedimentos areno-quartzoso marinhos, depositados pela ação eólica, constituídos basicamente de quartzo, com baixa fertilidade natural. São identificados como bem drenados e porosos, resultando em boa tendência de infiltração de águas pluviais e consequente armazenamento das águas pelas dunas, alimentando o aquífero Dunas-Barreiras. Formadas por areias quartzosas de cores amareladas a acinzentadas apresentam feições dunares descobertas e com cobertura vegetal essencialmente herbácea e arbustiva.

Quanto aos aspectos pedológicos, foram identificados os solos nas proporções apresentadas na Tabela 5.5:

Tabela 5.5 - Solos e respectivas representatividades na área de estudo.

SOLOS		
Classes	Área (m²)	%
Neossolos Quartzarênicos (RQ)	16.399.182,52	82,83%
Argissolos Vermelho-Amarelo (PVAd)	3.398.923,76	17,17%
TOTAL	19.798.106,28	100,00%

Em menor proporção (17,17%), o argissolo vermelho-amarelo (PVAd) distribui-se basicamente ao sul e, em menor extensão, a oeste em porção central da área estudada. Possui sedimentos arenosos, areno-argilosos e areno-siltosos e é encontrado ao longo das drenagens existentes na Formação Barreiras. Caracteriza-se como um solo mineral pouco evoluído, formado a partir de depósitos aluviais e com melhor fertilidade natural quando comparado a areia quartzosa.

Os Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA) apresentam alta suscetibilidade à erosão (Michette, 2015), recomendando-se maior cuidado quanto a sua utilização e manejo, sugerindo-se a adoção de práticas conservacionistas. Colaborando com esta análise, os fatores K de erodibilidade do solo indicados na Tabela 4.5 possuem os valores 0,034 para os Argissolos Vermelho-Amarelos e 0,022 para os Neossolos Quartzarênicos.

Mapa de Solos

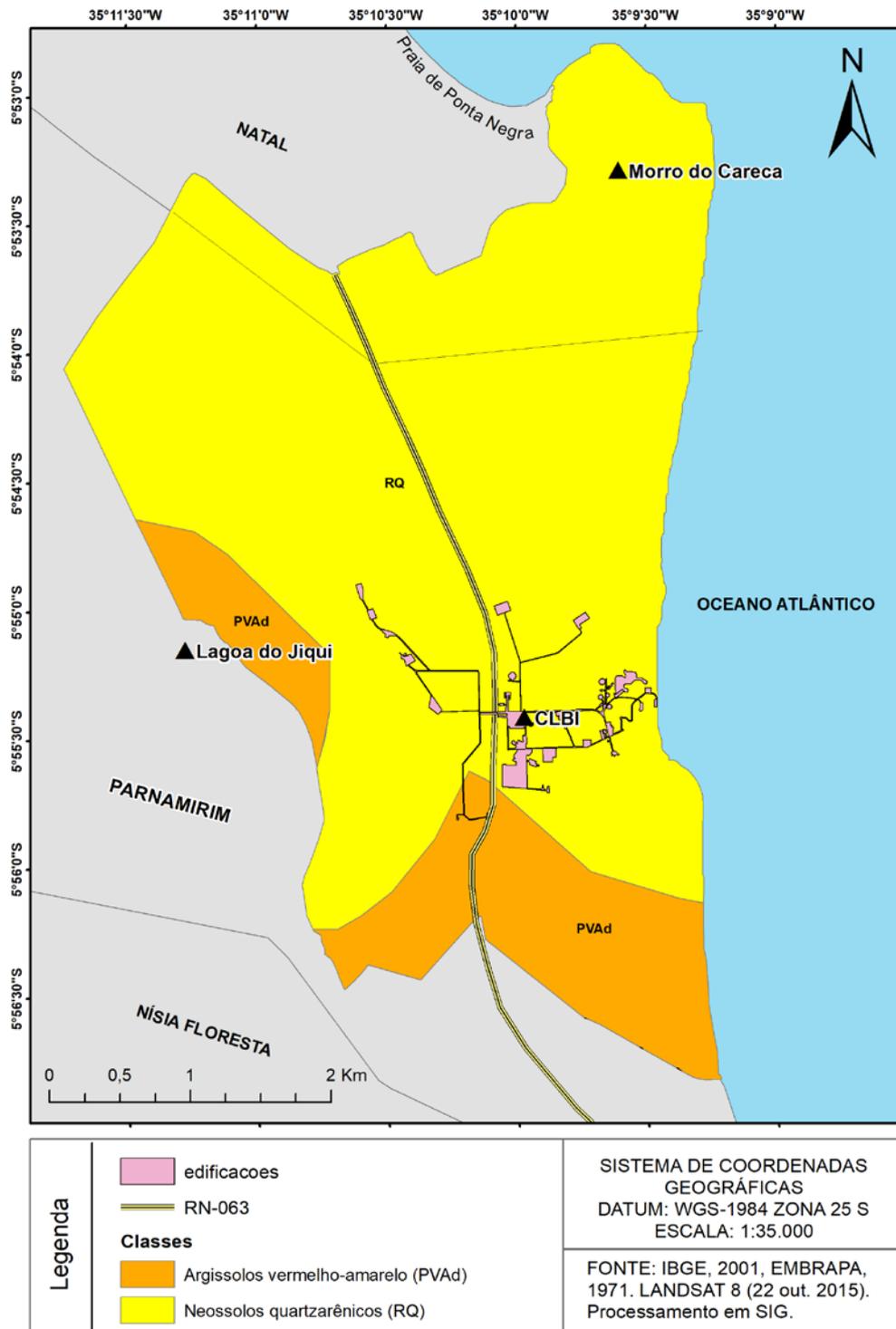


Figura 5.7 - Mapa de Solos do CLBI, escala 1:35.000

Vale destacar, entretanto, que a análise de erodibilidade dos solos deve integrar diversos elementos inerentes relacionados aos processos erosivos, tais como a capacidade de armazenamento de água, infiltração e permeabilidade, além da resistência ao efeito *splash*, às forças de dispersão, abrasão, e transporte por escoamento (Bertoni & Lombardi Neto, 2005).

Analisando as condições apresentadas pela litologia, os solos da área mapeada são, de forma geral, suscetíveis a processos erosivos. Esta condição é potencializada nas áreas de maior declive. Por isso a importância da manutenção das coberturas vegetais para a preservação do solo face a este problema.

5.2.6 Mapa de Vegetação

Conforme se verifica no mapa Figura 5.8, a maior classe de vegetação da área em estudo é a restinga arbustiva (conforme Figura 3.14 e encerrando a área de 45,6%), seguida pela savana arborizada (Figura 3.16), com 43,54% da área. O total de área vegetada atinge 89,99%, ocorrendo apenas 10,01% de área sem vegetação (Tabela 5.6).

A parcela não vegetada engloba as dunas móveis, o solo naturalmente exposto e a área urbanizada, resultado de pequena atividade antrópica na área estudada (edificações, ruas, acessos e demais intervenções). Com menor representação, encontra-se a restinga herbácea (Figura 3.15), atingindo 0,84% da área mapeada.

Os tipos de vegetação encontrados neste mapeamento correspondem aos estudos anteriores, e alinham-se em especial ao Laudo pericial solicitado pelo Ministério Público do Estado do Rio Grande do Norte à Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Este documento analisou as implicações ambientais e urbanísticas decorrentes das propostas de regulamentação da zona de proteção ambiental 06 (ZPA 06), de acordo com as proposições da Lei Complementar nº 082, de 21 de Junho de 2007, do município de Natal/RN.

