



Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Centro de Ciências Exatas e da Terra
Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**AS DUNAS EÓLICAS DE NATAL/RN: DATAÇÃO E
EVOLUÇÃO**

Autora:

ELISANGELA ALVES DE JESUS SILVA

Orientador:

Prof. Dr. FRANCISCO PINHEIRO LIMA FILHO

Dissertação Nº 33 / PPGG

Natal-RN, Novembro de 2002.



Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Centro de Ciências Exatas e da Terra
Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**AS DUNAS EÓLICAS DE NATAL/RN: DATAÇÃO E
EVOLUÇÃO**

Autora:

ELISANGELA ALVES DE JESUS SILVA

Orientador:

Prof. Dr. FRANCISCO PINHEIRO LIMA FILHO

Dissertação N^o 33 / PPGG

Natal-RN, Novembro de 2002.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E GEOFÍSICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**AS DUNAS EÓLICAS DE NATAL/RN: DATAÇÃO E
EVOLUÇÃO**

Autora:

Elisangela Alves de Jesus Silva

Dissertação apresentada à
Universidade Federal do Rio
Grande do Norte como requisito
para a obtenção do grau de
MESTRE em Geodinâmica.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Francisco Pinheiro Lima Filho (Orientador/ DGEO/PPGG/UFRN)

Prof. Dr. Ricardo Farias do Amaral (DGEO/PPGG/UFRN)

Prof^a Dra. Loreci Gislaine de Oliveira Lehugeur (DEGEO/UFC)

Natal-RN, Novembro de 2002.

*“Do Senhor é a Terra e a sua plenitude, o mundo
e aqueles que nele habitam.
Porque ele a fundou sobre os mares e a firmou
sobre os rios”.*

Salmo 24: 1, 2.

*Ao meu querido esposo, Sidney (de forma especial),
E aos meus pais, Elias e Amélia.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Deus de infinita bondade, que tem estado sempre presente em todos os momentos da minha vida, me orientando e me ajudando a realizar este trabalho com pleno e absoluto sucesso.

Ao meu querido esposo, Sidney, que sempre esteve ao meu lado me dando apoio total e incondicional, com amor e dedicação em todas as etapas de trabalho desenvolvidas.

Aos meus queridos pais, Elias e Amélia, que sempre me ajudaram sobremaneira na minha educação e formação, apoiando e contribuindo para obtenção do meu êxito profissional.

Aos meus irmãos Eliasibe, Sirlene e Júnior e ao meu sobrinho Dayvid, pelo apoio e incentivo demonstrados durante a realização deste trabalho. Em especial a Eliasibe, pela ajuda na confecção de figura e demais “dicas” dispendidas quando de assuntos relacionados à Geologia.

Aos meus cunhados (em especial a Marinaldo e Eliene pelo apoio logístico que foi de fundamental importância na etapa final deste trabalho) e demais familiares que de alguma forma contribuíram para a realização do mesmo.

Agradeço ao Prof. Dr. Francisco Pinheiro Lima Filho pelo acompanhamento, orientação e colaboração prestados no desenvolvimento de todas as etapas concernentes à execução desta Dissertação de Mestrado.

Ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG), na pessoa do seu Coordenador, Prof. Dr. Fernando César Alves da Silva, pelo apoio concedido.

Agradeço a todos os professores e funcionários que fazem a UFRN, principalmente àqueles que formam o Depto. de Geologia, com destaque ao apoio e presteza da funcionária Nilda (Secretária do PPGG); bem como às bibliotecárias Sônia e Maria do Céu.

Agradeço a todos os colegas, de Graduação e Pós-graduação, a maior parte dos quais vem fazendo parte do nosso convívio nos últimos dois anos, pela amizade e companheirismo demonstrados.

Em especial a todos os colegas e bolsistas do grupo “GEA” (Leonardo, Yoe, Verônica, Danielly, Daniel, Cláudio, Marcos Vinícius, Ranufo, Anderson, Edvaldo, Laura e Jackson) pela colaboração, principalmente nos trabalhos realizados em campo.

Aos professores Dr. Ricardo Farias do Amaral e Dra. Helenice Vital pelas sugestões proferidas quando da composição da banca examinadora para o Exame de Qualificação de Mestrado.

Agradeço ainda à Estação Climatológica da UFRN – Depto. de Geografia, pela concessão de dados de climatologia da região de Natal/RN. Ao Coordenador Domingos Sávio Machado, à Prof^a MSc. Tásia Hortêncio de Lima Medeiros e à bolsista Kelly S. Dinis de Lima.

Aos professores Dr. Olavo Francisco dos Santos Júnior (Depto. de Engenharia Civil) e Dr. Ricardo Farias do Amaral (Depto. De Geologia), pela atenção e ajuda dedicadas antes e durante o período de vigência deste Curso de Mestrado. Apresentando sugestões, interessando-se na publicação de artigos em congressos e revistas, fornecendo dados e informações que vieram integrar a composição do trabalho e no apoio logístico muitas vezes concedido, quando da utilização do Laboratório de Mecânica dos Solos (Núcleo de Tecnologia, Depto. de Engenharia Civil da UFRN).

Agradeço, enfim à CAPES pelo suporte financeiro investido para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	III
LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABELAS E QUADROS.....	XI
RESUMO	XII
ABSTRACT.....	XIII
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	2
1.1 APRESENTAÇÃO E OBJETIVOS.....	2
1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	4
1.3 METODOLOGIA UTILIZADA.....	7
1.3.1 <i>Etapas de Gabinete</i>	7
1.3.2 <i>Etapas de Campo</i>	8
CAPÍTULO 2: CONDICIONAMENTO FÍSICO DA ÁREA	10
2.1 CLIMA	10
2.1.1 <i>Precipitação Pluviométrica</i>	10
2.1.2 <i>Temperatura</i>	11
2.1.3 <i>Umidade Relativa do Ar</i>	12
2.1.4 <i>Insolação</i>	13
2.1.5 <i>Ventos</i>	14
2.2 VEGETAÇÃO	23
2.3 SOLOS	25
2.4 RELEVO.....	25
2.5 HIDROGRAFIA	26
CAPÍTULO 3: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	28
3.1 SISTEMA DE DUNAS EÓLICAS COSTEIRAS	28
3.1.1 <i>Mecanismo de Transporte e Sedimentação Eólicos</i>	28
3.1.2 <i>Feições Eólicas Depositionais e Erosivas</i>	31
3.2 SISTEMAS DE DUNAS EÓLICAS DE NATAL/RN – ESTADO DA ARTE	39
3.3 DATAÇÃO POR TERMOLUMINESCÊNCIA (TL)	50
3.3.1 <i>Introdução</i>	50

3.3.2 Aspectos Metodológicos.....	51
3.4 DATAÇÃO POR TERMOLUMINESCÊNCIA (TL) EM CAMPOS DE DUNAS COSTEIRAS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE – TRABALHOS REALIZADOS.....	58
3.5 O RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO (GPR)	60
3.5.1 O Método GPR.....	60
3.6 APLICAÇÃO DO GPR EM DUNAS COSTEIRAS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE.....	66
CAPÍTULO 4: RESULTADOS OBTIDOS.....	68
4.1 IDENTIFICAÇÃO DE UNIDADES EÓLICAS DEPOSICIONAIS E EROSIVAS	68
4.1.1 Introdução.....	68
4.1.2 Unidades Identificadas	72
4.2 DATAÇÃO DE SEDIMENTOS EÓLICOS PELO MÉTODO DA TERMOLUMINESCÊNCIA (TL)	76
4.2.1 Introdução.....	76
4.2.2 Idades Obtidas.....	80
4.3: INTERPRETAÇÃO DE ESTRUTURAS SEDIMENTARES COM APLICAÇÃO DO MÉTODO GPR EM CAMPOS DE DUNAS DA ÁREA DE ESTUDO	83
4.4 ASPECTOS DE USO/OCUPAÇÃO DO SOLO EM CAMPOS DE DUNAS DA ÁREA DE ESTUDO.....	88
4.4.1 Introdução.....	88
4.4.2 Tipos de Uso/Ocupação do Solo Identificados.....	89
CAPÍTULO 5: DISCUSSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES	100
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Localização da área de estudo.....	05
Figura 2.1: Curvas comparativas de valores de velocidades médias mensais (m/s), obtidos segundo dados das estações climatológicas do INMET/UFRN (2002) e do MAER (1997). As duas primeiras curvas: INMET (1984-1996) e MAER (1984-1996), com valores médios mensais obtidos de um período de treze anos e a terceira curva: INMET (1984-2001) com valores médios mensais obtidos para um período de 18 anos.....	18
Figura 2.2a: Diagramas de rosetas indicando os sentidos predominantes de ventos na região de Natal, para os meses de janeiro a abril, conforme dados apresentados na Tabela 2.8.	20
Figura 2.2b: Diagramas de rosetas indicando os sentidos predominantes de ventos na região de Natal, para os meses de maio a agosto, conforme dados apresentados na Tabela 2.8.	21
Figura 2.2c: Diagramas de rosetas indicando os sentidos predominantes de ventos na região de Natal, para os meses de setembro a dezembro, conforme dados apresentados na Tabela 2.8.....	22
Figura 3.1: Esquema ilustrativo dos sistemas de distribuição de ventos sobre os hemisférios terrestres (adaptado de Reineck & Sing 1980).	29
Figura 3.2: Gráfico ilustrando o comportamento da velocidade do sedimento em queda livre (cm/s) x tamanho de grãos sob movimentação eólica (mm) (adaptado de Reineck & Sing 1980).	30
Figura 3.3: Bloco diagrama esquemático mostrando a distribuição de diferentes elementos característicos de um perfil geral de duna (adaptado de Reineck & Sing 1980).	32
Figura 3.4: Esquema representativo da classificação dos principais tipos de dunas, de acordo com critérios de morfologia e direções predominantes de atuação de ventos para cada tipo. A) dunas barcanas, B) dunas transversais, C) dunas parabólicas, D) dunas longitudinais, E) dunas estrela, F) dunas em forma de “domos” e G) dunas reversas (adaptado de Thomas 1997).	36
Figura 3.5: Esquema representativo de <i>blowout</i> (adaptado de Thomas 1997).	38
Figura 3.6: Figura representativa de Mapa Geológico, compilada, correspondente à porção centro-sul da cidade de Natal, em que são apresentadas as divisões em quatro gerações de dunas propostas por Costa (1971).	41
Figura 3.7: Modelo da Teoria de Bandas aplicado à Termoluminescência (FATEC-SP/LVD 2002).	52
Figura 3.8: Curva representativa do método de doses adicionais para encontrar a dose acumulada (DA) em amostras a serem datadas (FATEC-SP/LVD 2002).	53
Figura 3.9: Curva representativa do método de fotoesvaziamento total para encontrar a dose acumulada (DA) em amostras a serem datadas (Adaptado de FATEC-SP/LVD 2002).	54

Figura 3.10: Esquema representativo de um levantamento de perfil de GPR (Adaptado de Annan 1992).	60
Figura 3.11: Esquema representativo dos seis módulos componentes do sistema RAMAC/GPR (Adaptado de Annan 1992).	61
Figura 3.12: Fluxograma de processamento de dados básico de GPR (Adaptado de Annan 1992).	64
Figura 4.1: Marcas onduladas eólicas (<i>eolian ripple marks</i>) em campos de dunas amareladas.	69
Figura 4.2: Campo de <i>shadow dunes</i> (dunas de sombra) de coloração avermelhada.	69
Figura 4.3: Presença de dunas de sombra, marcas onduladas eólicas e pavimento de deflação em campo de dunas amareladas.	69
Figura 4.4: Via Costeira. Corredores de vento (<i>blowouts</i>), identificando processo erosivo no Parque das Dunas.	69
Figura 4.5: Línguas de fluxo de grãos em dunas cortadas. Região de Nova Parnamirim.	70
Figura 4.6: Zona de interdunas secas e <i>blowouts</i> , com campos de <i>shadow dunes</i> e pavimento de deflação. Ao fundo, afloramento da Formação Barreiras.	71
Figura 4.7: Região de marcas onduladas eólicas, com ocorrência de diminuição no tamanho dos grãos transportados, de acordo com intensidade da velocidade do vento.	71
Figura 4.8: Detalhe em pavimento de deflação.	71
Figura 4.9: Presença de línguas de fluxo de grãos e marcas onduladas eólicas.	71
Figura 4.10: Mapa apresentando as unidades geológicas eólicas deposicionais e erosivas identificadas na área de estudo.	74
Figura 4.11: Ponto de coleta de amostras (DTL – 10 e DTL – 11) em campo de dunas amareladas. Unidade IV, Ponta Negra, Natal.	77
Figura 4.12: Ponto de coleta (amostra CTL – 10) de sedimentos arenosos esbranquiçados. Unidade III, Parque das Dunas, Natal.	77
Figura 4.13: Ponto de coleta de amostra (ATL – 10) em uma zona de corredor de ventos (<i>Blowout</i>). Unidade I, Parque das Dunas, Natal.	78
Figura 4.14: Ponto de coleta de amostra (DTL – 12) em campo de dunas avermelhadas. Unidade IV, Nova Parnamirim.	78
Figura 4.15: Ponto de coleta de amostras (ETL – 10) em campo de dunas amarelo-avermelhadas. Unidade V, Felipe Camarão, Natal.	78
Figura 4.16: Ponto de coleta de amostras (ETL – 11) em campo de dunas avermelhadas. Unidade V, Guarapes (Av. Ranieri Mazzili), Natal.	79
Figura 4.17: Ponto de coleta de amostras (DTL – 13) em campo de dunas amareladas. Unidade IV, Felipe Camarão, Natal.	79
Figura 4.18: Figura de localização dos dois perfis de GPR levantados no Parque das Dunas (adaptado de Jesus 2002).	83
Figura 4.19: Local de levantamento do primeiro perfil de GPR (Figura 4.20).	83
Figura 4.20: Perfil 01. Seção de GPR 200MHz sobre duna próxima à Via Costeira (Natal/RN). Primeira fase de processamento – parcial, com correção topográfica.	83
Figura 4.21: Zona com ocorrência de <i>Blowout</i> , mostrando afloramento da Formação Barreiras (FB).	83

Figura 4.22: Imagem de fotografia aérea de médio formato (parte do bairro Ponta Negra), mostrando trechos de levantamento dos perfis de GPR no Parque das Dunas, próximo ao Centro de Convenções de Natal.	84
Figura 4.23: Perfil 02. Seção de GPR 100MHz sobre região de <i>blowouts</i> do Parque das dunas (Natal/RN), com correção topográfica, apresentando exagero de escala vertical de 2,5 e escala horizontal de 1:1.000.....	87
Figura 4.24: Perfil 02. Seção de GPR 50MHz sobre região de <i>blowouts</i> do Parque das dunas (Natal/RN), com correção topográfica, apresentando exagero de escala vertical de 1,2 e escala horizontal de 1:400.....	87
Figura 4.25: Foto mostrando parte do alinhamento do Perfil de GPR 02 levantado em trecho de <i>blowouts</i> no Parque das Dunas.	87
Figura 4.26: Equipe de trabalho realizando o levantamento do Perfil 02.	87
Figura 4.27: Mapa de localização de pontos para a caracterização de uso/ocupação do solo sobre campos de dunas delimitados na área de estudo. Setores de Cidade Nova-Planalto, Cidade Satélite, Conjunto dos Bancários, Loteamento San Vale, Nova Parnamirim, Parque das Colinas, Ponta Negra, Praia do Forte e Trecho da BR-101.	91
Figura 4.28: Campo de dunas avermelhadas, parcialmente vegetadas, com construção de imóveis residenciais. Região de Nova Parnamirim.....	93
Figura 4.29: Presença de imóveis construídos, terrenos loteados e máquinas de terraplenagem em Campo de dunas.....	93
Figura 4.30: Corte de dunas vegetadas para a passagem de estrada de acesso.	93
Figura 4.31: Campo de dunas cortado para a construção de estradas de acesso. Aterro de lixo (doméstico e oriundo da construção civil).	93
Figura 4.32: Estrada asfaltada passando por campo de dunas avermelhadas, com sedimentos arenosos avançando sobre a mesma. Local de retirada de material de dunas para comercialização.....	94
Figura 4.33: Terrenos aplainados e loteados em campos de dunas avermelhadas com presença de Vegetação.	94
Figura 4.34: Estradas de acesso e imóveis construídos desordenadamente sobre campo de dunas avermelhadas.....	94
Figura 4.35: Campo de dunas cortadas para passagem de via de acesso. Ponta Negra, Natal.....	94
Figura 4.36: Campo de dunas cercado, com presença de vegetação e cortado para a passagem de estrada pavimentada por asfalto. Conjunto dos Bancários, Natal.....	95
Figura 4.37: Campo de dunas amareladas, vegetado, com contensão por escoramento através de pneus de automóveis. Cidade Nova, Natal.....	95
Figura 4.38: Campo de dunas coberto pela deposição do lixo.	95
Figura 4.39: Campo de dunas cortadas, máquinas de transporte em patamar de deposição do lixo.....	95
Figura 4.40: Campo de dunas amareladas, cortadas para a construção de estrada de acesso, com presença de lixo doméstico. Conjunto Cidade Satélite, Natal.	96
Figura 4.41: Depósito de lixo adjacente a campo de dunas amareladas (ao fundo). Bairro Planalto, Natal.	96