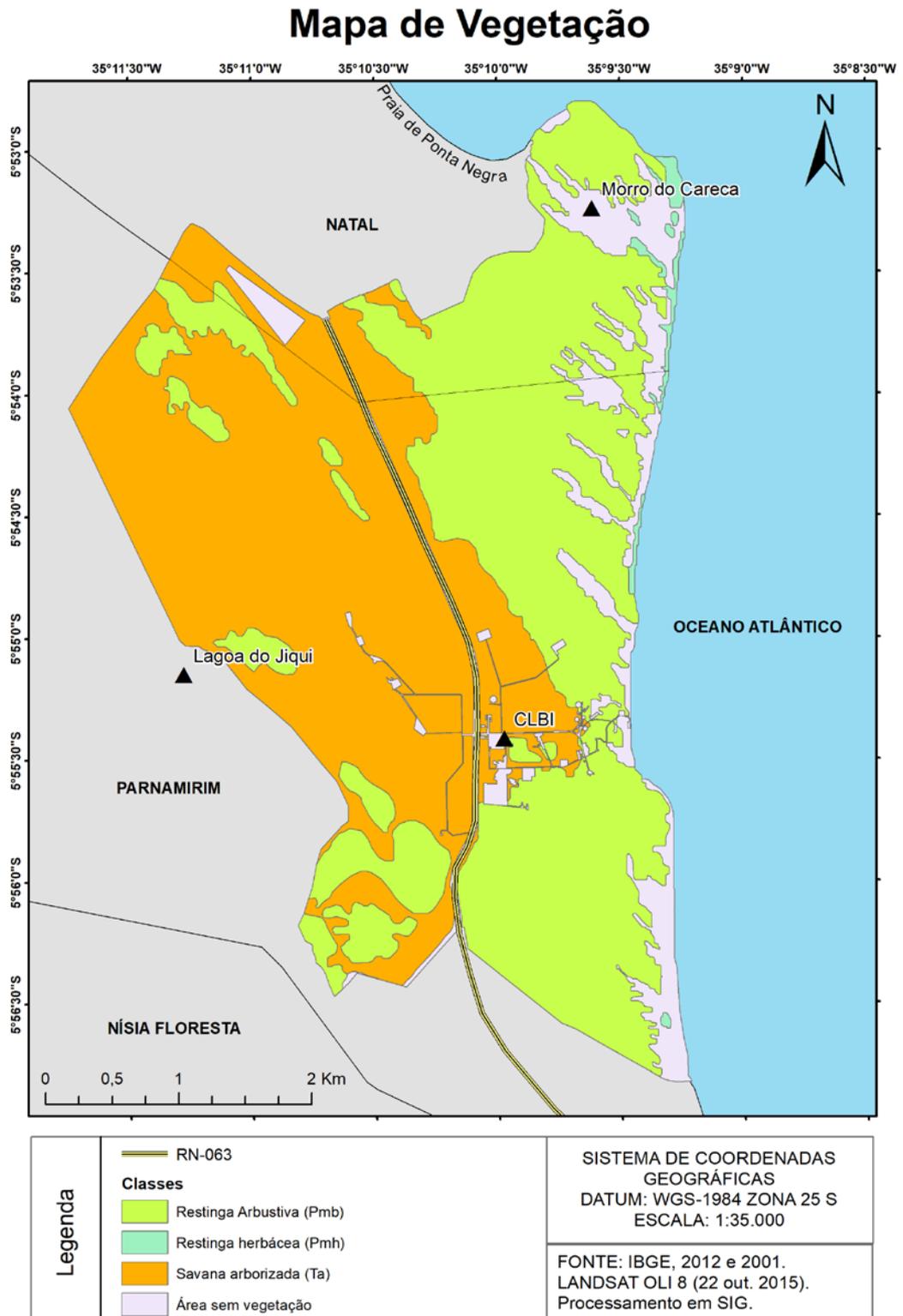


Figura 5.8 - Mapa de Vegetação do CLBI, escala 1:35.000.

Tabela 5.6 - Feições vegetadas e respectivas representatividades na área de estudo.

VEGETAÇÃO		
Classes	Área (m²)	%
Restinga Arbustiva (Pmb)	9.027.936,46	45,60%
Savana arborizada (Ta)	8.620.095,47	43,54%
Área sem vegetação	1.981.790,44	10,01%
Restinga herbácea (Pmh)	168.283,90	0,85%
TOTAL	19.798.106,28	100%

5.2.7 Mapa de Uso e Cobertura do Solo

Com relação ao processo de ocupação da área estudada, salvo pequenas expansões construtivas recentemente executadas no setor leste, toda a superfície da área militar foi mantida praticamente com a mesma configuração desde a sua criação, ocorrida em outubro de 1965.

Na área estudada é possível determinar as seguintes categorias de uso e cobertura do solo: área descoberta, área urbanizada, área vegetada e uma lagoa de tratamento de esgoto da CAERN (Figura 5.9). Pela extensão, a cobertura vegetal desempenha uma importante função na paisagem.

A Tabela 5.7 abaixo retrata aproximadamente 90,30% de toda a área vegetada, e apenas 1,97% urbanizada. Para uma capital de estado em franco desenvolvimento, o percentual naturalmente vegetado pode ser considerado alto, e como já foi indicado, é resultado da proteção desempenhada pela unidade militar a fim de obter as condições de trabalho para sua atividade-fim.

A lagoa de tratamento de esgoto inserida na área configura-se sob a responsabilidade da CAERN, concessionária local para fornecimento de água e tratamento de esgotos e ocupa uma área aproximada total de 99.420 metros quadrados, que corresponde a 0,50% da área mapeada. Esta área foi cedida a Companhia de Saneamento através de um contrato de cessão de uso, segundo informações cedidas pela Seção de Patrimônio da unidade militar (2017). A área descoberta representa as dunas não vegetadas e o afloramento da Formação Barreiras, situados no extremo leste da área, com 7,23% da área estudada.

Mapa de Uso e Cobertura do Solo

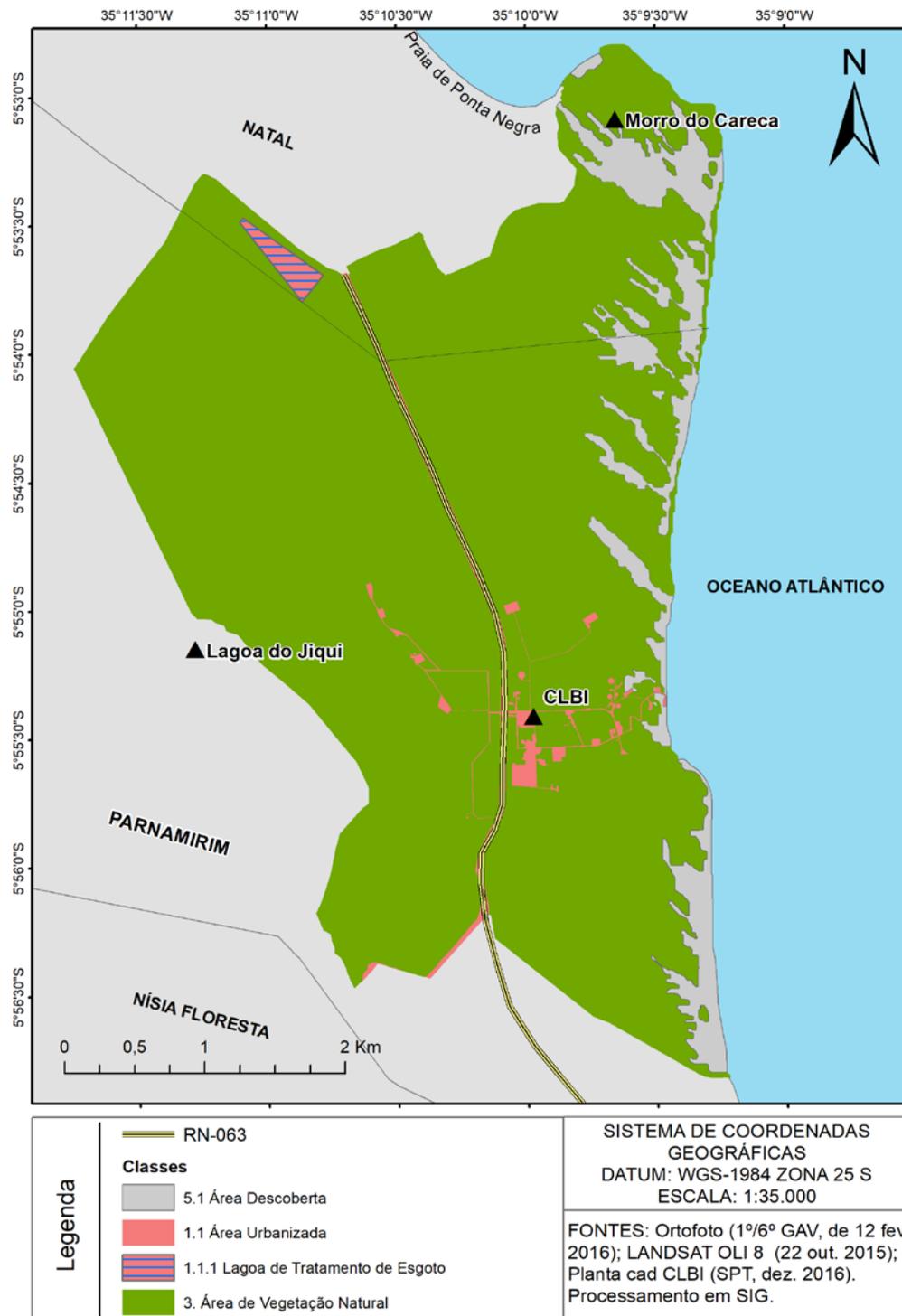


Figura 5.9 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo do CLBI, escala 1:35.000.

Tabela 5.7 - Classes de uso e cobertura dos solos e respectivas representatividades na área de estudo.

USO E COBERTURA DO SOLO		
Classes	Área (m ²)	%
Área Vegetada	17.877.689,97	90,30%
Área descoberta	1.431.403,08	7,23%
Área urbanizada	390.022,69	1,97%
Lagoa de Tratamento de Esgoto (CAERN)	98.990,53	0,50%
TOTAL	19.798.106,28	100%

5.3 Mapa de Suscetibilidade à erosão

Como pode ser verificado na Figura 5.10, as cores avermelhadas indicam as áreas com maiores potenciais de erosão, enquanto as cores esverdeadas indicam as áreas com menores riscos de erosão. De acordo com o exposto no item: “4.5 - Elaboração da carta de suscetibilidade”, e verificado na Tabela 5.8, os valores numéricos resultantes da álgebra de mapas foram traduzidos em indicadores qualitativos, agrupando a legenda em cinco classes com diferentes suscetibilidades à erosão: baixa, média baixa, média, média alta e alta.