- Figura 4.42: Casas construídas de forma desordenada sobre campo de dunas. Criação de animais e presença de lixo doméstico.96
- Figura 4.43: Campo de dunas amareladas cortadas, com avanço de sedimentos sobre a estrada. Conjunto dos Bancários, Pitimbu, Natal.96
- Figura 4.44: Trecho característico de pavimento de deflação localizado no prolongamento da Av. Prudente de Moraes, com vista (ao fundo) de imóveis construídos em terrenos de dunas aplainados.97
- Figura 4.45: Campo de dunas amareladas cortadas e sem elementos de contenção, com sedimentos avançando pela estrada. Trecho do prolongamento da Av. Prudente de Moraes, Candelária, Natal.97
- Figura 4.46: Depósito de lixo e estradas de acesso em campo de dunas vegetadas. Loteamento Parque das Colinas, Natal.97
- Figura 4.47: Imóveis residenciais construídos sobre campo de dunas esbranquiçadas. Estradas de acesso. Loteamento San Vale, Natal.97
- Figura 4.48: Campos de dunas vegetadas, em terrenos loteados, com construção de imóveis e estradas de acesso. Loteamento Parque das Colinas, Natal.98
- Figura 4.49: Deposição artificial de material arenoso sobre campo de dunas localizadas de forma marginal à BR-101 (sentido Parnamirim – Natal/RN).98
- Figura 4.50: Ao fundo, casas construídas desordenadamente sobre campo de dunas na região do Conjunto Pirangi, Natal.98
- Figura 4.51: Praia do Forte, Natal. Pista construída sobre campo de dunas ativas esbranquiçadas, com sedimentos eólicos avançando sobre a mesma. Imóveis diversos construídos na orla marítima.98

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 2.1: Precipitação pluviométrica acumulada mensalmente na cidade de Natal, em mm, no período de janeiro/1984 a maio/2002.....	11
Tabela 2.2: Temperatura média mensal do ar seco da cidade de Natal, em ° C, no período de janeiro/1984 a maio/2002.	12
Tabela 2.3: Umidade relativa média mensal de Natal, em %, no período de janeiro/1984 a maio/2002.	13
Tabela 2.4: Insolação acumulada mensal da cidade de Natal, em horas/mês, no período de janeiro/1984 a maio/2002.	14
Tabela 2.5: Velocidades médias mensais (m/s) e sentidos predominantes de ventos de Natal, no período de janeiro/1984 a maio/2002.	16
Tabela 2.6: Velocidade média mensal (m/s) de ventos da região de Natal, no período de janeiro/1960 a Junho/1997.	17
Tabela 2.7: Frequência mensal (%) de direções de ventos medidas pela estação meteorológica do MAER (Parnamirim/RN), no período de 1960 a 1996.	19
Quadro 3.1: Divisão e classificação de gerações ou sistemas de dunas, propostas por diversos autores para a região de Natal/RN.	49
Tabela 3.1: Valores de constante dielétrica, condutividade elétrica, velocidade de propagação e atenuação para diversos tipos de materiais geológicos.....	63
Quadro 4.1: Tipos de feições sedimentares eólicas observadas em campo.....	68
Tabela 4.1: Idades obtidas e localização dos depósitos datados por Termoluminescência (TL).....	80
Quadro 4.2: Tipos de uso/ocupação do solo identificados em setores da área de estudo.	92

RESUMO

Este trabalho tem como principal objetivo apresentar um conjunto de informações para que se possa complementar o conhecimento sedimentológico sobre os diversos sistemas eólicos existentes na porção centro-sul da cidade de Natal/RN, a partir da identificação de unidades eólicas existentes, da datação absoluta de sedimentos eólicos, da análise de perfis geofísicos de Radar Penetrante no Solo (GPR), bem como da identificação qualitativa de alguns tipos de uso e ocupação do solo na referida área.

Através de uma análise fotointerpretativa, elaborou-se um mapa com separação entre unidades geológicas eólicas de características deposicionais e erosivas, de forma que foram identificadas seis unidades principais: Unidade I – *Blowouts* (BW), Unidade II - Campo de dunas ativas (DA), Unidade III - Campo de dunas fixas por vegetação (DF), Unidade IV – Campo de dunas parabólicas (DP) Unidade V - Campo de dunas parabólicas avermelhadas (DV) e Unidade VI – Superfície de dunas arrasadas (SD).

Para a datação de sedimentos eólicos utilizou-se o Método da Termoluminescência (TL) em oito amostras situadas nas Unidades I, III, IV e V da área de estudo. Dentre os resultados obtidos, o maior número de amostras coletadas e com idades mais próximas e equivalentes entre si foram aquelas localizadas na Unidade IV, com valores predominantes datando cerca de 15.000 anos.

Dois perfis de GPR foram levantados em trechos do Parque das Dunas, próximo ao “Centro de Convenções de Natal”. Os resultados obtidos mostraram migração de uma nova geração de duna sobre outra mais antiga, o contato geológico com a Formação Barreiras (FB) e linhas de representação de nível do lençol freático presente no interior da duna.

Em um estudo qualitativo sobre aspectos de uso e ocupação do solo realizado sobre campos de dunas da área estudada, identificaram-se alguns tipos de uso e ocupação, sendo os principais: a construção de imóveis residenciais e/ou comerciais, cortes em dunas para a construção de vias de acesso e deposição de lixo sobre esses campos.

ABSTRACT

The main purpose of this study is to present complementary information on eolian systems that occur in the Center-South portion of the city of *Natal, Rio Grande do Norte* State, Brazil. The investigation focused on the identification of eolian units, absolute luminescence dating of eolian sediments, to geophysical analysis by Ground Penetrating Radar (GPR), as well as qualitative identification of the use and terrain occupation in the study area.

A map was elaborated in order to separate eolian geological units, and describe their depositional and erosional characteristics, by aerial photo-interpretation. The study lead to the identification of six main units: Unit I - Blowouts (BW), Unit II - Active dunes field (DA), Unit III - Fixed dunes field (DF), Unit IV - Parabolic dunes field (DP), Unit V - Red parabolic dunes field (DV) and Unit VI - Devastated dunes surface (SD).

Were analysed by Thermoluminescence (TL) Method Eight samples from units I, III, IV and V. The largest number of samples with similar or close resulted yielded ages about 15,000 years.

Two GPR profiles were obtained in areas of the Dunes Park, near the "Natal's Conventions Center". Results showed the migration a new dune generation over on older one, the geologic contact between dunes and the *Formação Barreiras (FB)*, and the groundwater level inside the dune unit.

The qualitative study on the use and terrain occupation of the soil in some dunes fields in the study area, it was possible identify some use and occupation, as the following ones: the construction of residential and commercial buildings, dunes fields cutted for construction to access road and garbage deposition.

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação e Objetivos

Na zona costeira do Nordeste brasileiro são encontradas diversas acumulações arenosas de origem eólica, em especial na costa potiguar, onde esses depósitos ocorrem de forma bastante expressiva. Os campos de dunas existentes no Estado do Rio Grande do Norte destacam-se pela exuberância de suas formas, pela riqueza de seus tipos, bem como pela suposta ocorrência de várias gerações, onde cada uma destas pode representar importante modificação climática quaternária.

Em trabalhos publicados no final da década de 60 (Andrade 1968), início da década de 70 como, por exemplo, Costa (1971) e das décadas de 80 e 90, podendo-se destacar os trabalhos de Costa e Perrin (1981), Nogueira (1982), Nogueira *et al.* (1984), Silveira e Vilaça (1985), Vilaça (1986), Vilaça *et al.* (1986), Nazaré Jr. (1993) e Duarte (1995), foram feitas diversas tentativas de subdivisão em “gerações” (ou “sistemas”) para as dunas existentes na região de Natal/RN, utilizando-se critérios relacionados à morfologia, extensão, topografia, às condições de fixação e migração, idade relativa e de coloração destas formas de leito. Autores como Santos *et al.* (1992), Melo (1995, 1998) abordaram principalmente aspectos faciológicos, de uso e ocupação e ambientais das dunas, caracterizando-as quanto à forma, geometria, estabilização, ao potencial hidrogeológico e aos processos pedogenéticos.

Destaca-se a importância ambiental concernente às dunas, ressaltada nos trabalhos de Melo (1995) e Medeiros (2001). Melo (1995) descreve a alta potencialidade das dunas localizadas na porção sul da cidade de Natal, como meio de infiltração de águas pluviais para os estratos sedimentares arenosos do Grupo Barreiras, alimentando assim o manancial aquífero subterrâneo, que é a fonte de abastecimento de água potável mais viável para utilização da cidade. Atualmente, cerca de 70 % do consumo desta cidade é do origem subterrânea. Segundo Medeiros (2001), os campos de dunas eólicas desempenham um papel geológico de alta relevância em algumas regiões de sistemas

lacustres em Natal, pois além de exercer um efeito protetor, essas dunas regulam a distribuição das águas subterrâneas, contribuindo ainda com uma parcela de alimentação para as lagoas que formam esses sistemas, mantendo-os abastecido de forma permanente.

Os estudos anteriores sobre os campos dunas da região costeira de Natal/RN são importantes, principalmente dos pontos de vista histórico e ambiental, mas insuficientes ao atual estágio de conhecimento da Geologia Sedimentar e da Estratigrafia. A situação é mais crítica no que tange a explicação dos mecanismos responsáveis pelo desenvolvimento destes campos de dunas. A falta de parâmetros estratigráficos e de datações absolutas são os principais empecilhos para a perfeita correlação destes eventos de avanço dos campos de dunas, de cunho aparentemente regional, com outros eventos climáticos mundiais ou mesmo pela mudança relativa do nível do mar.

Os problemas mais críticos estão relacionados as datações que são escassas e realizadas até o momento sem um controle geológico mais apurado. A simples datação de dunas não constitui num avanço do conhecimento, já que a forma de relevo chamada genericamente de “dunas” pode encerrar uma complexa associação de várias gerações de dunas, necessitando-se, portanto, da utilização de outros procedimentos e ferramentas como, por exemplo, a aplicação de sondagens geofísicas como o Radar de Penetração no Solo (*Ground Penetrating Radar - GPR*).

Objetiva-se neste trabalho, principalmente, ressaltar a importância da obtenção de um conjunto de informações para que se possa complementar o conhecimento científico existente sobre os diversos campos de dunas da região de Natal/RN: mapeando as várias gerações de dunas existentes; trazendo uma correlação cronológica entre essas gerações identificadas, por meio da realização de datações absolutas (pelo Método da Termoluminescência – TL) em amostras coletadas em algumas unidades eólicas mapeadas; estudando sua geometria interna com uso de técnicas geofísica de imageamento de detalhes (GPR) e ainda, caracterizando aspectos relacionados às questões de uso e ocupação do solo na área estudada.

1.2 Localização da Área de Estudo

A área objeto deste estudo localiza-se na porção Centro–Sul da Cidade de Natal e área limítrofe com a porção Norte (próximo ao Rio Pitimbu) da Cidade de Parnamirim, Estado do Rio Grande do Norte, região Nordeste do Brasil, compreendendo uma área limitada pelas coordenadas $5^{\circ}45'00''$ / $5^{\circ}55'50''$ de latitude S e $35^{\circ}07'58''$ / $35^{\circ}18'48''$ de Longitude W (Figura 1.1). As principais vias de acesso à área são as BR's 101, 206 e 304 e as RN's 37, 42, 48 e 65.

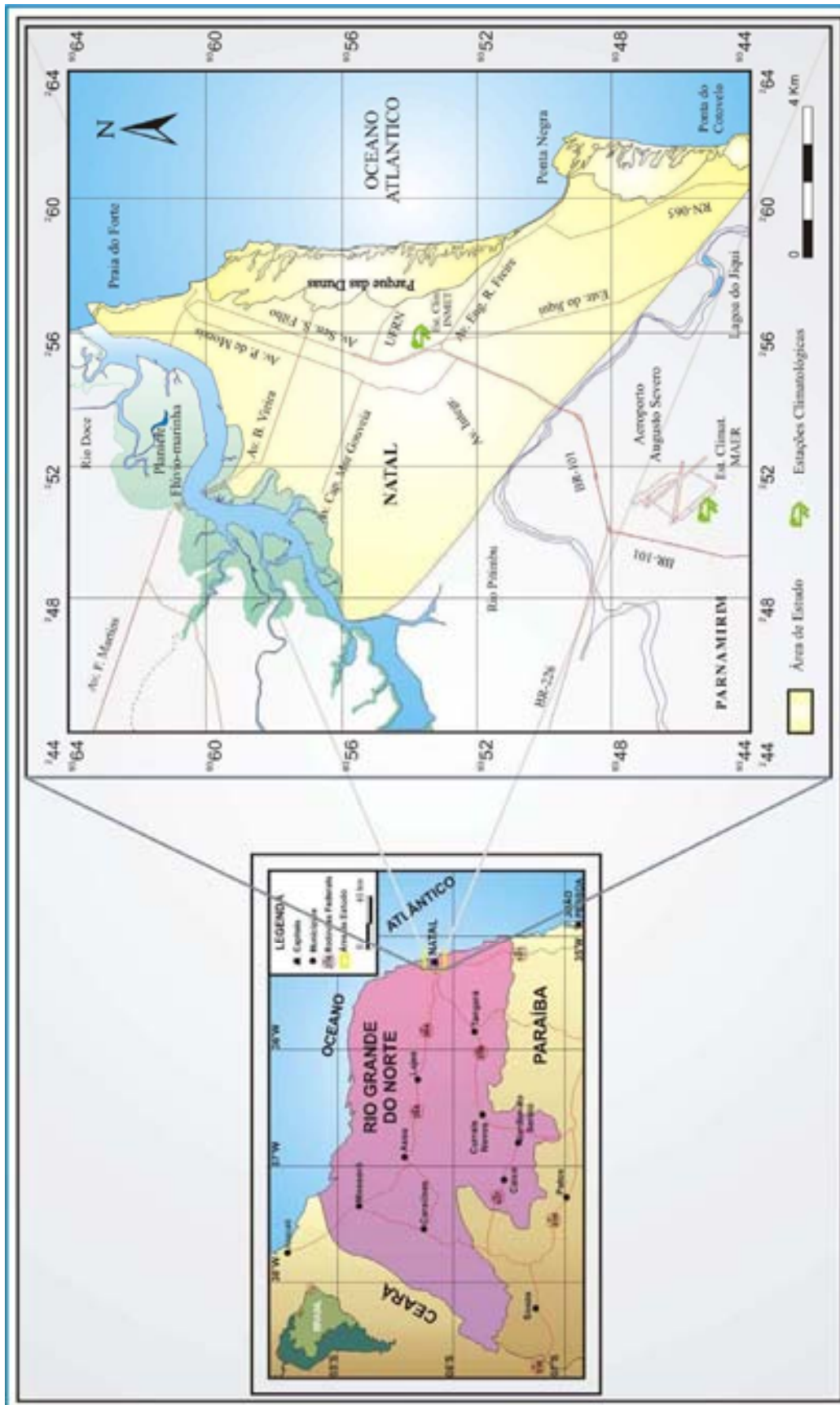


Figura 1.1: Localização da Área de Estudo.

1.3 Metodologia Utilizada

1.3.1 Etapas de Gabinete

As etapas de gabinete consistiram em pesquisa e levantamento bibliográfico sobre os vários temas objetos de análise neste estudo; a fotointerpretação para elaboração de mapa base, com identificação das unidades geológicas eólicas existentes na área de estudo; registro, análise e interpretação de dados obtidos em trabalhos de campo e, por fim, elaboração do presente texto desta dissertação.

O levantamento bibliográfico aqui descrito abrangeu a coleta e análise de informações que vieram a fundamentar os princípios básicos relativos aos temas:

- A análise de trabalhos anteriores, realizados por diversos autores, com o objetivo de separar os diversos sistemas ou gerações de campo de dunas encontradas na região de Natal/RN.
- A caracterização dos fatores físicos atuantes na área de estudo, envolvendo o clima, a vegetação, o solo, o relevo e a hidrografia.
- A caracterização do sistema de dunas eólicas, quanto ao mecanismo de transporte e sedimentação de grãos e a identificação das feições sedimentares deposicionais e erosivas.
- A análise dos princípios fundamentais e metodologia empregada na datação dos depósitos eólicos por Termoluminescência (TL).
- A análise dos princípios fundamentais e metodologia empregada na sondagem geofísica com o Radar Penetrante no Solo (GPR).

Para a elaboração do mapa base foi realizado um estudo fotointerpretativo com a utilização de fotografias aéreas (ano 1979) na escala de 1:40.000 e da carta topográfica da SUDENE (ano 1983), escala 1:100.000. Esse mapa foi posteriormente vetorizado. Nele

foram identificadas as unidades geológicas, em especial, dos campos de dunas eólicas e das feições erosivas como, por exemplo, das regiões de corredores de vento (*blow out*).

1.3.2 Etapas de Campo

Nas primeiras etapas de campo foram identificadas as feições sedimentares características do sistema eólico da área estudada; coletadas amostras de sedimentos para realização de datação por termoluminescência; levantados perfis geofísicos com GPR e coletadas informações sobre aspectos de uso e ocupação dos campos de dunas de Natal.

Para incrementar as informações necessárias à elaboração do mapa base, com a identificação de unidades eólicas deposicionais e erosivas na área de estudo, procedeu-se a uma caracterização de feições sedimentares eólicas. Para tanto, obtiveram-se informações de campo a partir de observações e registro de fotografias em determinados setores da área, em campos de dunas que até então não tinham sofrido alterações que venham a descaracterizar suas feições originais.

Para a datação dos depósitos eólicos, pelo Método da Termoluminescência, em campos de dunas da área de estudo, foram adquiridas oito amostras. O tratamento das amostras e determinação das idades TL foram processados no Laboratório de Vidros e Datação da Faculdade de Tecnologia de São Paulo (Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza - UNESP).

Foram levantados perfis com o GPR em duas áreas próximas, dentro do Parque das Dunas, com o objetivo de identificar diferentes gerações em um mesmo corpo dunar. Desta forma, auxiliar na identificação de diferentes estratos, dentro da duna, para serem datados.

Realizou-se ainda uma análise qualitativa sobre as relações de uso e ocupação do solo em campos de dunas por meio de aquisição de fotografias obtidas na área de estudo.

CAPÍTULO 2: CONDICIONAMENTO FÍSICO DA ÁREA

2.1 Clima

A cidade de Natal/RN está situada em uma zona de transição entre os tipos climáticos As' – quente e úmido, devido à elevada precipitação que o caracteriza e BSh – semi-árido quente, devido à forte evaporação, segundo a classificação de Köppen (Nogueira 1982). Esses tipos de clima na região recebem influência das massas de ar advindas do Oceano Atlântico, sendo as mesmas constituídas pelos ventos alísios de direção SE-NW.

Dados climáticos de precipitação pluviométrica, temperatura, umidade relativa do ar, insolação, bem como de velocidade e direção dos ventos atuantes, foram obtidos nos boletins climatológicos das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET/UFRN 2002) e do Ministério da Aeronáutica (MAER 1997).

2.1.1 Precipitação Pluviométrica

Os valores de precipitação pluviométrica de Natal têm apresentado um alto grau de irregularidade, tanto na distribuição anual quanto nos últimos vinte anos. De acordo com os dados fornecidos pelo INMET/UFRN (2002), no período de 1984 a Maio/2002 (Tabela 2.1), a precipitação pluviométrica anual atingiu um máximo de 2.438,50 mm em 1986 e um mínimo de 859,00 mm em 1993, apontando uma média anual de 1.643,48 mm. As maiores precipitações geralmente ocorrem nos meses de março a julho e as menores de outubro a janeiro.

Tabela 2.1: Precipitação pluviométrica acumulada mensalmente na cidade de Natal, em mm, no período de janeiro/1984 a maio/2002.

Anos	MESES												Somatório
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
1984	48,9	88,3	247,4	393,4	623,7	247,1	140,1	190,7	39,6	48,9	14,4	19,0	2101,50
1985	144,3	256,1	352,5	177,3	354,0	191,6	394,8	181,3	127,6	1,4	19,9	23,3	2224,10
1986	52,5	238,0	284,3	577,3	355,9	316,9	112,5	194,0	81,0	57,3	127,7	41,1	2438,50
1987	26,6	76,9	246,8	280,9	87,0	349,3	281,7	36,7	50,8	20,7	15,5	5,4	1478,30
1988	18,7	127,4	332,4	277,9	370,0	404,0	309,0	128,8	78,3	9,7	21,0	81,5	2158,70
1989	38,9	35,1	70,3	341,2	137,3	88,8	102,9	121,9	50,5	39,5	24,4	104,5	1155,30
1990	42,5	23,6	58,9	141,4	187,9	275,7	167,2	195,1	61,0	23,1	54,5	2,7	1233,60
1991	27,1	16,4	106,1	306,5	304,9	234,6	143,5	73,4	9,4	24,4	45,5	6,8	1298,60
1992	52,6	184,4	288,7	315,0	130,8	343,4	80,5	157,7	32,1	4,0	26,2	6,4	1621,80
1993	21,6	29,4	84,8	227,8	39,9	164,9	129,6	35,8	10,9	61,9	15,5	36,9	859,00
1994	94,5	86,2	237,0	275,7	279,7	624,9	399,6	84,6	57,3	4,5	20,4	19,9	2184,30
1995	24,6	60,6	278,0	237,4	392,3	254,4	408,3	34,8	21,6	4,2	41,3	0,4	1757,90
1996	37,0	69,7	216,2	359,3	154,6	251,4	145,8	125,4	86,7	78,4	45,1	17,2	1586,80
1997	13,3	72,8	159,6	256,2	340,0	77,7	79,8	121,3	5,1	3,0	2,7	55,8	1187,30
1998	48,7	78,3	81,4	74,7	163,0	210,0	793,9	138,7	19,0	13,7	8,5	17,0	1646,90
1999	12,6	143,8	139,2	175,8	289,5	131,5	31,1	49,8	51,1	14,5	5,4	66,9	1111,20
2000	50,0	83,9	122,3	177,4	230,0	577,4	482,3	288,0	205,1	8,7	12,1	23,0	2260,20
2001	30,1	6,8	133,8	360,9	14,4	373,6	145,2	104,4	28,4	13,7	17,1	50,2	1278,60
2002	113,9	82,3	480,0	137,7	122,9	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	47,28	92,63	206,30	268,09	240,94	284,29	241,54	125,69	56,42	23,98	28,73	31,55	1643,48

Fonte: INMET - Estação Climatológica Principal/UFRN-2002.

2.1.2 Temperatura

A Tabela 2.2 apresenta valores de temperatura média mensal máximo para o mês de março (27,51 °C) e mínimo para o mês de julho (25,01 °C), com amplitude térmica de 2,50 °C. Os meses de temperaturas mais elevadas vão de dezembro a abril e de temperaturas menos elevadas de junho a agosto.

Tabela 2.2: Temperatura média mensal do ar seco da cidade de Natal, em ° C, no período de janeiro/1984 a maio/2002.

Anos	MESES											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1984	27,9	28,1	28,9	27,1	25,5	25,3	24,4	26,1	26,5	28,0	27,2	26,7
1985	27,4	27,2	27,0	27,1	24,8	27,0	25,1	26,1	26,5	27,6	27,6	27,7
1986	28,0	27,4	26,2	27,1	29,7	24,7	24,9	25,2	25,4	26,5	26,6	27,2
1987	28,1	28,4	27,4	28,0	27,2	26,7	26,9	26,9	27,1	27,4	28,1	26,8
1988	28,6	28,6	27,9	27,2	29,8	26,3	25,2	25,5	26,2	27,3	26,8	27,4
1989	28,1	28,2	28,3	26,6	26,8	26,3	25,4	25,6	27,0	27,4	27,3	27,2
1990	26,9	28,8	28,3	28,2	27,0	28,5	25,9	24,7	26,6	27,0	27,3	27,2
1991	27,1	27,5	27,3	27,2	26,8	25,3	25,1	24,4	25,2	26,4	26,6	27,1
1992	27,5	26,8	26,6	26,9	26,5	25,2	24,5	24,5	25,7	26,3	26,5	27,0
1993	27,0	27,4	27,6	27,3	27,0	25,7	25,1	26,0	26,9	26,6	26,9	28,2
1994	27,3	25,8	27,3	26,9	26,6	26,0	25,3	26,3	25,9	26,4	26,5	26,8
1995	27,2	27,6	27,6	26,9	26,0	25,0	24,0	25,1	25,3	26,1	26,3	26,8
1996	27,4	27,6	27,0	26,7	26,4	25,0	24,5	24,6	25,5	26,4	26,9	27,5
1997	27,1	27,6	27,2	26,6	25,6	25,3	24,8	24,6	25,8	26,8	27,2	27,5
1998	27,0	28,4	28,8	28,2	27,0	25,6	24,5	25,0	25,9	26,5	26,9	27,2
1999	26,7	26,7	26,8	26,6	25,7	25,2	24,6	24,2	25,3	25,0	26,5	26,4
2000	26,6	26,8	27,1	26,3	25,8	24,5	23,6	24,5	25,2	25,8	25,6	26,3
2001	26,2	26,9	26,7	25,8	25,6	24,5	24,2	23,9	25,2	26,0	26,7	27,7
2002	27,2	27,6	26,9	26,8	26,8	-	-	-	-	-	-	-
Média	27,46	26,90	27,51	27,16	26,77	25,82	25,01	26,66	26,66	26,73	26,95	27,17

Fonte: INMET - Estação Climatológica Principal/UFRN-2002.

2.1.3 Umidade Relativa do Ar

A média mensal de umidade relativa do ar (Tabela 2.3) varia de 75,13 % (outubro) a 82,94 % (maio). Os menores valores ocorrem, portanto, em épocas de temperaturas mais altas e os maiores valores nos períodos de temperaturas mais baixas.

Tabela 2.3: Umidade relativa média mensal de Natal, em %, no período de janeiro/1984 a maio/2002.

ANOS	MESES											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1984	80	80	88	88	87	80	83	75	72	71	68	70
1985	73	77	83	81	87	77	81	77	71	69	91	73
1986	72	77	75	82	81	83	78	77	75	73	79	76
1987	73	74	79	78	76	78	73	72	71	71	72	70
1988	72	72	71	78	80	78	81	74	69	68	71	74
1989	73	73	73	84	80	83	80	79	75	73	77	78
1990	73	86	76	77	80	83	81	82	74	74	75	74
1991	75	76	80	81	85	83	79	78	77	75	76	78
1992	78	81	83	83	80	85	80	80	77	73	76	77
1993	77	81	77	81	84	86	86	83	80	80	81	81
1994	86	80	85	86	85	89	85	81	80	77	79	81
1995	80	77	81	85	87	87	87	80	80	78	80	78
1996	79	78	83	84	81	84	84	83	81	80	83	81
1997	80	81	82	85	87	80	83	83	79	80	84	83
1998	84	83	82	84	84	85	87	83	80	77	77	77
1999	77	78	80	82	83	80	80	79	83	83	83	86
2000	87	89	89	91	90	93	94	91	90	87	87	79
2001	81	78	79	84	80	88	86	84	80	75	75	77
2002	81	80	83	83	83							
Média	77,00	78,37	79,87	82,44	82,94	82,56	81,75	79,12	76,50	75,12	78,25	77,31

Fonte: INMET - Estação Climatológica Principal/UFRN-2002.

2.1.4 Insolação

Conforme dados apresentados na Tabela 2.4, as maiores insolações de Natal ocorrem no período mais seco do ano, de agosto a janeiro, atingindo uma média de 292,00 horas no mês de outubro.

Tabela 2.4: Insolação acumulada mensal da cidade de Natal, em horas/mês, no período de janeiro/1984 a maio/2002.

Anos	MESES											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1984	125,0	249,0	214,0	162,0	152,0	213,0	200,0	245,0	275,0	270,0	290,0	300,0
1985	240,0	175,0	138,0	133,0	183,0	211,0	164,0	244,0	244,0	304,0	300,0	140,0
1986	256,0	170,0	179,0	157,0	195,0	162,0	238,0	237,0	220,0	290,0	234,0	253,0
1987	219,0	260,0	110,0	186,0	275,0	198,0	130,0	240,0	269,0	258,0	247,0	224,0
1988	211,0	187,0	223,0	176,0	164,0	194,0	254,0	249,0	253,3	302,0	413,0	351,0
1989	208,0	241,0	233,0	147,0	234,0	411,0	125,0	237,0	280,0	303,0	280,0	191,0
1990	284,0	181,0	266,0	242,0	237,0	233,0	245,0	226,0	276,0	296,0	272,0	306,0
1991	212,0	219,0	218,0	231,0	176,0	201,0	212,0	234,0	238,0	290,0	253,0	280,0
1992	209,9	174,9	195,1	225,1	243,0	190,1	248,3	220,5	271,3	293,0	174,2	253,5
1993	235,5	262,8	290,2	234,7	270,2	233,6	246,4	272,5	272,6	276,1	274,3	302,3
1994	273,1	222,9	196,8	195,9	194,5	122,2	210,7	262,8	250,8	281,1	289,9	252,5
1995	260,6	211,8	253,9	177,3	207,2	171,0	179,1	286,1	250,3	300,8	244,8	307,0
1996	269,6	143,6	147,1	189,0	256,5	196,7	208,8	224,5	247,5	302,6	280,5	315,7
1997	266,9	237,6	236,6	205,0	235,0	266,3	270,6	244,2	288,2	309,1	304,6	318,5
1998	259,4	265,0	260,4	273,7	243,5	187,6	210,3	223,7	274,3	300,1	285,5	317,1
1999	269,1	222,8	264,1	246,2	224,5	251,4	247,6	259,8	277,5	296,0	300,1	245,0
2000	269,7	-	-	221,4	219,8	210,5	152,0	254,5	244,5	298,2	285,5	254,6
2001	263,5	246,3	252,0	193,6	294,8	168,3	225,6	264,4	280,8	295,0	286,1	279,1
2002	183,5	226,9	220,4	207,0	247,1	-	-	-	-	-	-	-
Média	237,44	213,96	214,08	198,81	218,15	215,12	211,86	244,13	261,74	292,00	277,68	272,29

Fonte: INMET - Estação Climatológica Principal/UFRN-2002.

2.1.5 Ventos

As Tabelas 2.5 e 2.6 apresentam valores de velocidades médias mensais (em m/s) e de sentidos predominantes de ventos para a região de Natal/RN, medidas nas estações climatológicas do INMET/UFRN (2002) e do MAER (1997), respectivamente.