Tabela 5.8 - Classes e respectivas definições de suscetibilidade, com as áreas e percentuais representativos na área de estudo.

MAPA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO			
Labels	Definição	Área (m ²)	%
1,25 - 1,94	Baixa	7.944.980,05	40,13%
1,94 - 2,29	Média Baixa	5.557.328,43	28,07%
2,29 - 2,85	Média	4.642.655,92	23,45%
2,85 - 3,30	Média Alta	686.994,29	3,47%
3,30 - 4,20	Alta	968.127,40	4,89%
TOTAL		19.798.106,28	100%

Constata-se a partir da análise do mapa de potencial erosivo em conjunto com a tabela acima, o predomínio da suscetibilidade baixa, que representa 40,13% da área mapeada, seguida da média baixa suscetibilidade à erosão, com 28,07% da área. Juntas, a baixa e média baixa classes atingem 68,20% da área, indicando um baixo potencial à erosão na unidade. Estes resultados derivam principalmente do predomínio de baixas declividades detectadas na área do CLBI, conforme exposto na análise do mapa de declividades (Figura 5.2), associadas à predominância de

áreas de vegetação natural, que funciona como protetora dos solos contra o desenvolvimento de processos erosivos. Esta associação de baixa declividade em áreas vegetadas é verificada na paisagem típica da Figura 5.11, preponderante no setor oeste e central da unidade militar.

Verifica-se também a influência do tipo de solo (Neossolos Quartzarênicos e Argissolos Vermelho-Amarelos) no mapa. O tipo de uso e cobertura do solo acabou por determinar menores potenciais de erosão nas áreas vegetadas, consequentemente demonstrando maiores potenciais erosivos nas áreas descobertas. Todos os fatores mapeados e considerados na álgebra de mapas contribuíram para esta análise.

A média suscetibilidade (cor amarela) distribui-se em maiores proporções no setor leste, sudeste, sul e em porção a oeste, encerrando 23,45% do CLBI. São áreas com maiores declividades quando comparadas às áreas de baixa suscetibilidade à erosão (Figura 5.12).

As áreas de média-alta suscetibilidade à erosão (cor laranja) apresentam-se também na exposição da Formação Barreiras e na área de dunas, regiões com menores declividades do que as áreas com alta suscetibilidade à erosão. Somam 3,47% da área mapeada (Figura 5.13).

Quanto às áreas classificadas como de alta suscetibilidade à erosão, representando 4,89% da área estudada e assinalada pela cor vermelha na Figura 5.10, verifica-se se como principais fatores dominantes: as maiores declividades em conjunto com as áreas descobertas (como a área sem vegetação observada na Figura 5.14), refletindo tanto os indicadores com maiores pesos quanto os critérios com as notas mais significativas para o potencial erosivo (Tabela 4.4). Desse modo, constata-se que o reconhecimento da distribuição das declividades (Figura 5.2) foi importante para a determinação das áreas mais propensas às perdas de solo. Esta indicação foi confirmada *in loco*, pois retrata especialmente as regiões descobertas, incluindo parte das falésias da Barreira do Inferno com os maiores declives (Figura 5.15).

Devido à baixa atividade antrópica encontrada na organização militar, não se evidenciaram resultados expressivos para o potencial erosivo decorrente de áreas urbanizadas.

Mapa de Suscetibilidade à Erosão

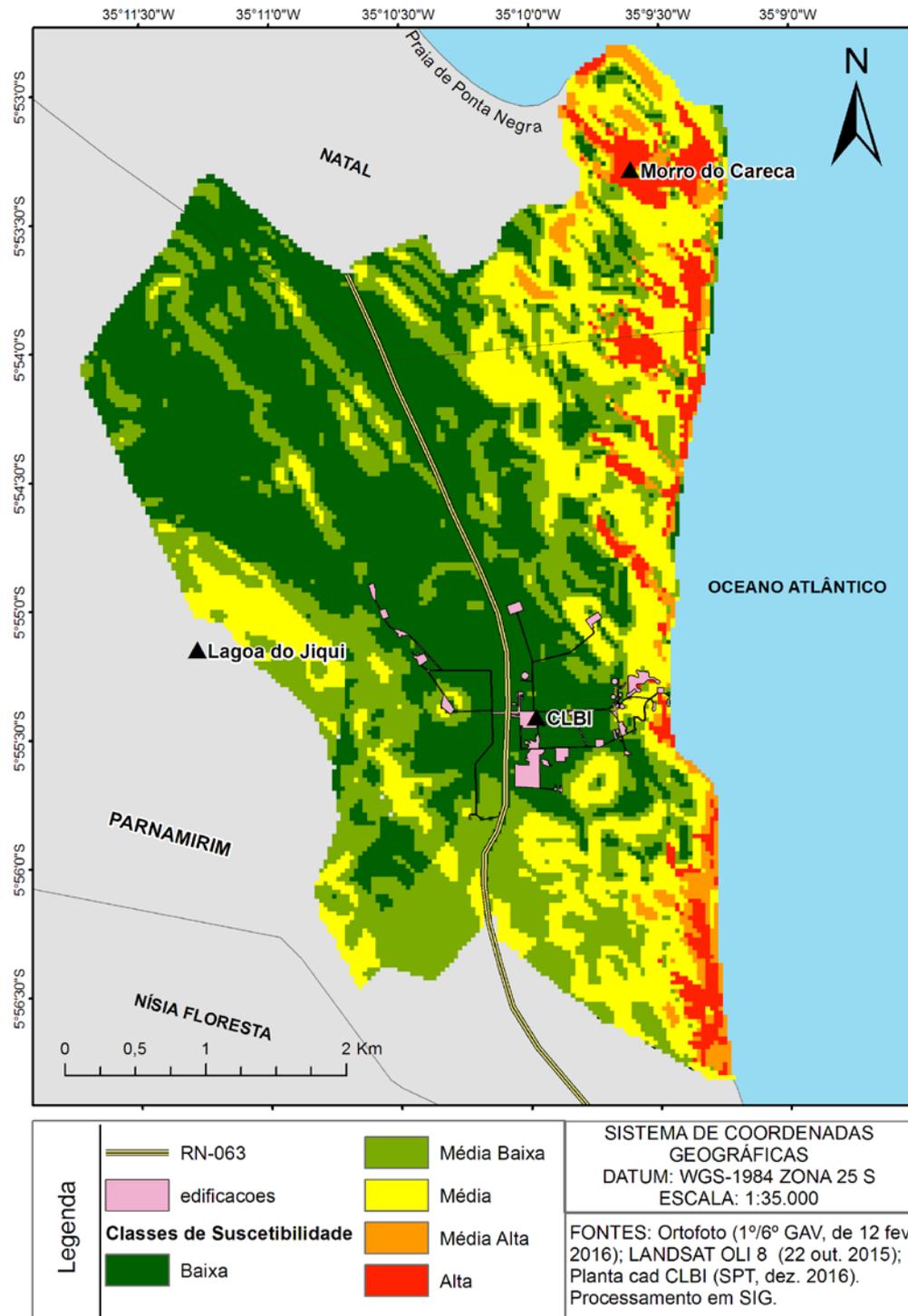


Figura 5.10 - Mapa do Potencial Erosivo do CLBI, escala 1:35.000.



Figura 5.11 – Visão de parte do setor oeste do CLBI, com a preponderância de baixa suscetibilidade à erosão.



Figura 5.12 - Visão aérea da região nordeste da área mapeada, de média baixa e média suscetibilidade à erosão.



Figura 5.13 - Região nordeste da área mapeada, de média alta e alta suscetibilidade à erosão.

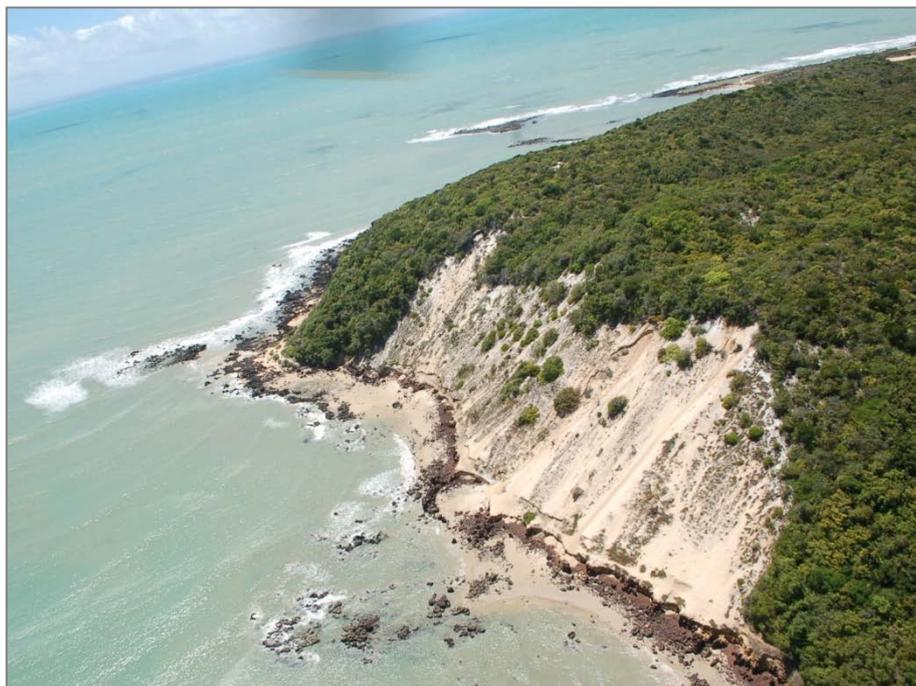


Figura 5.14 - Visão aérea da região no extremo nordeste da área mapeada, de alta suscetibilidade à erosão.