As velocidades médias mensais apresentadas na Tabela 2.5 foram obtidas em um período de dezoito anos e cinco meses (de janeiro/1984 a maio/2002). Apresentam maior intensidade entre os meses de agosto a novembro e intensidade mais baixa entre os meses de março a julho, atingindo dessa forma um valor máximo de 5,1 m/s nos meses de setembro e outubro e um valor mínimo de 3,7 m/s no mês de março. Verifica-se que as direções de ventos situam-se no quadrante SE, soprando predominantemente no sentido

E-SE de dezembro a janeiro, SE-E nos meses de fevereiro a abril e de setembro a novembro e SE-S entre os meses de maio a agosto.

A Tabela 2.6 apresenta valores de velocidades médias mensais obtidas em um período de trinta e sete anos e seis meses (de janeiro/1960 a junho/1997). Essas velocidades apresentam maior intensidade entre os meses de julho a novembro, com intensidade mais baixa entre os meses de fevereiro e junho, atingindo um valor máximo de 4,3 m/s no mês de agosto e um valor mínimo de 2,9 m/s no mês de abril.

Apesar da diferença de intervalos de medição de dados existente para as tabelas (Tabelas 2.5 e 2.6) das duas estações climatológicas mencionadas (dezoito anos e cinco meses e trinta e sete anos e seis meses) e da localização de pontos de medição de cada estação distinta (Figura 1.1), pode-se considerar uma forte semelhança em relação aos valores de velocidade média mensal obtidos para as duas estações climatológicas.

A Figura 2.1 apresenta duas curvas comparativas de variação de velocidades médias mensais, das duas estações climatológicas analisadas, obtidas a partir de um mesmo período temporal (para as curvas INMET 1984-1996 e MAER 1994-1996), bem como uma outra curva de valores médios mensais obtidos na estação climatológica do INMET/UFRN no período de 1984 a 2001. Observa-se que, para os valores médios mensais, obtidos a partir de dados relativos ao período de 1984 a 1996, existe semelhança quanto à intensidade das velocidades medidas nas duas estações, chegando a haver coincidência de valores nos meses de março (3,6 m/s), julho (4,1 m/s), setembro (5,1 m/s) e dezembro (4,4 m/s). Observa-se ainda a semelhança, e por vezes coincidência no padrão de comportamento entre as duas curvas obtidas na estação climatológica do INMET/UFRN para intervalos de tempos distintos, o que demonstra a ocorrência de certa regularidade de intensidade de velocidades de ventos para a cidade de Natal nos últimos dezoito anos.

Tabela 2.5: Velocidades médias mensais (m/s) e sentidos predominantes de ventos de Natal, no período de janeiro/1984 a maio/2002.

Anos	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1984	5,2 SE-E	5,5 SE-E	3,8 E-SE	3,3 SE-S	6,4 SE-S	4,7 SE-S	5,7 S-SE	6,0 SE-E	5,3 SE-E	5,3 SE-E	5,0 SE-E	4,2 E-SE
1985	3,7 E-SE	6,3 E-SE	2,0 SE-E	2,3 S-SE	2,2 SE-S	3,6 SE-S	1,3 SE-S	3,3 SE-E	4,3 SE-E	4,4 E-SE	4,9 SE-E	4,5 SE-E
1986	4,6 SE-E	3,3 SE-E	2,4 SE-E	3,2 SE-S	3,3 SE-S	4,0 S-SE	3,8 SE-S	3,6 SE-E	5,3 SE-S	4,0 E-SE	4,6 SE-E	4,2 SE-S
1987	4,7 SE-E	4,3 SE-E	3,0 SE-E	4,0 SE-E	3,8 SE-S	4,4 SE-E	3,5 SE-S	4,1 SE-S	4,3 SE-S	4,2 E-SE	4,0 E-SE	4,3 SE-E
1988	3,9 E-SE	4,0 SE-E	3,1 E-SE	3,4 SE-E	3,6 SE-S	3,4 SE-E	5,8 E-SE	5,9 SE-S	5,7 SE-E	4,6 E-SE	4,8 SE-E	3,7 E-SE
1989	4,0 E-SE	3,6 E-SE	3,1 E-SE	3,1 SE-E	5,1 SE-E	3,1 S-SE	3,1 S-SE	4,2 SE-S	4,1 SE-E	5,2 SE-E	4,0 SE-E	3,9 E-SE
1990	4,6 SE-E	4,2 SE-E	4,7 SE-E	4,6 SE-E	4,0 SE-E	4,6 SE-E	4,2 SE-E	4,4 SE-E	5,0 SE-E	7,8 SE-E	5,0 SE-E	4,7 E-SE
1991	4,7 E-SE	5,2 E-SE	4,3 E-SE	6,1 SE-E	4,2 SE-E	4,6 SE-E	5,0 SE-E	5,5 SE-S	5,5 SE-E	5,3 E-SE	4,7 E-SE	4,6 SE-E
1992	4,7 E-SE	4,7 SE-E	4,4 SE-E	4,5 SE-E	4,3 SE-E	4,1 SE-E	4,5 SE-E	4,7 SE-S	5,0 SE-E	5,0 SE-E	4,9 SE-E	5,0 SE-E
1993	5,0 SE-E	5,2 E-SE	5,0 E-SE	4,8 SE-E	5,0 SE-E	4,2 SE-E	4,5 SE-E	5,5 SE-S	5,1 SE-E	5,5 SE-E	5,6 SE-E	5,1 SE-E
1994	4,1 E-SE	4,4 SE-E	3,4 E-SE	3,5 SE-S	3,8 SE-S	2,9 SE-S	4,5 SE-S	5,5 SE-S	5,7 SE-E	5,6 SE-E	5,4 SE-E	4,9 E-SE
1995	4,8 SE-E	3,8 SE-E	4,1 SE-E	3,3 SE-E	3,3 SE-E	4,1 SE-S	3,9 SE-E	5,3 SE-E	5,6 SE-E	5,1 E-SE	4,6 E-SE	4,2 SE-E
1996	4,7 SE-E	4,2 E-SE	2,9 E-SE	2,6 SE-S	4,2 SE-S	4,4 SE-S	4,1 SE-S	3,9 SE-S	5,4 SE-S	5,4 SE-E	4,4 SE-E	4,5 SE-E
1997	4,5 E-SE	4,8 SE-E	3,9 SE-E	3,6 SE-E	3,9 SE-E	4,0 SE-E	4,7 SE-S	4,9 SE-E	4,9 SE-E	4,9 SE-E	4,7 E-SE	4,3 E-SE
1998	4,1 E-SE	4,6 SE-E	4,6 SE-E	4,8 SE-E	4,7 SE-S	4,5 SE-S	4,1 SE-E	5,4 SE-E	5,5 SE-E	5,4 SE-E	4,4 E-SE	4,6 E-SE
1999	4,6 E-SE	4,6 E-SE	4,2 E-SE	4,6 SE-E	3,9 SE-E	4,4 SE-S	4,6 SE-S	4,9 SE-S	5,1 SE-E	4,4 SE-E	4,2 E-SE	4,3 E-SE
2000	4,0 E-SE	3,8 SE-E	4,3 E-SE	3,7 SE-E	4,2 SE-S	3,6 SE-S	3,6 SE-S	4,5 SE-S	4,9 SE-S	5,2 SE-E	4,5 SE-E	4,1 E-SE
2001	5,1 SE-E	4,8 SE-E	3,7 SE-E	4,0 SE-S	4,2 SE-E	3,8 SE-S	4,5 SE-S	5,4 SE-S	5,2 SE-E	4,6 SE-E	4,7 SE-E	4,3 SE-E
2002	3,6 SE-E	4,3 SE-E	3,6 SE-E	3,7 SE-S	3,8 SE-S	-	-	-	-	-	-	-
Média	4,5	4,5	3,7	3,9	4,1	4,1	4,2	4,8	5,1	5,1	4,7	4,4
Sentido Médio Predominante	E-SE	SE-E	SE-E	SE-E	SE-S	SE-S	SE-S	SE-S	SE-E	SE-E	SE-E	E-SE

Fonte: INMET - Estação Climatológica Principal/UFRN-2002.

Tabela 2.6: Velocidade média mensal (m/s) de ventos da região de Natal, no período de janeiro/1960 a Junho/1997.

Anos	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1960	3,1	3,1	2,6	3,1	3,1	4,1	4,6	5,1	4,6	4,6	4,1	4,1
1961	3,6	3,1	3,1	3,6	3,6	4,1	4,6	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
1962	3,6	4,1	3,6	3,1	4,6	4,1	4,6	4,6	4,1	4,1	3,6	3,6
1963	3,6	3,6	3,1	3,6	4,1	4,1	4,6	4,6	4,1	3,6	3,1	2,6
1964	2,1	2,6	2,6	2,6	2,6	3,1	3,1	3,6	3,6	3,1	3,1	3,1
1965	3,1	3,6	3,1	3,1	3,6	3,6	3,1	3,1	3,6	3,1	3,1	3,1
1966	3,1	2,6	3,1	-	3,6	3,6	3,6	3,6	3,1	3,6	3,1	3,1
1967	3,1	2,6	3,1	-	3,1	3,6	4,1	4,6	4,1	4,6	4,1	3,6
1968	3,6	3,6	3,1	3,1	4,1	5,1	4,6	4,6	4,6	4,1	3,6	3,6
1969	3,6	3,1	3,1	3,6	3,1	3,6	3,6	4,6	4,1	4,6	4,6	3,6
1970	3,6	3,6	3,6	3,6	4,1	3,6	4,1	4,6	4,1	3,1	3,6	3,6
1971	4,1	3,6	3,6	2,6	3,6	3,1	4,1	3,6	3,1	3,1	3,1	4,1
1972	3,1	3,1	2,6	3,1	2,6	3,1	2,6	2,6	3,6	3,1	2,6	3,1
1973	3,6	2,6	2,6	2,1	2,6	2,6	3,1	4,1	4,1	3,6	3,6	2,6
1974	3,1	3,1	2,6	2,1	2,6	3,6	4,6	4,1	3,6	3,6	3,1	3,6
1975	3,6	3,6	2,6	2,6	3,6	3,6	3,6	4,6	4,6	3,6	3,6	3,1
1976	3,1	2,1	2,1	3,1	3,1	3,1	3,6	4,1	3,6	3,1	3,1	3,1
1977	2,6	3,1	2,6	2,1	2,6	2,1	3,1	2,6	3,1	3,1	3,1	3,1
1978	3,6	2,6	2,6	2,6	2,6	3,6	2,6	3,1	3,6	3,1	3,1	3,1
1979	2,6	2,6	3,1	2,6	2,6	3,6	3,6	3,6	3,6	-	5,1	5,1
1980	5,1	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	5,1	4,6	-	-	5,1	4,6
1981	5,1	-	4,1	4,6	5,1	5,1	-	-	-	-	-	-
1982	3,1	3,1	2,6	2,6	3,1	3,1	2,6	2,6	2,6	2,6	3,1	2,6
1983	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,6	2,6	2,1	2,1
1984	2,1	2,1	-	-	-	2,6	3,1	2,6	2,6	2,6	2,6	-
1985	-	-	-	-	2,6	2,1	3,1	2,6	3,1	2,1	3,1	3,1
1986	4,1	3,1	2,1	2,6	3,1	4,1	3,1	3,1	4,6	4,6	4,6	4,1
1987	3,1	4,6	3,1	4,1	4,1	3,1	3,1	4,1	4,6	4,6	4,1	4,6
1988	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	4,1	4,6	-	-	5,1	4,6	4,1
1989	4,1	4,6	3,1	3,1	3,1	3,1	4,1	4,6	4,6	5,1	4,6	4,6
1990	5,1	4,6	4,6	4,1	4,1	4,1	4,1	4,6	4,6	5,1	5,1	4,6
1991	4,6	4,6	4,1	4,1	4,6	4,6	5,1	5,1	5,1	5,1	4,6	4,1
1992	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,6	4,6	4,6	5,1	4,6
1993	4,6	4,6	4,6	4,6	4,1	4,6	4,6	4,6	4,6	5,1	5,1	5,1
1994	4,1	4,1	3,1	4,1	4,1	3,1	4,1	5,1	5,1	5,1	5,1	4,6
1995	4,1	4,1	4,1	3,1	3,1	4,6	4,6	-	-	5,1	5,1	5,1
1996	4,1	4,1	3,1	3,1	4,1	4,6	5,1	5,1	5,1	4,6	4,1	4,1
1997	4,1	4,6	4,1	3,1	4,1	4,1	-	-	-	-	-	-
Média	3,6	3,4	3,3	2,9	3,4	3,7	4,1	4,3	4,2	4,0	3,8	3,7

Fonte: MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA-1997.

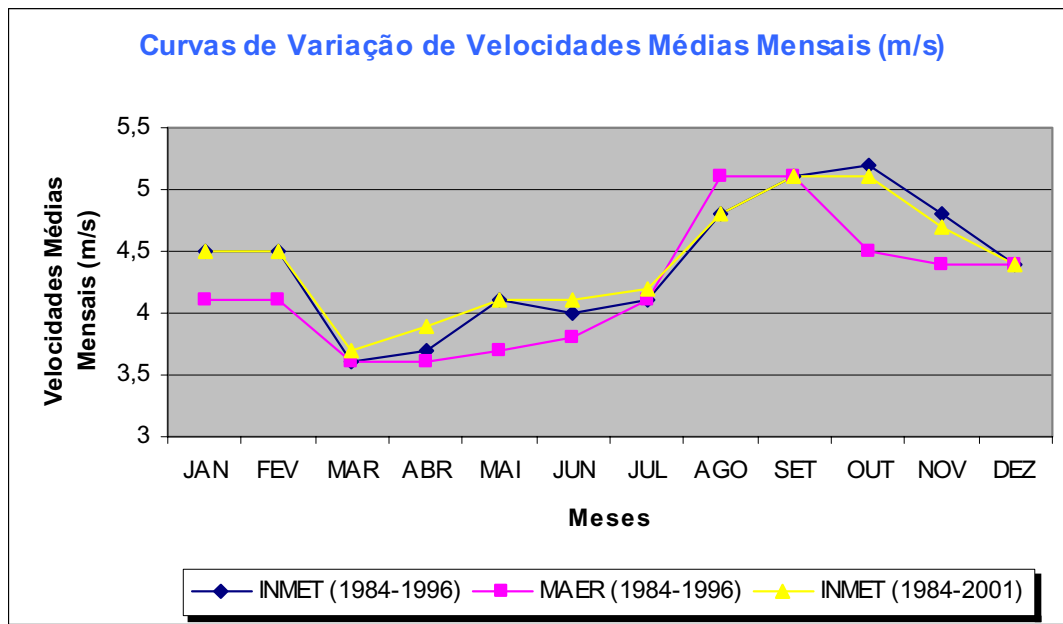


Figura 2.1: Curvas comparativas de valores de velocidades médias mensais (m/s), obtidos segundo dados das estações climatológicas do INMET/UFRN (2002) e do MAER (1997). As duas primeiras curvas: INMET (1984-1996) e MAER (1984-1996), com valores médios mensais obtidos de um período de treze anos e a terceira curva: INMET (1984-2001) com valores médios mensais obtidos para um período de 18 anos.

A Tabela 2.7 traz a frequência percentual dos valores de direção de ventos medidos pela estação meteorológica do MAER (1997), para os meses de janeiro a dezembro, no período de 1960 a 1996, com destaque para as direções mais frequentes em cada mês. Observa-se uma predominância das direções 100° (de janeiro a março e de novembro a dezembro), 120° (abril e de agosto a outubro) e 180° (de maio a julho).

Tabela 2.7: Frequência mensal (%) de direções de ventos medidas pela estação meteorológica do MAER (Parnamirim/RN), no período de 1960 a 1996.