Figura 5.15 - Visão aérea do afloramento sedimentar da Formação Barreiras, de alta suscetibilidade à erosão.

CAPÍTULO 6

Considerações Finais

6.1 Conclusões

A elaboração dos mapas de altitude, declividade, geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso e cobertura do solo possibilitaram a análise e avaliação das variáveis e indicadores para a ocorrência de processos erosivos na área do CLBI. Este exame proporcionou a elaboração do mapa de suscetibilidade à erosão laminar da área estudada.

A área mapeada não apresentou predominância de elevados potenciais erosivos, exceto em áreas onde convergiram naturalmente a ausência de cobertura vegetal, associada às maiores declividades, como é o caso de áreas de dunas não vegetadas, da base e topo do Morro do Careca e em seções do afloramento da Formação Barreiras, na área das falésias. A vistoria local identificou na área das falésias processos de ravinamento, devido a características do próprio maciço, como fendas de tração e descontinuidades que acabam por gerar as condições para o alargamento dos sulcos, favorecendo o aparecimento de ravinas através de processos naturais e progressivos de erosão hídrica. As incisões basais das falésias também retrataram sinais de processos erosivos continuados, resultado das forças hidrodinâmicas das ondas e marés.

De uma forma geral, todas as ações antrópicas predatórias, tais como o desmatamento, o lançamento inadequado de lixo e de esgoto, a alteração da drenagem natural, a retirada da cobertura e a movimentação irregular do terreno constituem-se em fatores impactantes na avaliação do processo erosivo. Como a área em estudo não possui este tipo de intervenção interna devido à proteção militar, recai sobre as características da chuva (intensidade e duração), o tipo de solo e especialmente os fatores topográficos, em particular a declividade, a maior relevância para a análise da erosão. Deste modo, o mapa de suscetibilidade à erosão elaborado considerou prioritariamente os atributos do meio físico, devido à baixa influência antrópica na área.

Através dos indicadores ambientais considerados, o mapa de potencial erosivo do CLBI apresentou, de um modo geral, uma baixa tendência erosiva, com exceção de áreas descobertas com maiores declividades e dos afloramentos sedimentares da Formação Barreiras. Os afloramentos, embora possuam em boa parte uma camada superior protetora nas falésias – resultado da alta cimentação entre as partículas - são constituídos por solos de alta erodibilidade (Figura 5.15).

As partes superiores do Morro do Careca e entorno (Figura 5.13), bem como a porção situada no extremo nordeste da área mapeada, onde é possível inclusive verificar pontos com erosão (Figura 5.14), devido à inexistência de cobertura vegetal e altas declividades, também apresentaram alta suscetibilidade à erosão. A análise da declividade foi fundamental para a determinação das áreas mais propensas a perdas de solo.

Ao contrapor os resultados encontrados no mapeamento de suscetibilidade à erosão com as condições erosivas na área estudada, conclui-se que as considerações adotadas nas ponderações e análise multicritério conseguiram retratar de forma adequada a suscetibilidade da região, pois os maiores processos erosivos, como a evolução do ravinamento (Figura 2.2) encontrado na exposição da Formação Barreiras na região das falésias, bem como a área descoberta situada no extremo nordeste da área mapeada foram devidamente configurados no mapa como áreas de alta suscetibilidade à erosão.

Assim, a utilização dos produtos cartográficos gerados com técnicas de geoprocessamento e em ambiente SIG, associados à metodologia multicriterial, mostrou-se uma técnica adequada e eficiente para a representação espacial do potencial erosivo, com a identificação das áreas mais e menos suscetíveis à erosão.

Finalmente, verifica-se a necessidade de monitoramento e manutenção desta área institucionalmente preservada e livre de grandes ações antrópicas em seu interior, mas não imune aos processos erosivos naturais.

6.2 Recomendações

São recomendáveis novos estudos com geração de respectivos produtos cartográficos para a análise de suscetibilidade à erosão através de diferentes

correlações entre variáveis ambientais com o objetivo de considerar, de forma particular, a potencialidade de cada atributo em relação ao processo erosivo como um todo. A adoção de pesos diferenciados para cada atributo ambiental pode gerar uma discussão interessante que possibilitaria a verificação da preponderância entre os atributos, correlacionado ao meio ambiente.

São indicados também estudos para os efeitos de cada tipo de vegetação existente na área (restinga arbustiva, savana arborizada e restinga herbácea) frente aos processos erosivos, de modo a ser inserido também o indicador “vegetação” na análise multicriterial.

Propõe-se também a realização de estudos de erodibilidade em campo e em laboratório associados à análise de suscetibilidade, além de um trabalho de avaliação de perda de solo com a cobertura vegetal e capa de solo intocada da Formação Barreiras e sem esta capa.

CAPÍTULO 7

Referências bibliográficas

Alheiros, M. M. & Lima Filho, M. F. A (1991): Formação Barreiras. In: J. M. Mabesoone (orgs.). Estudos geológicos: Revisão geológica da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do Norte. UFPE/CT/DG, Pernambuco, Brasil, (Série B Estudos e Pesquisas).

Almeida Jr., J. E. (2017): Avaliação da retração no curto prazo da falésia marinha ativa da Barreira do Inferno com o uso do laser escâner terrestre. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, Brasil, p. 91.

Amaral, R. F. (2000): Contribuição ao estudo da evolução morfodinâmica do litoral oriental sul do Rio Grande do Norte, entre Ponta de Búzios e Baía Formosa. (Tese de Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil, p. 252.

Amaro, V. E. *et al.* (2012): Laudo Pericial. Item B – Praia de Ponta Negra, Natal-RN. Indicação das obras emergenciais de contenção e reparação dos equipamentos públicos e de segurança dos frequentadores da Praia de Ponta Negra, Natal-RN. Rio Grande do Norte, Brasil, p. 245.

Amorim, R. S. S. (2004): Avaliação dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para condições edafoclimáticas brasileiras. (Tese de Doutorado), Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, p. 143.

Angelim, L. A. A., Nesi, J. R., Torres, H. H. F. *et al.* (2007) Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte. CPRM Serviço Geológico do Brasil / FAPERN - Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Norte, Pernambuco, Brasil, p. 119.

Aparecido, L. E. O., Oliveira, V. S., Penha, E. T. S. *et al.* (2013): Ações antrópicas no ambiente onde vivemos. Revista Agrogeoambiental, Edição Esp (1), pp. 67–71.

Araújo, V. D. (2004): Mapeamento geológico de uma área entre Natal e Nísia Floresta-RN com ênfase na geometria de depósitos eólicos. (Relatório de graduação em Geologia), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, Brasil, p. 90.

Araújo, V. D., Reyes-Peres, Y. A., Lima, R. O., *et al.* (2006): Fácies e sistema deposicional da formação barreiras na região da Barreira do Inferno, litoral oriental do Rio Grande do Norte. Geologia USP Série Científica, 6(2), pp. 43–49.

ArcGIS® (2017): Métodos de Classificação. Disponível em: < <http://doc.arcgis.com/pt-br/maps-for-office/design-and-use/classification-methods.htm>>, acesso em: 16/09/2017.

Barbosa, N. M. (2017): Estabilidade das falésias da Barreira do Inferno-RN. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, Brasil, p. 130.

Barbosa, Y. B. & Lorandi, R. (2012): Geoprocessamento aplicado ao estudo da vulnerabilidade à erosão na bacia hidrográfica do Ribeirão do pântano nos municípios de São Carlos, Analândia e Descalvado (SP). *Geografia (Londrina)*, 21(1), pp. 103–123.

Barreto, A. M. F., Suguio, K., Bezerra, F. H. R. *et al.* (2004): Geologia e geomorfologia do quaternário costeiro do estado do Rio Grande do Norte. *Revista do Instituto de Geociências*, 4(2), pp. 1–12.

Basso, L. (2013): Estudo da erodibilidade de solos e rochas sedimentares de uma voçoroca na cidade de São Francisco De Assis – RS. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, p. 139.

Batista, P. H. L., Jesus, A. S., Mendes, M. J. A. *et al.* (2012): Análises de cenários de suscetibilidade à inundações e alagamentos. In: J. Camapum de Carvalho, G. F. N. Junior, E. T. L. Carvalho (Orgs.). *Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais (Volume 4)*. Brasília, Brasil, pp. 183–205.

Bertoni, J. & Lombardi Neto, F. (2005): *Conservação do Solo*. 5ª edição, Ícone Editora, São Paulo.

Brasil (2007): Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios. C. S. Carvalho, E.S.A. Macedo, T. Ogura (orgs.). Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, p. 176.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil (2006): Atlas Digital dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Rio Grande do Norte. Produtos digitais. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=36&infol=334>>, acesso em 15/07/2017.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil (2010): Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Norte. Programa Geologia do Brasil, levantamento de geodiversidade. P. A. S. Pfaltzgraff & F. S. M. Torres (Orgs.). Recife, Brasil, p. 277.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil (2014): Carta Geológica da Folha Natal, escala 1:100.000, extraída em 05/02/2014. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Produtos digitais. Disponível em: <[http://www.geosgb.cprm.gov.br/servicos/Downloads/Arquivos_Vetoriais_e_Raster/Arquivos_Vetoriais_por_Tema/Mapas_Geologicos_Executados_pelas_Universidades_\(Contratos\)/Carta_Geologica_da_Folha_Natal-\(UFRN\).zip](http://www.geosgb.cprm.gov.br/servicos/Downloads/Arquivos_Vetoriais_e_Raster/Arquivos_Vetoriais_por_Tema/Mapas_Geologicos_Executados_pelas_Universidades_(Contratos)/Carta_Geologica_da_Folha_Natal-(UFRN).zip)>, acesso em 15/08/2017.

Cunha, E. M. S. (2004): Evolução atual do Litoral de Natal – RN (Brasil) e suas aplicações a Gestão Integrada. (Tese de Doutorado), Universitat de Barcelona. Programa de Doctorado de Ciencias del Mar Departament d'Ecologia. Departament d'Estratigrafia i Paleontologia. 2004, p. 128.

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2006): Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. H. G. Santos, P. K. T. Jacomine, L. H. C. Anjos, *et al.* (Orgs.). Brasília, Brasil: Embrapa Solos, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2ª edição, p. 286.

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2010): Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais. R. B. Prado, A. P. D. Turetta, & A. G. Andrade. (Orgs.). Rio de Janeiro. Brasil: Embrapa Solos, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 1ª edição, p. 490.

Embrapa Solos/SUDENE (1971): Mapa Exploratório-Reconhecimento de solos do município de Natal, RN, escala 1:500.000. Unidade de Execução de Pesquisa de Recife - UEP Recife. Disponível em: <<http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/rn/natal.pdf>>, acesso em: 24/04/2017.

Embrapa Solos/SUDENE (1971): Mapa Exploratório-Reconhecimento de solos do município de Parnamirim, RN, escala 1:500.000. Unidade de Execução de Pesquisa de Recife - UEP Recife. Disponível em: <<http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/rn/parnamirim.pdf>>, acesso em: 24/04/2017.

FADE (2007): Diagnóstico para o plano estratégico Natal - uma metrópole em formação / Relatório Temático da Dimensão Físico-territorial. T. B. Araújo & M. L. M. Clementino (Orgs.). Recife, Brasil: Volume 3, p. 248.

Filgueira, J. G. (2011): Proveniência de rochas sedimentares da porção continental e de sedimentos da plataforma oriental do RN, entre as praias de Barra de Tabatinga e Genipabu. (Relatório de Graduação em Geologia), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, Brasil, p. 62.

Florenzano, T. G. (1993): Unidades geomorfológicas na região sudeste (SP) identificadas por imagens satélite. (Dissertação de Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, p. 168.

Fontes, S. B. (1998): Mapeamento geológico com ênfase em erosão. Revisão bibliográfica: Departamento de Geotecnia - EESC, 82 p.

Franco, G. B., Marques, E. A. G., Calijuri, M. L. *et al.* (2010): Cartografia geotécnica: estágio atual do conhecimento. *Caminhos de Geografia*, 11(35), pp. 158–172.

Gomes, F. S. (2001): Estudo da erodibilidade e parâmetros geotécnicos de um solo em processo erosivo. (Tese de Doutorado), Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, Brasil, p. 207.

Gonçalves, F. A. (2008): Validação do modelo WEPP na predição de erosão hídrica para condição edafoclimática da região de Viçosa-MG (Tese de Doutorado), Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, p. 116.

Guerra, A. J. T. (1998): Processos erosivos em encostas. In: Guerra & S. B. Cunha (Orgs.). *Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos*. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 3ª edição, p. 149-209.

Guerra, A. J. T. (1998): Processos erosivos nas encostas. In: A. J. T. Guerra & S. B. Cunha Clementino (Orgs.). Geomorfologia: Uma atualização de Bases e Conceitos. Rio de Janeiro, Brasil, 3ª edição, pp. 149–209.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1990): Divisão Regional do Brasil em mesorregiões e microrregiões geográficas. Fundação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (FIBGE). Diretoria de Geociências (DGC) e Departamento de Geografia (DEGEO). J. R. Portella & M. G. Bulhões (Orgs.). Rio de Janeiro, Brasil, p. 137.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1992): Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Diretoria de Geociências, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio Janeiro, Brasil, n. 1.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2004): Mapa de Vegetação do Brasil, escala 1:5.000.000. 3ª edição. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Cartas_e_Mapas/Mapas_Murais/>, acesso em: 24/04/2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2009): Manual Técnico de Geomorfologia. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro, Brasil: Manuais Técnicos em Geociências número 5, 2ª edição, p. 128.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2001): Mapa de solos do Brasil, escala 1:5.000.000. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/mapas/brasil/solos.pdf>, acesso em: 24/04/2017.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/ImagCatalog (2017): Catálogo de Imagens. São Paulo, n.d. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR>, acesso em: 05 de julho de 2017.

Júnior, O. A. C., Carvalho, A. P. F., Rodrigues, N. Q. N. *et al.* (2001): Confecção do mapa de susceptibilidade à erosão a partir da USLE utilizando para estimar o fator topográfico o programa rampa. In: Anais do VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, pp. 1–8.

Lafayette, K. P. V. (2006): Estudo geológico-geotécnico do processo erosivo em encostas no Parque Metropolitano Armando de Holanda Cavalcanti – Cabo de Santo Agostinho/PE. (Tese de Doutorado), Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, Brasil, p. 358.

Maciel, A. B. C. & Lima, Z. M. C. (2014): Uso e ocupação de Ponta Negra, Natal/RN: uma análise multi-temporal. Sociedade e Território, 26(2), pp. 127–147.

Maciel, A. B. C., Silva, R. V. M. & Lima, Z. M. C. (2016): Processo erosivo e gestão costeira: Estudo de caso da Praia de Ponta Negra, Natal/RN. Revista OKARA: Geografia em debate, 10(3), pp. 429–452.

MAER (1992): Ministério da Aeronáutica, Centro de Lançamento Barreira do Inferno. Acervo Histórico do CLBI. Rio Grande do Norte, Brasil, p. 07.

Magri, R. A. F. (2013): Análise da suscetibilidade à erosão da região do Médio Rio Grande (MG). (Dissertação de Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, p. 232.

Medeiros, T. H. L. (2001): Evolução geomorfológica, (des)caracterização e formas de uso das lagoas da cidade do Natal-RN. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, Brasil, p. 105.

Meira, F. F. D. A. (2008): Estudo do processo erosivo em encostas ocupadas. (Tese de Doutorado), Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, Brasil, p. 474.

Michette, J. F. (2015): Modelos de previsão de erosão pluvial utilizando SIG: estudo na bacia hidrográfica da Represa do Lobo (Broa), SP. (Dissertação de Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil, p. 275.

Ministério da Defesa (2017): Defesa & Meio Ambiente: preparo com sustentabilidade. Disponível em: <http://www.defesa.gov.br/arquivos/estado_e_defesa/livro_verde/livro_defesa_meio_ambiente.pdf>, acesso em: 24/07/2017.

Muehe, D. (1998). Geomorfologia costeira. In: A. J. T. Guerra & S. B. Cunha (Orgs.). Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 3ª edição, p. 253-308.

Natal/SEMURB (2008): Zoneamento ambiental de Natal. Prefeitura Municipal de Natal, Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo - SEMURB. C. E. P. Hora (Orgs.). Rio Grande do Norte, Brasil. Disponível em: <<http://www.natal.rn.gov.br/semurb/paginas/ctd-594.html>>, acesso em: 26/07/2017.

Netto, A. L. C. (1998): Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. Guerra & S. B. Cunha (Orgs.). Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 3ª edição, p. 93-148.

Neves, S. R. de A. (2015): Análise prognóstica de processos erosivos na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes (Paraty, RJ). (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, p. 130.

Nunes, F. C., Silva, E. F. & Boas, G. S. V. (2011): Grupo Barreiras: características, gênese e evidências de neotectonismo. Embrapa Solos, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 194. 2ª edição. Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/68532/1/BPD-194-GrupoBarreiras.pdf>>, acesso em 29/04/2017.