Meses	Frequências (%)												
	60°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°	190°	200°
JAN	-	17	42*	11	28	3	-	-	-	-	-	-	-
FEV	-	14	50*	8	25	3	-	-	-	-	-	-	-
MAR	6	14	37*	9	23	6	-	3	-	-	3	-	-
ABR	-	-	18	12	33*	3	-	12	-	-	18	3	-
MAI	-	-	3	3	30	3	-	16	-	5	35*	3	3
JUN	-	-	-	-	22	3	-	30	3	8	32*	3	-
JUL	-	-	3	-	22	5	-	19	-	8	41*	-	3
AGO	-	-	-	3	35*	-	-	22	3	14	24	-	-
SET	-	3	14	3	51*	-	-	14	-	3	11	-	-
OUT	-	8	30	-	49*	3	3	8	-	-	-	-	-
NOV	-	8	49*	5	35	3	-	-	-	-	-	-	-
DEZ	-	27	38*	8	24	3	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA - 1997.

* Maiores frequências mensais.

As principais frequências de sentidos de movimentação do vento e seus intervalos mensais, de acordo com a Tabela 2.7, estão representadas por diagramas de rosetas nas Figuras 2.2a, 2.2b e 2.2c, as quais ilustram a exclusividade de ventos para o quadrante SE.

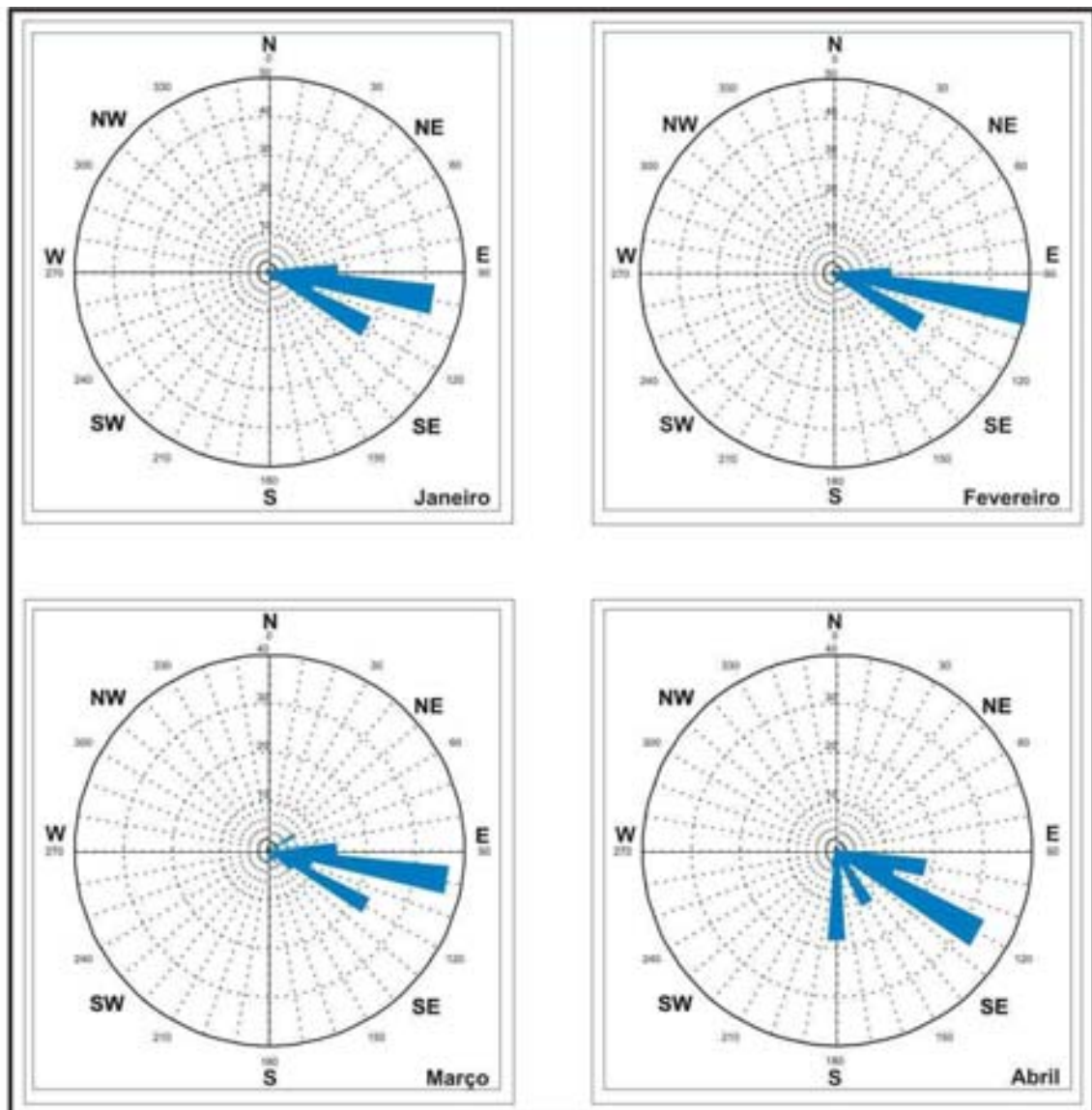


Figura 2.2a: Diagramas de rosetas indicando os sentidos predominantes de ventos na região de Natal, para os meses de janeiro a abril, conforme dados apresentados na Tabela 2.8.

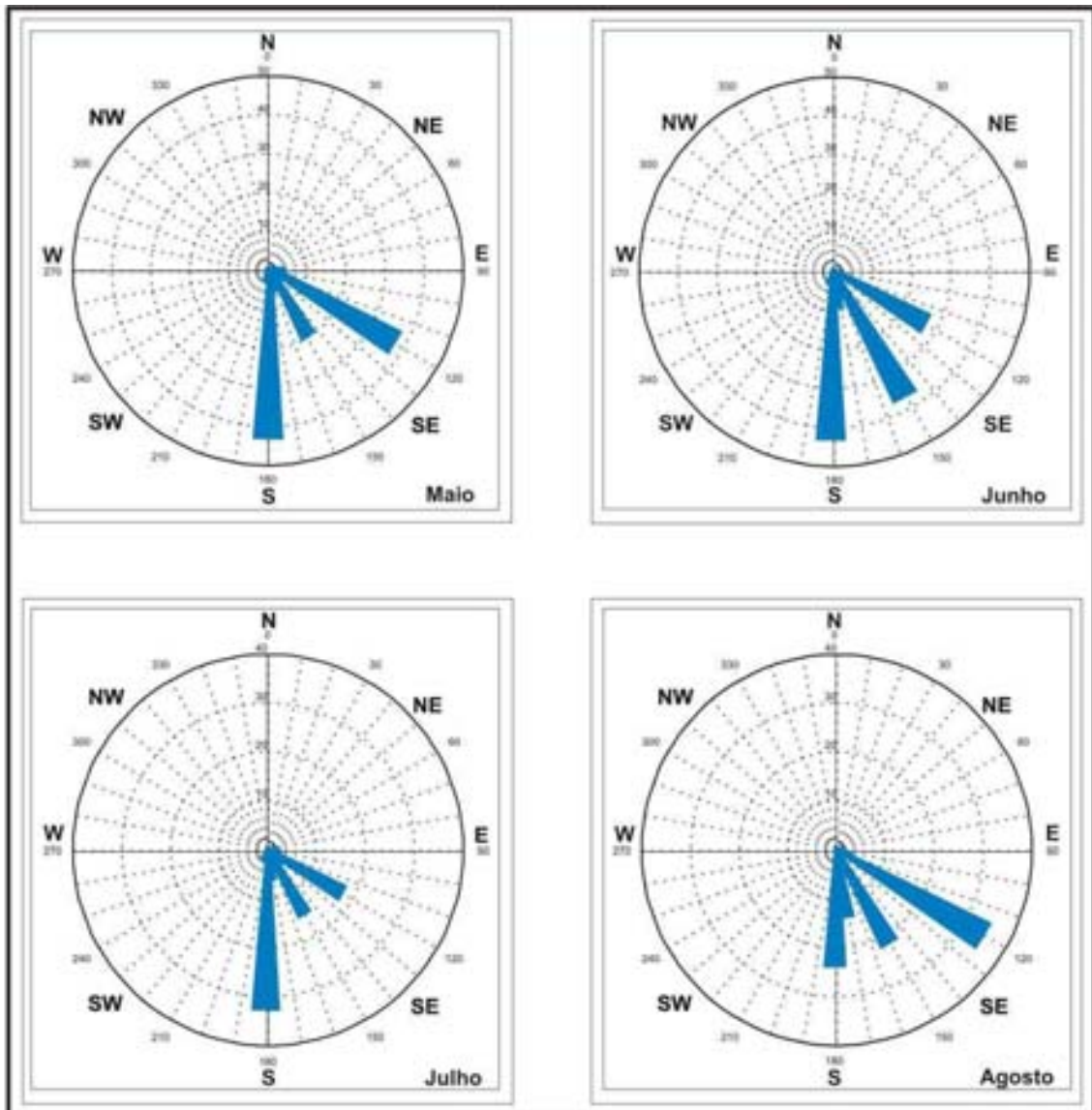


Figura 2.2b: Diagramas de rosetas indicando os sentidos predominantes de ventos na região de Natal, para os meses de maio a agosto, conforme dados apresentados na Tabela 2.8.

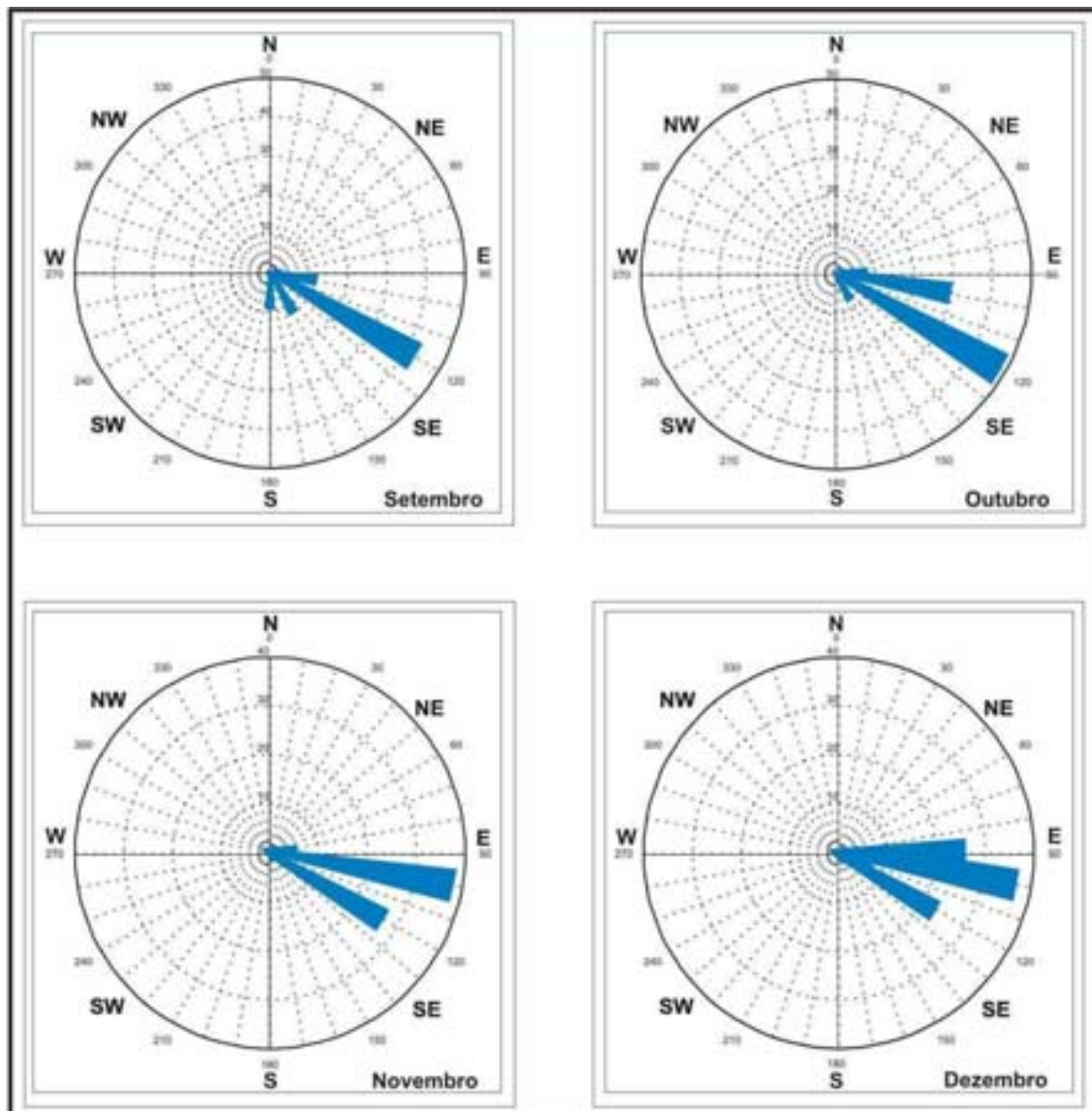


Figura 2.2c: Diagramas de rosetas indicando os sentidos predominantes de ventos na região de Natal, para os meses de setembro a dezembro, conforme dados apresentados na Tabela 2.8.

Como foi visto, a cidade de Natal/RN está inserida em uma região de clima As' quente úmido a BSh – semi-árido quente, apresentando, portanto, características climatológicas tropicais. Recebe influência das massas de ar advindas do Oceano Atlântico e de ventos alísios de direção predominante SE-NW. Caracteriza-se ainda por apresentar precipitações pluviométricas irregulares ao longo do ano, temperaturas médias em torno de 27° C, umidade relativa do ar média em torno de 70%, insolação mensal máxima em torno de 290 h no mês de outubro e ventos com velocidades médias mensais de 2,9 a 5,1 m/s e sentidos de atuação predominantes SE-NW.

O transporte eólico é influenciado pelos parâmetros climatológicos acima mencionados (conforme Capítulo 3, adiante), que por sua vez possuem também interdependência entre si (por exemplo, temperaturas mais altas implicam ocorrência de umidades relativas do ar mais baixas). Os campos de dunas de Natal caracterizam-se por apresentar feições morfológicas que, como será visto neste estudo, durante seu processo de formação tiveram seus sedimentos constituintes transportados por ação eólica de sentido predominante SE-NW. Ocorrendo, portanto, perfeita correlação entre os dados de direção de ventos, medidos pelas duas estações climatológicas citadas, e a morfologia desses campos de dunas.

2.2 Vegetação

De acordo com dados da Secretaria de Planejamento e Finanças/Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte (SEPLAN/IDEMA-RN 1999), no município de Natal/RN ocorrem três tipos principais de vegetação, que são: a Vegetação de Tabuleiros Litorâneos, a Floresta Subperenifólia e o Manguesal.

A Vegetação de Tabuleiros Litorâneos recobre os tabuleiros costeiros e está situada geralmente em áreas onde ocorreu intervenção humana. De acordo com Cunha (1982), os tabuleiros são constituídos, principalmente, por dois elementos vegetais: um arbustivo arbóreo e outro herbáceo. O arbustivo arbóreo apresenta árvores de pequeno

porte e arbustos distribuídos de forma esparsa, com destaque para as espécies *Curatella americana* (lixreira), *Byrsonima cydoniaefolia* (murici do tabuleiro), *Duratea fieldingiana* (batiputa), *Hancornia speciosa* (mangabeira), *Anacardium occidentale* (cajueiro) e *Hirtella ciliata* (canoé). O heráceo compõe-se, praticamente em sua totalidade, por gramíneas dispostas em moitas, com destaque para os gêneros *Aristida* e *Andropogon*.

A Floresta Subperenifólia constitui-se por árvores sempre verdes, densas, que possuem grande número de folhas largas, troncos relativamente delgados e cujo solo apresenta-se recoberto por uma camada de húmus. Dentre as espécies encontradas destacam-se: *Cassia apouconita*, *Spondias tuberosa* (umbuzeiro) e *Tabebuia avellaneda* (pau d'arco roxo).

O Manguesal é um sistema ecológico costeiro tropical dominado por espécies vegetais de mangues e animais típicos, aos quais associam-se outras plantas e animais adaptados a um solo periodicamente inundado pelas marés com grande variação de salinidade. Cunha (1982) destaca a presença do *Rhizophora mangle* (mangue sapateiro), espécie predominante na região do Estuário Potengi e típica de ambientes com elevados índices de salinidade, que tem como característica principal a presença de raízes adventícias, que podem atingir até 12 m de altura.