Oliveira, D. S. (2017): Análise de índices de vulnerabilidade física com uso de geotecnologias na região da barreira do inferno. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, Brasil, p. 92.

Ranieri, S. B. L. (2000): Estimativa da erosão do solo em uma bacia hidrográfica no município de Piracicaba (SP) utilizando os modelos USLE e WEPP. (Tese de Doutorado), Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, p. 95.

Reis, M. H.; Griebeler, N. P.; Souza, P. T. M. *et al.* (2006): Mapeamento de áreas de risco à ocorrência da erosão hídrica no Sudoeste Goiano com base na distribuição espacial de chuvas intensas. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 1. Campo Grande: Embrapa Informática Agropecuária: INPE, p. 219-228.

Rios, M. A. (2012): Cartografia geotécnica e visões fractais da geometria do relevo. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal de Brasília. Brasília, Brasil, p. 128.

Sá, C. A. (2001): Mapeamento de declividades voltado para o controle de processos erosivos em sítios florestais. (Monografia de Especialização), Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, Brasil, p. 35.

Santos Jr., O. F., Severo, R. N. F., Scudelari, A. C. *et al.* (2008): Processos de Instabilização em Falésias: Estudo de um Caso no Nordeste do Brasil. Geotecnia, 114(Novembro 08), pp. 71–90.

Severo, R. N. F. (2011): Caracterização geotécnica da falésia da Ponta do Pirambu em Tibau do Sul - RN considerando a influência do comportamento dos solos nos estados indeformado e cimentado artificialmente. (Tese de Doutorado), Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, Brasil, p. 280.

Silva, A. F. (2003): Mapeamento Geotécnico e análise dos processos erosivos na bacia do córrego Tuncum. São Pedro-SP, escala: 1:10.000. (Dissertação Mestrado), Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, p. 157.

Silva, S. F. (2005): Zoneamento geoambiental com auxílio de lógica Fuzzy e proposta de um geindicador para caracterização do meio físico da bacia do rio do peixe. (Tese de Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil, p. 394.

Silva, L. F. T. C. (2014): Análise da suscetibilidade à erosão ao longo da RJ-165 (Estrada Paraty- Cunha). (Dissertação Mestrado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, p. 109.

Silva, M. L. N., Freitas, D. A. F., Cândido, B. M. *et al.* (2015): Manejo e conservação de solo e da água. Guia de Estudo. Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, Brasil, p. 74.

Silveira, L. L. L. (2002): Elaboração de carta de susceptibilidade à erosão das bacias dos rios Araraquara e Cubatão-SP, escala 1:50.000. (Dissertação de Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, p. 195.

Taquez, D. E. D. (2017): Suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa e avaliação da estabilidade de falésias sob condição não saturada: estudo de caso no centro de lançamentos da barreira do inferno. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, Brasil, p. 216.

Tiz, G. J. & Cunha, J. E. (2007): Erosão periurbana em Marechal Cândido Rondon-PR: uma abordagem introdutória. *Geografia (Londrina)*, 16(1), pp. 79–100.

TOPODATA/INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2017): Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. TOPODATA: Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. São Paulo, n.d. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>, acesso em: 05/07/2017.

Tôsto, S. G. & Pereira, L. C. (2012): Zoneamento da erosão do solo como instrumento de planejamento ambiental. *Anais do Simpósio Usos, Manejo e Gestão dos Recursos Naturais, na Conferência da Terra - Fórum Internacional do Meio Ambiente*, pp. 1–11.

UFRN/FUNPEC/MPRN (2011): Implicações ambientais e urbanísticas decorrentes das propostas de regulamentação da zona de proteção ambiental 6 (ZPA 6), município de Natal/RN. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Fundação Norte-Riograndense de Pesquisa e Cultura (FUNPEC). Ministério Público do Estado do Rio Grande do Norte (MPRN). Rio Grande do Norte, Brasil, p. 109.

USCG (2017): U.S. Department of the Interior/U.S. Geological Survey. USCG science for a changing world: Landsat Mission. USA. Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/>>, acesso em: 09 de julho de 2017.

Valente, A. L. S. (1999): Integração de dados por meio de geoprocessamento, para a elaboração de mapas geotécnicos, análise do meio físico e suas interações com a mancha urbana: o caso de Porto Alegre (RS). (Tese de Doutorado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil, p. 153.

Valladares, G. S., Gomes, A. S., Torresan, F. E. *et al.* (2012): Modelo multicritério aditivo na geração de mapas de suscetibilidade à erosão em área rural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(9), pp. 1376–1383.

Vital, H. (2006): Erosão e Progradação - Rio Grande do Norte. In: Meuhe, D. (org.). *Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro*, pp. 155–172.

Wischmeier, W. H. & Smith, D. D. (1978): Predicting rain fall erosion losses: A guide to conservation planning. *Agricultural Handbook*, Washington, D.C., v. 537, n. 282, p. 57.

Zonta, J. H., Sofiatti, V., Costa, A. G. F., *et al.* (2012): Práticas de Conservação de Solo e Água. Circular Técnica 133 - Embrapa, p. 21.

Zuquette, L. V., Gandolfi, N. (2004): Cartografia geotécnica. São Paulo: Oficina de Textos. São Paulo, Brasil, p. 19.

ANEXO 01

MINISTÉRIO DA DEFESA
COMANDO DA AERONÁUTICA
DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO



CLIMATOLOGIA AERONÁUTICA

INSTITUTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO
DADOS CLIMATOLÓGICOS DO AEROPORTO DE
NATAL – SBNT

30 JUNHO 2017

PAS 33



INSTITUTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO
SUBDIRETORIA DE PESQUISA
SUBDIVISÃO DE CLIMATOLOGIA E ARQUIVO METEOROLÓGICO

DADOS CLIMATOLÓGICOS DO AEROPORTO DE NATAL - SBNT

COLETA DE DADOS REALIZADA PELO SO J COUTO E 2º SGT BMT EDUARDO

APROVADA PELO CAP ESP MET HÉLIO

Praça Mal. Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias
12228-903 - São José dos Campos - SP.

Brasil

Tel : (012) 3945-9000

Tel : (012) 3945-9305

E-mail: estudosclimatologicos@icea.gov.br

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	4
2.METODOLOGIA.....	4
3.APRESENTAÇÃO DOS DADOS.....	4

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho foi elaborado pela Subdivisão de Climatologia e Arquivo Meteorológico (PBCA), da Subdiretoria de Pesquisa (SDP) do Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA), visando atender solicitação do TenCel Renato, com a finalidade de fornecer informações meteorológicas do Aeroporto de Natal/RN - SBNT.

Para elaboração deste trabalho, utilizaram-se informações do Banco de Dados Climatológicos (BDC), as quais foram registradas em formulários específicos e do Sistema Automatizado de Registro e Gerenciamento das Observações Meteorológicas – WEBMET.

2. METODOLOGIA

A metodologia adotada consiste no levantamento e processamento das séries meteorológicas mensais das variáveis abaixo, no período de janeiro de 1951 a junho de 2017.

Temperatura média do ar em graus Celsius (°C); direção predominante do vento em graus e em relação ao norte geográfico, velocidade média do vento em nós (KT), precipitação pluviométrica acumulada em milímetros (mm) e pressão atmosférica ao nível da estação meteorológica (QFE) em hectopascal (hPa).

Para efeito de conversão de medidas, 01 nó (kt) equivale a 1,852 km/h.

A estação meteorológica de superfície do Aeroporto de Natal está localizada nas coordenadas 05° 45'S e 035° 14' W, numa altitude de 52 metros.

O horário de funcionamento da estação no período solicitado foi das 00 às 23 h local (L).

3. APRESENTAÇÃO DOS DADOS

As planilhas resultantes deste estudo encontram-se nos arquivos *Excel* e serão enviadas por meio de correio eletrônico.

ANEXO 02

**NORTE SONDA**
SONDAGENS DE SOLOS SPT



Natal, 25 de Setembro de 2014

RELATÓRIO Nº 201456-SPT14

À
M.A.S. ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO.

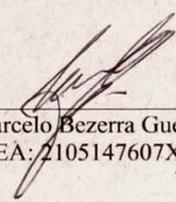
Prezado Senhores (as),

Estamos encaminhando, em anexo, o resultado da sondagem de simples reconhecimento de solos (SPT), em Parnamirim / RN.

Foram executados 03 furos de sondagem, conforme solicitação da empresa contratante.