Destaca-se ainda a presença de vegetais que cobrem os domínios praias e as dunas. As praias e os campos de dunas mais recentes encontram-se cobertas por formações rasteiras, apresentadas por espécies herbáceas como a *Ipomea perscaprae* (salsa de praia), o *Panicum racemosum* (capim-de-areia), o *Sporobolus virginicus* (capim barba-de-bode) e o *Iresine portucaloides* (pirrixiu). Nos campos de dunas mais antigas encontram-se vegetações de porte baixo, com destaque para espécies dos gêneros *Cecropia*, *Ficus*, *Ouratea*, *Hirtella*, *Piptadenia*, *Hymenaea*, *Virtex*, *Zollernia*, *Bowdichia* e as espécies *bromeliáceas*, *oranidáceas* e *aradáceas* (Cunha 1982, Medeiros 2001).

Grande parte da vegetação original que recobre os campos de dunas do setor sul de Natal (de forma mais expressa nos bairros Candelária, Pitimbu, Neópoles, Capim Macio,

Ponta Negra e Nova Parnamirim) tem sido retirada devido, principalmente, ao processo de urbanização marcada pela forte influência do mercado imobiliário, através de práticas constantes de loteamentos e construções de imóveis.

2.3 Solos

De acordo com a classificação da SUDENE/DNPEA (1971), os solos predominantes na região de Natal são os “solos arenosos-quartzosos profundos não hidromórficos”, os quais subdividem-se em: “(AMd) - areias quartzosas marinhas distróficas”, tendo sua origem eólica e localizando-se em uma faixa estreita (1,5 km) da orla marítima; os solos “AQd₂”, representados por uma associação de alguns tipos de solo como as “areias quartzosas distróficas” e os “latossolos vermelho amarelo distróficos”, oriundos de sedimentos areno-quartzosos do Grupo Barreiras e ocupando uma grande parte da área de estudo, paralela à linha de costa, com largura aproximada de 10 km; e finalmente o tipo “SM – solos halomórficos” que acompanham as margens do Rio Potengi, apresentando relevo plano e sendo desenvolvidos sobre sedimentos recentes finos misturados com detritos orgânicos depositados pela ação fluvial.

2.4 Relevo

De acordo com Nogueira (1982) a região de Natal apresenta três aspectos de relevo distintos: os “terrenos com suaves ondulações”, as “terras baixas” e as “colinas elevadas”. Os terrenos com suaves ondulações constituem-se de rochas sedimentares do Grupo Barreiras, tendo seus terraços interrompidos em algumas localidades de forma abrupta por falésias ao longo da costa e por barrancos em margens fluviais, bem como sua continuidade quebrada pelo aparecimento de campos de dunas. As terras baixas correspondem às zonas de estuários, mangues, aos vales fluviais e aos terraços fluviais e de praia, apresentando terrenos com elevações de 15-16 m, 7-8 m e 2-3 m acima do leito dos rios. As colinas elevadas compõem-se dos campos de dunas que cobrem boa parte da área de estudo, atingindo até 120 m de altura, em forma de corpos alinhados

paralelamente à linha de costa e de corpos alongados, de direção SE-NW, na porção Sul da mesma área.

2.5 Hidrografia

A hidrografia da área de estudo tem maior representatividade pelos rios Potengi, Jundiá e Pitimbu. O Rio Potengi é o mais importante alimentador do estuário Potengi-Jundiá. Nasce em um arco formado pelas serras da Apertada da Hora e do Doutor, a uma altitude de cerca de 500 m e percorre três zonas distintas do Estado do RN, com características de sertão, semi-árido e litoral, quando então deságua no Oceano Atlântico. Possui uma extensão total de 176 km, declividade geral de cerca de 2,80 m/km, perfazendo uma bacia hidrográfica de cerca de 3.180 km² (Cunha 1982).

O Rio Jundiá nasce no Município de Sítio Novo/RN, a uma altitude de 280m, possui extensão total de 85 km e também percorre zonas com características climáticas distintas ao longo do Estado, recebendo, a 7 km da desembocadura, as águas do Rio Potengi quando formam então o estuário Potengi-Jundiá (Cunha 1982).

O Rio Pitimbu está situado na porção sul da área estudada, estando inserido na bacia hidrográfica do Rio Pirangi. Após juntar-se aos Riachos Taborda e Pium, parte em direção à praia de Pirangi do Sul (Parnamirim/RN) e lança suas águas no Oceano Atlântico. Possui caráter perene, estando situado em terrenos constituídos por rochas do Grupo Barreiras.

CAPÍTULO 3: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Sistema de Dunas Eólicas Costeiras

3.1.1 Mecanismo de Transporte e Sedimentação Eólicos

O movimento das massas de ar atua como um mecanismo de redistribuição de energia solar na atmosfera, dependendo do movimento de rotação da Terra e da distribuição da pressão atmosférica, causada pela circulação de ar entre as regiões equatoriais e polares (Glennie 1970, Goldsmith 1978, Reineck e Sing 1980, Mckee 1983).

Os principais sistemas de movimentação eólica existentes sobre a Terra decorrem da existência de ar frio sobre as regiões polares e de ar quente sobre a região equatorial. Devido ao movimento de rotação da Terra, atua sobre a mesma uma força de inclinação, que é a Força de Coriolis. A velocidade rotacional da Terra na região do Equador é mais alta, decrescendo em direção aos Pólos até tornar-se nula. Conseqüentemente, com a ocorrência de movimento de partículas de forma relativamente livre de sul a norte no Hemisfério Norte terrestre, o movimento das massas tende a ser direcionado para Leste mais rapidamente que o movimento da Terra, aumentando o raio de inclinação em direção ao Norte. De forma semelhante, se as massas de ar se movem a partir do Pólo Norte em direção ao Equador, a inclinação se dá para Oeste. O ar quente que flui a elevadas altitudes do Equador em direção ao Pólo Norte sofre inclinação para Leste. Simultaneamente, o vento frio que retorna do Pólo Norte para o Equador, fluindo nas proximidades do solo, é então inclinado para Oeste (Reineck & Sing 1980).

A Figura 3.1 ilustra esquematicamente a distribuição dos sistemas de ventos pelos hemisférios terrestres, bem como as subdivisões das células de convecção básicas.

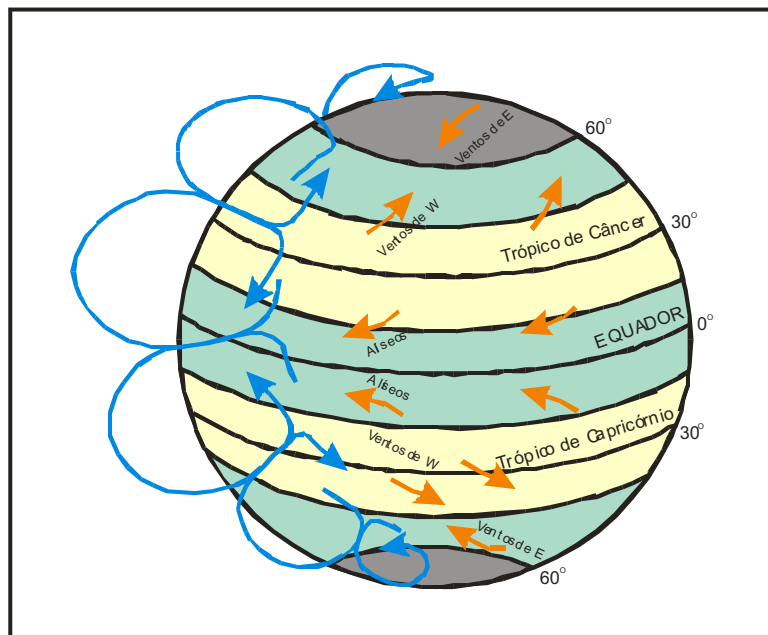


Figura 3.1: Esquema ilustrativo dos sistemas de distribuição de ventos sobre os hemisférios terrestres (adaptado de Reineck & Sing 1980).

Ainda de acordo com Reineck & Sing (1980), o vento constitui-se em um eficiente meio de transporte e deposição de partículas, bem como de um eficiente agente selecionador de grãos, porém não se constitui numa ferramenta eficiente para efetuar erosão significativa.

Durante o transporte eólico por fluxo trativo o movimento de partículas pode ocorrer sob quatro processos distintos, de acordo com o tamanho das partículas transportadas e com a intensidade do vento. As partículas da fração argila são transportadas por suspensão e podem manter-se neste estado por muito tempo, sendo transportadas a longas distâncias. As partículas da fração areia podem sofrer transporte por saltação e rolamento, as frações areia grossa, muito grossa e grânulo podem também, em situações especiais, serem transportadas por arraste. A transmissão de energia das partículas que estão em saltação para as partículas que em repouso pode gerar outro tipo

de transporte denominado de rastejamento (*creep*) (Glennie 1970, Goldsmith 1978, Reineck & Sing 1980, Mckee 1983).

O gráfico mostrado na Figura 3.2 ilustra o comportamento das partículas quando sofrem a ação eólica com diferentes intensidades. Observa-se uma quebra no comportamento da curva na altura do tamanho de grão 0,05 mm. Abaixo deste diâmetro estão caracterizados sedimentos cujas velocidades de transporte em queda livre de grãos são consideradas baixas, podendo ser transportados por longas distâncias.

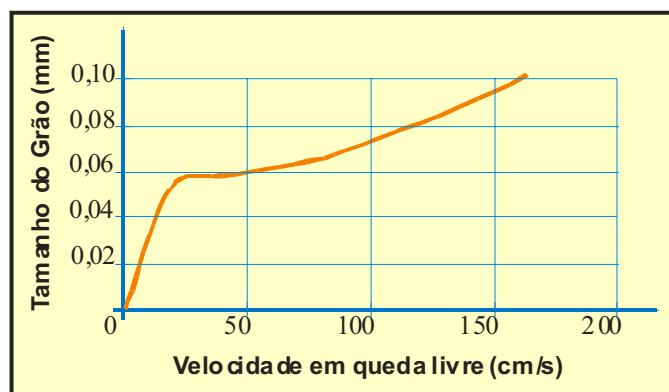


Figura 3.2: Gráfico ilustrando o comportamento da velocidade do sedimento em queda livre (cm/s) x tamanho de grãos sob movimentação eólica (mm) (adaptado de Reineck & Sing 1980).

3.1.2 Feições Eólicas Depositionais e Erosivas

3.1.2.1 Feições Depositionais

DUNAS EÓLICAS

As dunas eólicas são formadas por acumulações arenosas geralmente assimétricas (Figura 3.3), ocorrendo isoladamente ou de forma associada, que podem atingir algumas centenas de metros de altura e quilômetros de comprimento, tendo como característica principal a presença de uma face de inclinação suave, formada na direção preferencial do vento (face de barlavento ou *stoss side*) e de outra face, com inclinação mais íngreme, que é a face de sotavento ou *lee side* (Goldsmith 1978, Reineck & Sing 1980, Mckee 1983).

Quanto a estrutura interna, caracterizam-se por possuir três tipos de estratificações principais, que são as estratificações de baixo ângulo (*horizontal bedding*), formadas por camadas de areia quase horizontais com mergulhos variando de 3 a 10°, constituídas de grãos bem selecionados, às vezes alternadas por laminações compostas de minerais pesados; as estratificações cruzadas (*cross-bedding*), com ângulos de mergulho entre 25° e 34°, decorrentes do processo de migração da duna por fluxo de grãos e queda de grãos; e as superfícies limitantes (*lower bounding surfaces*) que podem ser geradas pela variação do lençol freático, que controla o nível de erosão da duna ou ainda pelo cavalgamento ou superimposição de dunas (Reineck & Sing 1980).

As dunas podem ser classificadas por sua dinâmica deposicional e/ou erosional, sendo reconhecidos os seguintes tipos: dunas estacionárias e dunas migratórias (Glennie 1970, Reineck & Sing 1980).

As dunas estacionárias têm sua imobilidade decorrente de fatores como o aumento de umidade, a agregação dos grãos, a atuação de obstáculos internos (troncos, blocos de rocha, etc.) ou o desenvolvimento de vegetação de fixação. Nas dunas migratórias o transporte de grãos segue inicialmente o ângulo da face de barlavento, depositando-se a

seguir no sotavento, gerando uma estrutura interna de leitos com mergulho próximo da inclinação de sotavento (a inclinação máxima para a existência de situação de repouso dos sedimentos é de 34° , de acordo com Reineck & Sing 1980) e causando a migração do corpo da duna.

A migração de dunas pode ocasionar problemas de soterramento e assoreamento nas zonas litorâneas brasileiras, bem como o desvio do curso natural de rios próximos à costa. Diferentes técnicas têm sido utilizadas na tentativa de imobilizar dunas migratórias, sendo a mais eficiente delas o plantio de vegetação psamofítica ou de certas gramíneas, a barlavento, tornando a duna estacionária (Goldsmith 1978, Reineck & Sing 1980, Mckee 1983).

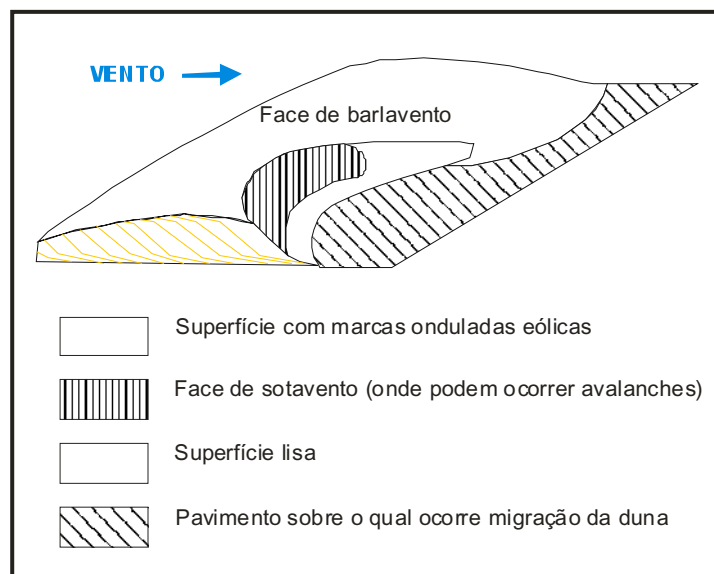


Figura 3.3: Bloco diagrama esquemático mostrando a distribuição de diferentes elementos característicos de um perfil geral de duna (adaptado de Reineck & Sing 1980).

De acordo com Hunter (1977), a migração de um campo de dunas ocorre segundo dois processos sedimentares principais:

- Laminação por queda de grãos (*grainfall laminae*): processo relacionado a regimes de ventos irregulares, resultando geralmente em laminações milimétricas, apresentando uma excelente seleção granular (bimodalidade) no interior de uma mesma lâmina.
- Estratificação cruzada por fluxo de grãos (*sandflow cross strata* ou *grainflow cross strata*): causada pela ocorrência de avalanches na face de sotavento da duna, formando feições em forma de língua sobrepostas a essa face e ocorrendo uma inversão textural.

Dependendo da velocidade do vento, dos tipos e da taxa de suprimento de areia, das características da superfície percorrida pelos grãos transportados pelo vento e da presença ou não de vegetação fixadora, as dunas podem adquirir formas com tamanhos distintos, orientadas no sentido perpendicular e/ou paralelo ao sentido preferencial do vento, bem como adquirir formas bastante complexas. Com base em trabalhos como Glennie (1970), Goldsmith (1978), Reineck & Sing (1980), Collinson & Thompson (1982), Mckee (1983), Carter *et al.* (1990a), Pye & Tsoar (1990) e Thomas (1997), os tipos mais comuns de dunas eólicas são as dunas barcanas (*barchan dunes*), as dunas transversais (*transverse dunes*), as dunas parabólicas (*parabolic dunes*) e as dunas longitudinais (*seif dunes*), e ainda de forma secundária as dunas estrela (*star dunes*), as dunas em forma de “domos” (*dome-shaped dunes*) e as dunas reversas (*reversing dunes*), todas representadas esquematicamente na Figura 3.4.