A sondagem foi realizada conforme a norma NBR - 6484 da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Atenciosamente



Marcelo Bezerra Guerreiro
CREA: 2105147607XXXX

RUA PASTOR JOAQUIM B. DE MACEDO, 210-A - PONTA NEGRA
TEL: (84) 3208-2046 / 9151-2194 / 9122-0808

NATAL/RN
CEP: 59.091-040



NORTE SONDA
SONDAGENS DE SOLOS SPT



SONDAGEM A PERCUSSÃO

LOCAL : PARNAMIRIM / RN

INTERESSADO : TALDI IN. SERV. E INCORP. LTDA - EPP

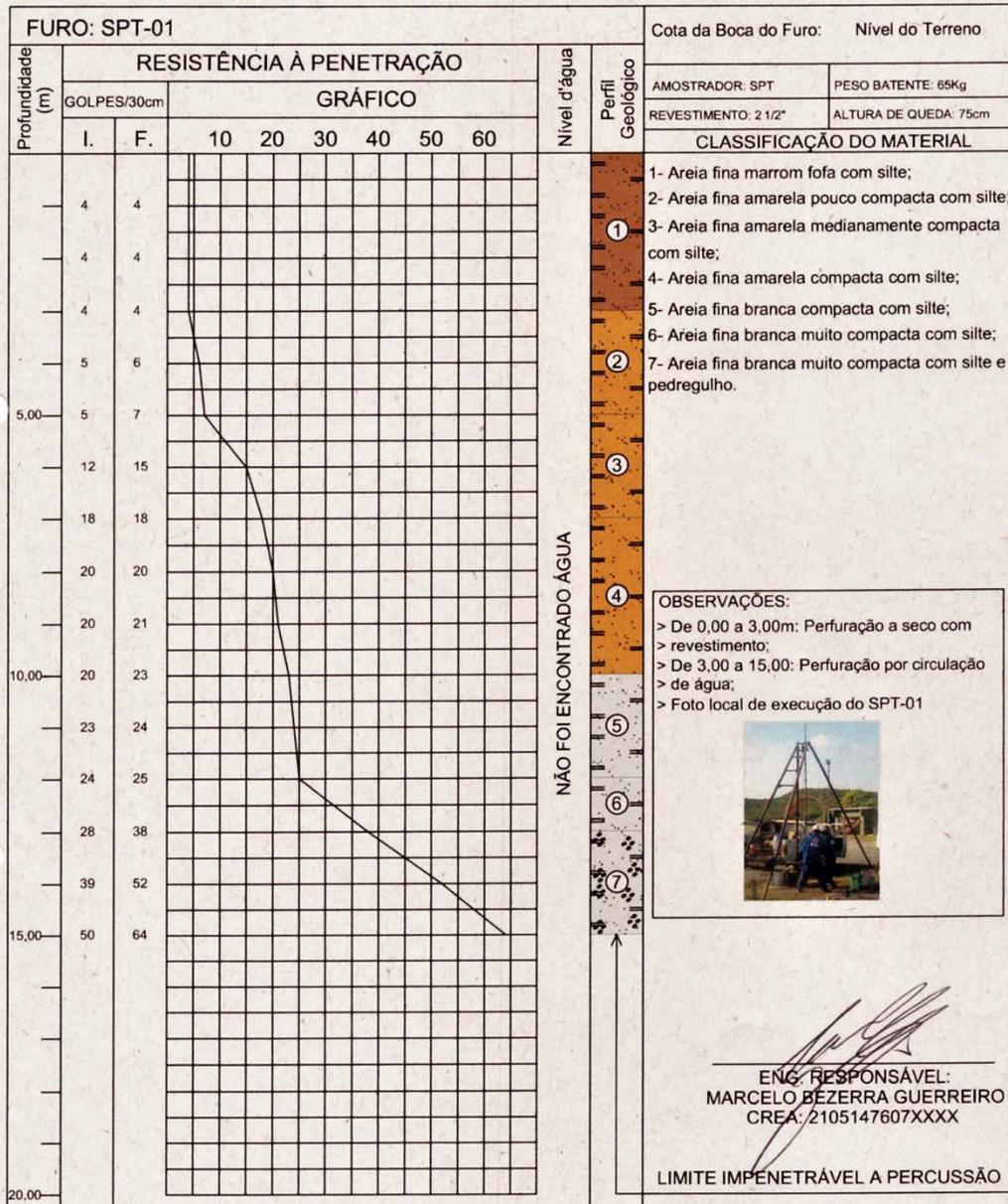
OBRA : CLBI



NORTE SONDA
SONDAGENS | FUNDAÇÕES

DEFESA AERONAUTICA
Fl: 1734
Proc: 5645
CLBI

PERFIL DE SONDAGEM



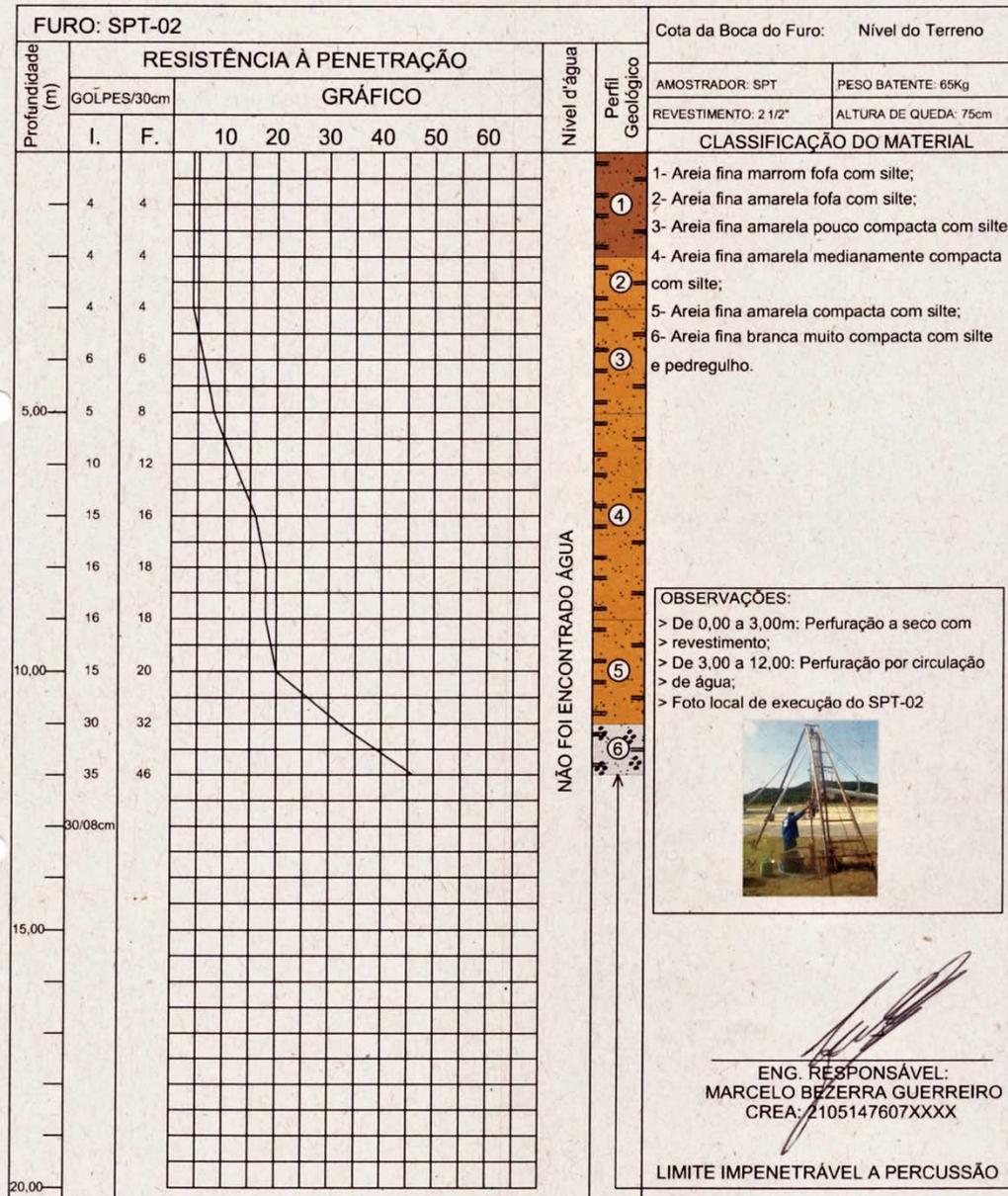
CLIENTE: TALDI INDUSTRIA SERVIÇOS E INCORPORAÇÕES LTDA - EPP	PRANCHA: 01/03
OBRA: CLBI	SONDADOR: Marcos Dias
LOCAL: RODOVIA RN 063 KM 11, NATAL/PIRANGI - PARNAMIRIM/ RN	DATA: 19/09/2014
ENG. RESPONSÁVEL: MARCELO BEZERRA GUERREIRO CREA: 2105147607XXXX	DESENHO: LÍVIA ANDRADE
RELATÓRIO Nº 201456-SPT14	DATA DO RELATÓRIO: 25/09/2014



NORTE SONDA
SONDAGENS | FUNDAÇÕES

N. DEFESA: 1735
Proc: 5645
Rub: [assinatura]
CLBI

PERFIL DE SONDAGEM



CLIENTE: TALDI INDUSTRIA SERVIÇOS E INCORPORAÇÕES LTDA - EPP	PRANCHA: 02/03
OBRA: CLBI	SONDADOR: Marcos Dias
LOCAL: RODOVIA RN 063 KM 11, NATAL/PIRANGI - PARNAMIRIM/ RN	DATA: 22/09/2014
ENG. RESPONSÁVEL: MARCELO BEZERRA GUERREIRO CREA: 2105147607XXXX	DESENHO: LÍVIA ANDRADE
RELATÓRIO N° 201456-SPT14	DATA DO RELATÓRIO: 25/09/2014

RUA PASTOR JOAQUIM B. DE MACEDO, 210-A - PONTA NEGRA
TEL: (84) 3208-2046 / 9151-2194 / 9122-0808

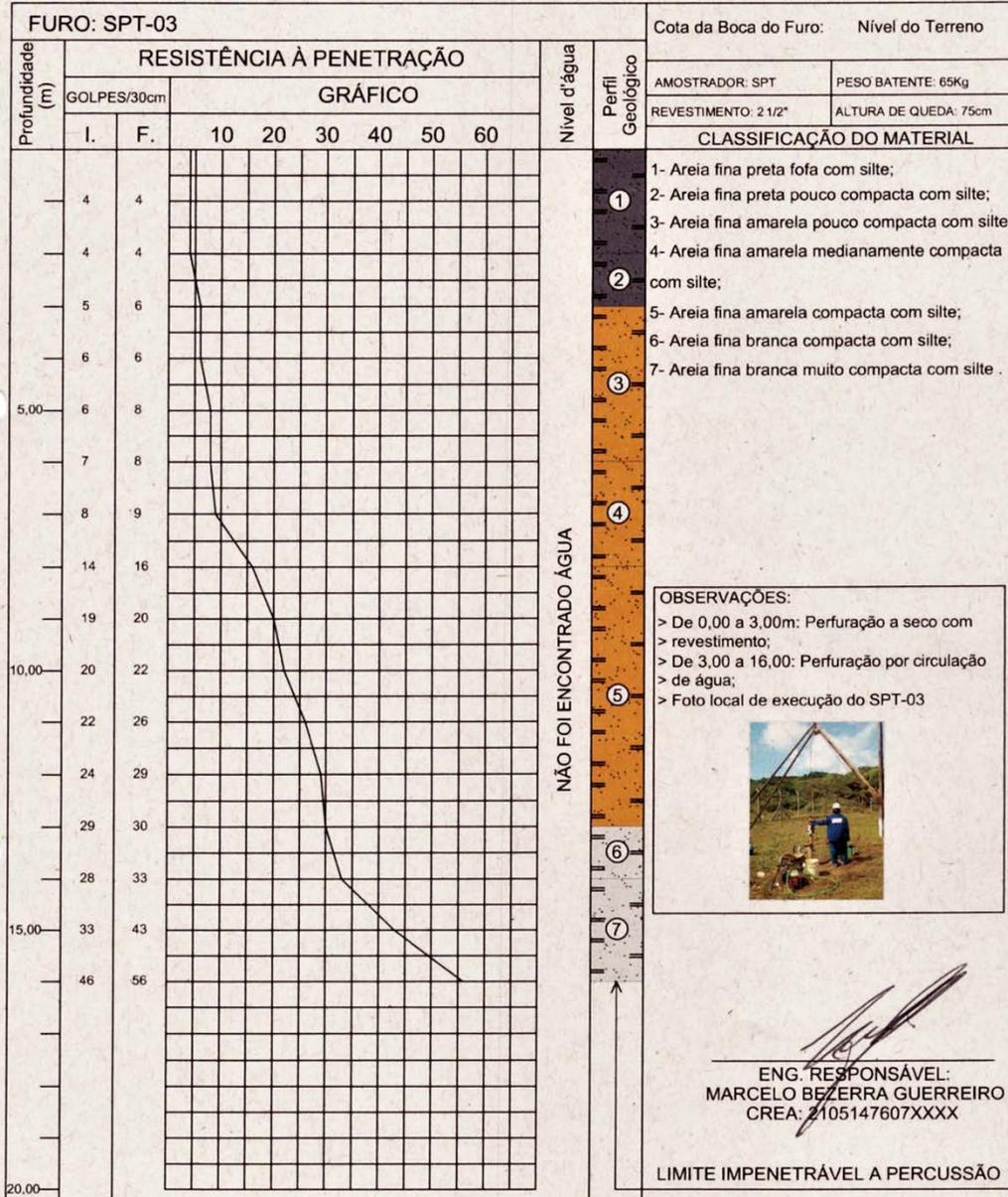
NATAL/RN
CEP: 59091-040



NORTE SONDA
SONDAGENS | FUNDAÇÕES

W. DEFESA
FI: 1736
Proc: 5645
RUB: [assinatura]
CLBI

PERFIL DE SONDAGEM



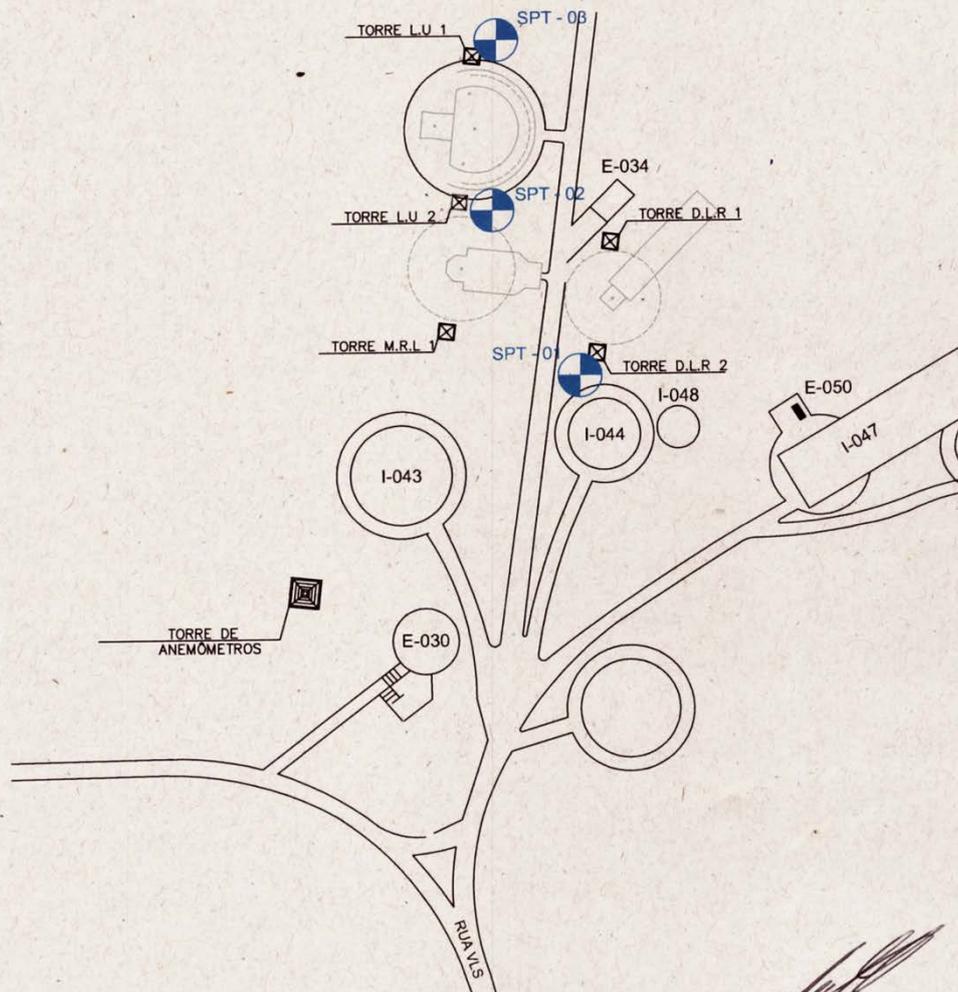
CLIENTE: TALDI INDUSTRIA SERVIÇOS E INCORPORAÇÕES LTDA - EPP	PRANCHA: 03/03
OBRA: CLBI	SONDADOR: Marcos Dias
LOCAL: RODOVIA RN 063 KM 11, NATAL/PIRANGI - PARNAMIRIM/ RN	DATA: 23/09/2014
ENG. RESPONSÁVEL: MARCELO BEZERRA GUERREIRO CREA: 2105147607XXXX	DESENHO: LÍVIA ANDRADE
RELATÓRIO Nº 201456-SPT14	DATA DO RELATÓRIO: 25/09/2014



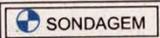
NORTE SONDA
SONDAGENS DE SOLOS SPT

C. AERONAUTICA
M. DEFESA
Fl: 1737
Proc: 5645
Rubr: [assinatura]
-CLBI

CROQUIS DE LOCALIZAÇÃO DA SONDAGEM PARNAMIRIM / RN CLBI



ENG. RESPONSÁVEL:
MARCELO BEZERRA GUERREIRO
CREA: 2105147607XXXX



RUA PASTOR JOAQUIM B. DE MACEDO, 210-A - PONTA NEGRA
TEL: (84) 3208-2046 / 9151-2194 / 9122-0808

NATAL/RN
CEP: 59.091-040