- Dunas Barcanas (*Barchan Dunes*)

Essas dunas desenvolvem-se em regiões características de ventos unidirecionais com limitado fornecimento de areia. Assumem formas de “meia lua” ou “lua crescente”, ficando suas extremidades voltadas para o mesmo sentido do vento. Podem migrar longas

distâncias sem grandes alterações em sua forma. Ocorrem como corpos isolados, em cadeias ou em colônias.

- Dunas Transversais (*Transverse Dunes*)

Essas dunas têm sua origem condicionada pela presença de ventos freqüentes e de direção constante e pelo suprimento contínuo e abundante de areia para sua construção. As zonas litorâneas constituem-se ambientes propícios para a formação desse tipo de dunas, as quais podem ter origem a partir de dunas barcanas. O termo transversal provém da sua orientação aproximadamente perpendicular ao sentido preferencial do vento.

- Dunas Parabólicas (*Parabolic Dunes*)

Possuem morfologia semelhante à das dunas barcanas, diferindo destas pela curvatura das suas extremidades que é mais fechada, com geometria em “U” ou em “V”, por possuir as extremidades voltadas para o sentido contrário ao do vento predominante e por desenvolverem-se em regiões de ventos fortes e constantes, com suprimento de areia inferior ao das barcanas. Sua ocorrência na América do Sul se dá com maior freqüência em zonas costeiras, verificando-se geralmente uma fixação através de vegetação.

- Dunas Longitudinais (*Seif Dunes*)

O termo *seif* vem do árabe, pois essas dunas foram descritas originalmente no deserto da Arábia. Apresentam formas alongadas, com cristas cujos eixos são orientados no sentido paralelo à direção preferencial do vento. Compreendem regiões com um abundante fornecimento de areia, ventos fortes de sentido constante (bidirecionais), ocorrendo em regiões desérticas ou em campos de dunas litorâneos. Possuem dimensões que podem atingir dezenas de quilômetros de comprimento e mais de 200 m de espessura. Em muitos casos produzem feições morfológicas semelhantes aos “cordões de areia”.

- Dunas Estrela (*Star Dunes*)

São acumulações de areia que possuem um ponto central a partir do qual três ou mais cristas de dunas se irradiam em várias direções. Possui formas aproximadamente piramidais, atingindo em média 50 m a 150 m de espessura. Sua origem está associada à existência de areia abundante e a variações freqüentes de direções de ventos (pelo menos três direções).

- Dunas em forma de “Domos” (*Dome-shaped Dunes*)

São acumulações arenosas com formas de “calotas” convexas. Existem poucas informações a respeito das condições de vento e de suprimento de areia para a formação desse tipo de dunas.

- Dunas Reversas (*Reversing Dunes*)

São formas arenosas com espessura incomuns, porém, quase não sofrendo migração de seus campos. Mudanças sazonais ocorrentes na direção preferencial do vento causam movimentações em direções opostas nos campos de dunas. Essas formas provêm de dunas do tipo barcana, ou em alguns casos do tipo transversal.

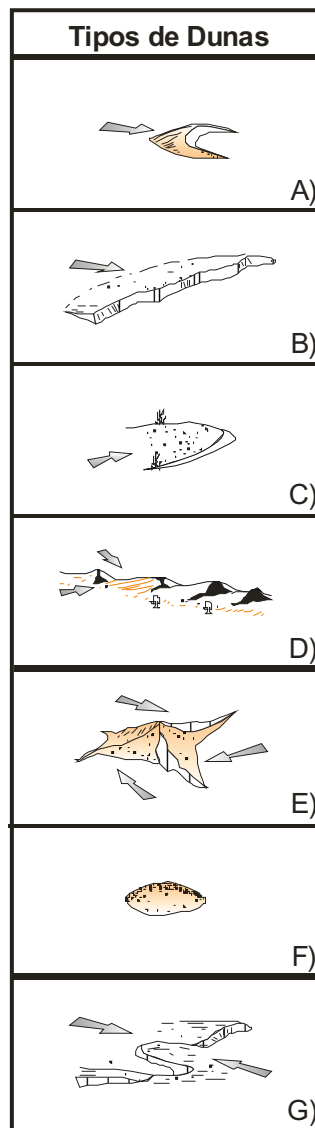


Figura 3.4: Esquema representativo da classificação dos principais tipos de dunas, de acordo com critérios de morfologia e direções predominantes de atuação de ventos para cada tipo. A) dunas barcanas, B) dunas transversais, C) dunas parabólicas, D) dunas longitudinais, E) dunas estrela, F) dunas em forma de “domos” e G) dunas reversas (adaptado de Thomas 1997).

INTERDUNAS

São áreas situadas entre dunas, que podem sofrer ativamente o processo de deflação eólica e ocupar extensões superficiais superiores às das dunas associadas. A presença de grãos de tamanhos mais grossos se faz presente de forma comum nos depósitos interdunares (Reineck e Sing 1980). Esses depósitos foram classificados por Ahlbrand & Fryberger (1981) em depósitos de interduna seca, úmida e evaporítica. Kocurek (1981) classificou os depósitos interdunares em seco, úmido e molhado, identificando também estruturas como as marcas onduladas eólicas (*eolian ripples marks*) em interdunas secas; as estruturas de adesão (*adhesion structures*) em interdunas úmidas; bem como as estruturas onduladas aquáticas (*water ripple structures*), as laminações onduladas (*wavy laminations*), as estruturas contorcidas (*contorced structures*) e as laminações brechadas (*brecciated laminae*) em interdunas molhadas.

EXTRADUNAS OU LENÇÓIS DE AREIA (*SAND SHEETS*)

São superfícies arenosas que apresentam estruturas sedimentares de baixo ângulo também denominadas *low angle sand sheets*. Raramente apresentam estruturas de características eólicas como ondulações arenosas eólicas (*wind sand ripples*) ou ondulações granulares eólicas (*wind granule ripples*) mas, sob tempestades de ventos, comumente desenvolvem superfícies de deflação. Essa superfície é formada de seixos horizontalizadas (Glennie 1970, Reineck & Sing 1980).

DUNAS DE SOMBRA (*SHADOW DUNES*)

São acumulações de areia causadas pela obstrução de elementos fixos no solo (arbustos, rochas, edificações, pequenas escarpas) ao caminho percorrido pela areia carregada pelo vento. Devido à momentânea diminuição da velocidade do vento os grãos de areias são depositados por trás desses elementos fixos ou em regiões de sotavento localizadas entre dois obstáculos. Essas acumulações apresentam-se como corpos em forma de línguas e possuem, internamente, camadas com laminações bem desenvolvidas (Glennie 1970, Reineck & Sing 1980).

3.1.2.2 Feições Erosivas

Os dois processos erosivos da ação eólica são a deflação e a abrasão. A deflação caracteriza-se por ser um processo de remoção de sedimentos mais finos de uma determinada superfície, formando depressões chamadas “Bacias ou Pavimentos de Deflação”. Diversas regiões da superfície terrestre vêm sofrendo continuamente o processo de deflação, em que os grãos que estão sendo removidos depositam-se em campos de dunas situadas em regiões adjacente às mesmas. A abrasão eólica se dá em virtude dos constantes impactos de diferentes partículas em movimento entre si e com materiais estacionados geralmente maiores, ocorrendo então o desgaste ou o polimento desses materiais (Glennie 1970, Reineck & Sing 1980, Hummel & Kocurek 1984).

Os corredores de vento (*blowouts*) são formados em zonas onde ocorre o rebaixamento de cristas de dunas (Figura 3.5). A ação erosiva do vento que atravessa a crista rebaixada resulta em um aumento de velocidade e remoção de areia oriunda dessa crista, ampliando aberturas nos corpos de dunas desprovidas de elementos de fixação (Goldsmith 1978, Carter *et al.* 1990b).

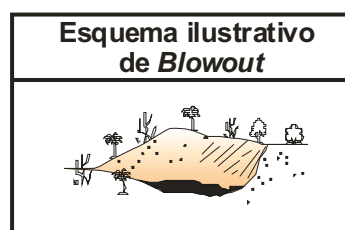


Figura 3.5: Esquema representativo de *blowout* (adaptado de Thomas 1997).

3.2 Sistemas de Dunas Eólicas de Natal/RN – Estado da Arte

Diversos autores estudando aspectos geológicos, geomorfológicos, recursos hídricos, o meio ambiente, uso e ocupação do solo e com base em parâmetros ou critérios pré-estabelecidos, identificaram e propuseram divisões aos “sistemas” ou “gerações” de dunas aí existentes no município de Natal/RN. Dentre esses cita-se Andrade (1968) que, estudando a geologia e os aspectos sedimentológicos da região costeira ao Sul de Natal, identificou duas gerações principais de dunas, as quais denominou “Dunas Antigas”, geralmente fixas por vegetação, de coloração amarelada a avermelhada, compostas por areias de granulometria fina; e as “Dunas Recentes Móveis”, de coloração esbranquiçada, constituindo um cordão fino e alongado paralelamente à linha de costa.

Costa (1971) afirmou que os sedimentos constituintes dos campos de dunas da região de Natal/RN e adjacências constituíam-se por areias finas, bem selecionadas, de coloração esbranquiçada, amarelada e avermelhada, estando sobrepostos aos sedimentos do Grupo Barreiras. Dividiu esses campos em quatro gerações (Figura 3.6), baseando-se em estudos feitos por Tricart & Silva (1969) e seguindo critérios de morfologia, topografia, condições de fixação e migração e de coloração. São elas, da mais antiga para a mais nova: “Dunas mais Antigas”, “Dunas de Idade Intermediária”, “Dunas do Pleistoceno mais Superior” e “Dunas Atuais”.

- Dunas mais antigas, provavelmente do Pleistoceno Inferior: subdivididas em dois outros tipos morfologicamente distintos, com alturas predominantes de 40 a 60 m.
- Dunas Primitivas: retrabalhadas por vários tipos de erosão, de coloração avermelhada, com relevo ondulado segundo a direção NW-SE.
- Dunas antigas: provavelmente formadas em continuidade cronológica com as Dunas Primitivas, apresentando forma original que, com vista em planta, se assemelha a um “V” com vértice apontando para a direção NW.

- Dunas de Idade Intermediária (provavelmente Ouljiano): correspondentes a grandes elevações de areia fixadas por vegetação exuberante, altitudes variando de 80 a 120 m, ocupando uma faixa paralela à costa com largura média de 1.500 m e coloração amarelada.
- Dunas do Pleistoceno mais Superior (Flandriano): de coloração esbranquiçada a amarelada, morfologia relativamente plana com altitudes variando de 1 a 10 m, ocupando locais representados por praias e baixadas, fixas, via de regra, por vegetação artificial.
- Dunas Atuais, migrantes, de coloração esbranquiçada a amarelada, localizando-se nas encostas dos campos das Dunas Intermediárias, com altitudes variando também de 1 a 10 m.

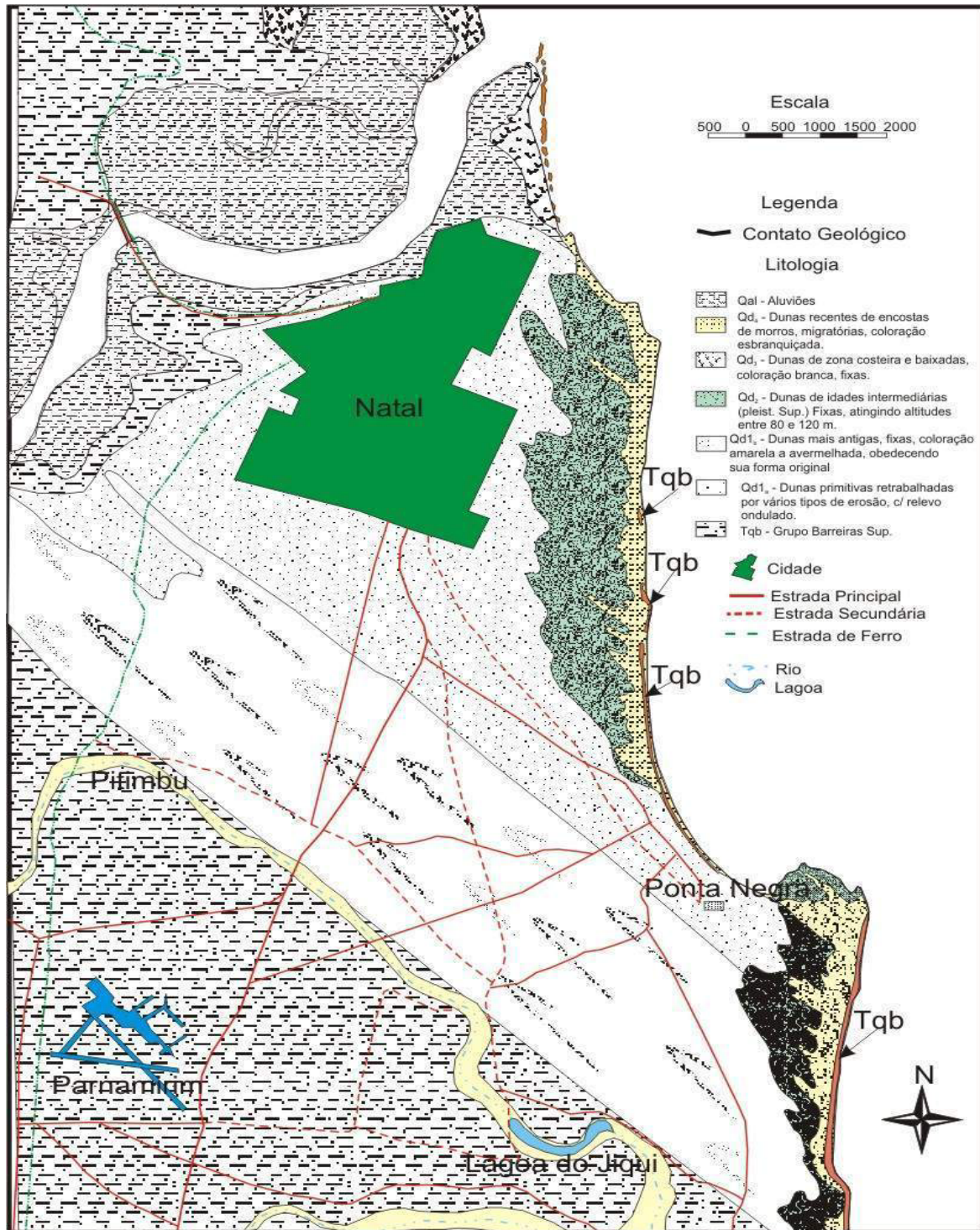


Figura 3.6: Figura representativa de Mapa Geológico, compilada, correspondente à porção centro-sul da cidade de Natal, em que são apresentadas as divisões em quatro gerações de dunas propostas por Costa (1971).

Costa & Perrin (1981) identificaram na região de Natal dois sistemas de dunas, baseando-se em parâmetros como idade (relativa), extensão e coloração, afirmando ainda que esses sistemas estariam sobrepostos ao Grupo Barreiras.

O primeiro sistema, considerado mais antigo, seria também o mais extenso, prolongando-se para o interior do Estado do RN e alcançando até 15 quilômetros segundo seu eixo maior. Tal sistema refletiria a ocorrência de uma condição climática mais árida que a atual, com ventos fortes e freqüentes, cuja direção (SE) coincide com a verificada nas dunas à época desse estudo. O fim da fase de predominância da ação eólica costeira deveu-se, segundo esses autores, ao término do fornecimento de areia, provocado pela transgressão marinha consecutiva à fusão das geleiras do último período glacial (Transgressão Flandriana). Nesta época as águas oceânicas adentraram os estuários dos rios, alargando assim uma barreira transversal de progressão para as dunas. A transgressão teria favorecido o retorno do clima a condições mais úmidas, contribuindo para o desenvolvimento da vegetação de fixação presente nesses campos de dunas e causando também uma mudança de coloração.

O segundo sistema seria mais delgado do que o anterior, acompanhando a da linha de costa. Sua largura não ultrapassaria algumas centenas de metros. Costa & Perrin (1981) atribuíram a formação destes edifícios a uma pequena regressão-transgressão que se seguiu à Transgressão Flandriana, desenvolvendo-se então um clima mais árido com ventos intensos. Esses depósitos eólicos litorâneos teriam sido alimentados por fontes de areias que estavam expostas ao fenômeno de deflação, sendo depois submergidas pelo máximo da Transgressão Dunquerkiana, o que acarretaria uma limitação na progressão desses campos de dunas, bem como a pouca alteração de coloração verificada nos mesmos (coloração esbranquiçada).

Esses mesmos autores, analisando aspectos texturais das areias depositadas em ambos os sistemas de dunas supracitados, verificaram que as mesmas apresentam grãos quartzosos homogêneos, bem selecionados (típico de processos eólicos) e predominantemente subarredondados, tendo sido provavelmente remanejados do Grupo

Barreiras. Verificaram ainda nesses campos a presença de porcentagens “notáveis” de minerais pesados opacos.

Nogueira (1981a, 1981b, 1982) caracterizou duas gerações principais de dunas na região de Natal.

- Dunas Fixas ou Paleodunas, sendo a geração mais antiga, constituída por sedimentos de coloração avermelhada a amarelada, bem selecionados, com idade aproximadamente compreendida entre o Pleistoceno Superior e o Holoceno.
- A segunda geração, mais recente, de Dunas Móveis, com idade Holocênica e coloração esbranquiçada.

Nogueira (1981a, 1981b, 1982) identificou ainda na região uma unidade sobreposta ao Grupo Barreiras, a qual denominou “Formação Natal”, observada em vales formados por dunas brancas e amareladas e constituídas por areias avermelhadas resultantes da dissipação de dunas e da mistura de sedimentos retrabalhados do Grupo Barreiras.

Nogueira *et al.* (1984), descrevendo a Geologia da faixa litorânea entre Natal e Graçandu/RN, mantiveram a mesma divisão para os campos de dunas em relação a Nogueira (1981a, 1981b, 1982). Acrescentaram que as Dunas Fixas possuíam granulometria variando de fina a média, as maiores cotas altimétricas observadas na região (cerca de 60 m), estando fixas devido à presença de vegetação e a uma cimentação incipiente de óxidos de ferro. Nogueira *et al.* (*op. cit.*) identificaram ainda outros três tipos de acumulações sedimentares arenosas, que são os “Sedimentos Mistos”, as “Coberturas Arenosas” e os “Materiais Eólicos Recentes Retrabalhados”.

- Sedimentos Mistos: constituindo-se de material remanejado de dunas, de sedimentos do Grupo Barreiras, e de alguma contribuição de matéria

orgânica. Apresentavam baixas cotas altimétricas, granulometria fina a média e coloração amarela-avermelhada.

- Coberturas Arenosas: sedimentos arenosos inconsolidados, bem selecionados, com granulometria fina a média, de coloração amarelada, localmente avermelhada ou acinzentada.
- Materiais Eólicos Recentes Retrabalhados: sedimentos arenosos bem selecionados, de granulometria fina a média, coloração esbranquiçada, com orientação segundo a direção SE-NW da área estudada, sendo possivelmente retrabalhados a partir das Dunas Móveis.

Trabalhos como Silveira e Vilaça (1985), Vilaça (1986), Vilaça *et al.* (1986), Cunha *et al.* (1990) e Nogueira *et al.* (1990) abordam principalmente os aspectos faciológicos e ambientais das dunas do litoral oriental potiguar, caracterizando-as quanto à sua forma, geometria, estratigrafia, estabilização e processos pedogenéticos.

Silveira & Vilaça (1985), estudando as formas de relevo do litoral leste do Estado do RN, identificaram o subdomínio eólico, compreendendo os compartimentos: superfícies de deflação, campos de dunas, e campos de paleodunas. As superfícies de deflação seriam formas resultantes do trabalho do vento sobre as dunas, dando origem a um relevo plano ou suavemente ondulado, com escoamento difuso e presença de vegetação parcial. Os campos de dunas seriam compostos de corpos de areias eólicas que sofreram processos de deflação e deposição, podendo-se reconhecer nestes campos dunas dos tipos transversais, longitudinais, *climbing dunes* (dunas em formas definidas) e os *blowouts*. Os campos de paleodunas, representados por formas de dunas estáveis, fixas por vegetação, de direção SE-NW, foram classificados nos tipos longitudinais, “grampo de cabelo”, parabólicas e barcanas.

Silveira & Vilaça (*op.cit.*) afirmam ainda que a distribuição dos lençóis arenosos formados pelos campos de dunas decorria de três circunstâncias distintas: ausência de obstáculos que impediam sua migração em direção ao interior, formando acumulações

recentes que recobriam superfícies de aplainamento; interrupções naturais, com ocorrência de impedimento ao prosseguimento desses campos pela existência de rios e interrupção/fixação de areia através de arborização ou construção de núcleos habitacionais.

Vilaça (1986) caracterizou sedimentos arenosos e areno-argilosos, de coloração amarelada, avermelhada e creme, os quais denominou “Formação Potengi”, afirmando que a origem deposicional desses sedimentos seria eólica, correspondendo assim a mais uma geração de dunas existente na região de Natal. Essas dunas seriam produto do retrabalhamento de diversos sedimentos de seqüências subjacentes existentes na região, inclusive sedimentos do Grupo Barreiras, encontrando-se intemperizada e formando latossolos. Estão incluídos nesta unidade a “Formação Potengi” descrita por Campos & Silva (1966) e Bigarella (1975), In: Vilaça (1986); a “Formação Natal” de Nogueira (1981a, 1981b; 1982); os “Sedimentos Mistos” de Nogueira *et al.* (1984, 1985) e, ainda, o “Intemperismo Potengi” de Mabesoone *et al.* (1972), In: Vilaça (1986).

Vilaça *et al.* (1986), caracterizando aspectos ambientais da faixa costeira do litoral oriental potiguar compreendida entre ponta de Búzios e Barra de Maxaranguape, identificaram, também, a partir da linha de costa, várias gerações de dunas, apresentando ciclicidade deposicional em função do agente transportador, das feições de relevo e do grau pedogenético, sendo relacionadas a variações do nível do mar e a condições ambientais. Formam alinhamentos orientados de SE a NW, com extensão de 8 a 20 Km por 2 a 12 Km de largura, limitados geralmente por vales fluviais. Tais gerações foram simplificadas em dois grupos: os “Depósitos Dunares Sub-recentes” e os “Depósitos Dunares Recentes”.

- Os Depósitos Dunares Sub-recentes (Paleodunas): constituídos por areia fina média a areia fina a muito fina, com cores variadas (brumo, amarelo-avermelhado, vermelho-amarelado) e graus de estabilização e pedogênese distintos.

- Os Depósitos Dunares Recentes constituem-se por materiais de granulometria de fina e muito fina a média grossa, com cores branco-rosada e cinza-clara.

Vilaça *et al.* (*op. cit.*) identificaram em ambos os tipos de gerações de dunas que compunham a fácies eólica estratificação cruzada tabular, laminações plano-paralela e subparalela, marcas onduladas e marcas em crescentes. Ressaltaram ainda a importância desses campos de dunas enquanto representantes das porções mais superiores do sistema aquífero livre da região, cuja alimentação ocorria por infiltração direta e rápida das águas de chuvas, tendo o seu aproveitamento voltado para abastecimento humano e alimentação de vários reservatórios naturais de água de alta qualidade.

Santos *et al.* (1992), realizando uma análise das condições ambientais em função de aspectos de uso e ocupação do solo, em campos de dunas da região de Nova Parnamirim (ao Sul de Natal/RN), subdividiram esses campos em duas unidades morfológicas de origem eólica: “Línguas Dunares” e “Cordões de Dunas”.

- Línguas Dunares: feições eólicas limitadas por encostas íngremes do tabuleiro costeiro, com cristas e corredores de dunas alinhados conforme a direção dos ventos dominantes (SE-NW), possuindo largura média de 1,8 km, comprimento em torno de 4,2 km e altitude variando de 40 a 90 m, com predomínio na faixa de 50 a 70 m. São constituídas por depósitos de areias quartzosas de granulometria fina a média, com presença de minerais pesados, estando os mesmos sobrepostos aos sedimentos do Grupo Barreiras.
- Cordões de Dunas: feições de relevo formando cordões com altura entre 10 e 30 m em relação ao relevo circunvizinho, ocorrendo geralmente na área em forma de “grampo de cabelo”, localizada nas regiões de Nova Parnamirim, Capim Macio e Cidade Satélite. São semelhantemente às línguas dunares, constituídas por depósitos arenosos de granulometria fina a

grossa e níveis de minerais pesados, com alta permeabilidade, estando depositados sobre sedimentos do Grupo Barreiras.

Nazaré Jr. (1993) e Duarte (1995), realizando um mapeamento geológico e geofísico na região da Grande Natal, identificaram duas gerações principais de dunas eólicas, baseando-se em critérios como fotointerpretação; análise granulométrica, morfométrica e morfoscópica; análise de perfis de poços em subsuperfície e adotando parâmetros de coloração, idade (relativa) e presença de vegetação de fixação, as quais coincidem com as gerações classificadas por Nogueira (1981a, 1981b; 1982).

- Dunas Antigas e Fixas: foram caracterizadas por serem menos antigas que as dunas da Formação Potengi descritas por Vilaça (1986); possuem características geomorfológicas em forma de “V” fechado, com vértice apontando para a direção NW, ocorrendo em uma faixa de direção SE-NW da área, apresentando contato de forma retilínea com a Formação Guararapes do Grupo Barreiras e, de forma abrupta, com a Formação Potengi. São constituídas basicamente por sedimentos quartzosos amarelados, granulometria bem selecionada, com grãos de forma subarredondada a subangulosa.
- Dunas Recentes ou Móveis: esses campos de dunas apresentam coloração esbranquiçada a amarelada; morfologia mais ou menos plana; ocupam regiões mais baixas, estando sobrepostas ora aos sedimentos do Grupo Barreiras, com discordância erosional, ora aos sedimentos da Formação Potengi, ora sobre as Dunas Antigas e Fixas; às vezes fixas por vegetação artificial; correspondendo a essa unidade as dunas atuais essencialmente móveis, localizadas em encostas com direção paralela à linha costeira. Constituídas por areias quartzosas esbranquiçada, granulometria bem selecionada, com grãos subarredondados a subangulosos.

Melo (1995), descrevendo a Geologia/Geomorfologia da porção centro-sul de Natal/RN, classificou, com base em critérios de topografia, idade relativa, litologia e coloração dois tipos principais de dunas, que foram as dunas mais antigas (retrabalhadas) e as dunas mais recentes ou atuais.

- Dunas Mais Antigas: geralmente situadas nas superfícies de cotas inferiores a 50 m, compreendendo as dunas da zona urbanizada de Natal, bem como as dunas situadas nos níveis mais baixos, entre elevações ou entre cordões de dunas, do setor Sul da cidade. São formadas por areias com percentual de argila, misturadas a colúvios e a sedimentos retrabalhados do Grupo Barreiras. Possuem coloração avermelhada, correspondendo às “dunas primitivas e aos níveis mais baixos das “dunas mais antigas” definidas por Costa (1971).
- Dunas mais Recentes ou Atuais: situadas em geral nos níveis topográficos da área superiores a 50 m. Constituem o “Parque das Dunas”, os campos de dunas elevadas do setor Sul (Ponta Negra, Pirangi), Sudoeste (San Vale, Guarapes, Planalto), bem como as dunas da planície de deflação situada no extremo Norte da área (Praia dos Artistas), sendo encontradas em determinados trechos na sua forma original.

O Quadro 3.1 mostra, em resumo, as divisões e/ou classificações principais de gerações ou sistemas de dunas da região de Natal/RN, propostas pelos autores supra citados, bem como os critérios de classificação utilizados. Observa-se uma predominância de divisões em duas gerações ou sistemas, sendo de forma geral um mais antigo e outro mais recente, com destaque para a divisão em “Dunas Fixas ou Paleodunas” e “Dunas Móveis ou Recentes” proposta concordantemente por diversos autores.

Quadro 3.1: Divisão e classificação de gerações ou sistemas de dunas, propostas por diversos autores para a região de Natal/RN.

AUTORES	DIVISÃO / CLASSIFICAÇÃO PROPOSTA	CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO
Costa (1971)	-Dunas mais Antigas, subdivididas em Dunas Primitivas e Dunas Antigas -Dunas de Idade Intermediária -Dunas do Pleistoceno mais Superior -Dunas Atuais	-Morfologia; topografia; condições de fixação e migração e coloração
Costa e Perrin (1981)	-Primeiro Sistema (mais antigo e extenso) -Segundo Sistema (mais delgado)	-Idade (relativa); extensão e coloração
Andrade (1968); Nogueira (1981a, 1981b, 1982); Nogueira et al. (1984); Nazaré Jr. (1993); Duarte (1995)	-Dunas fixas ou Paleodunas -Dunas Móveis ou Recentes	-Idade (relativa); morfologia; textura e coloração.
Silveira e Vilaça (1985)	Subdomínios eólicos identificados: -Superfícies de Deflação -Campos de Dunas -Bacias de Deflação -Campos de Paleodunas	-Morfologia.
Vilaça (1986)	-Formação Potengi	-Idade (relativa); textura e coloração.
Vilaça et al. (1986)	-Depósitos Dunares Sub-Recentes ou Paleodunas -Depósitos Dunares Recentes	-Morfologia; condições de transporte e deposição dos grãos; grau pedogenético; variações do nível do mar e condições ambientais.
Santos et al. (1992)	-Línguas Dunares -Cordões de Dunas	-Morfologia e condições ambientais.
Melo (1995)	-Dunas mais Antigas -Dunas mais Recentes ou Atuais	-Idade (relativa); topografia; litologia e coloração.

Jesus (2002) realizou uma caracterização geológica, geomorfológica e geotécnica do “Parque Estadual Dunas do Natal”, ou “Parque das Dunas” (Figura 1.1). Tal caracterização realizou-se através de ensaios geotécnicos de propriedades e de resistência do solo; da identificação de tipos de movimento de massa ocorrentes no bairro de Mãe Luíza (região urbanizada situada no extremo norte do Parque); da utilização de técnicas de Sistema de Informação Geográfica – SIG e da elaboração de um Modelo Digital de Terreno – MDT para a geração de mapas geomorfológicos da área; bem como da realização de mapeamento geológico e geomorfológico utilizando fotografias aéreas e imagens de satélite. Os resultados apresentados indicaram a granulometria das areias variando de fina a média, o valor do peso específico médio do solo de $2,65 \text{ g/cm}^3$, o ângulo de atrito médio determinado em ensaio de cisalhamento direto de 33° e valores de cota altimétrica, obtidos por análise digital, com até 125 m neste campo de dunas.

3.3 Datação por Termoluminescência (TL)

3.3.1 Introdução

De acordo com Dreimanis *et al.* (1985), o fenômeno da Termoluminescência (TL) tem sido alvo de conhecimento e utilização na Física, desde meados da década de 40, como uma ferramenta de investigação de propriedades óticas e de anomalias existentes em cristais, cujo desenvolvimento teria se favorecido pelo advento do aparelho fotomultiplicador, quando foram criadas condições para a ampliação do registro TL. Daniels *et al.* (1953) teriam realizado, de forma pioneira, a utilização de TL para a datação de materiais diversos, uma vez que a aplicação desta técnica estava restrita ao estudo das propriedades termoluminescentes dos minerais.

A Termoluminescência tem sido amplamente utilizada na Medicina Nuclear, particularmente na radioterapia, com relação ao controle das doses de radiação de fontes radioativas e de aceleradores. A partir da década de 60, intensificaram-se as aplicações do método para explorações minerais, estudos sobre a mecânica das rochas, seguindo-se de estudos sobre datação correlacionada a eventos geocronológicos e estratigráficos do Quaternário, bem como para a datação de elementos arqueológicos, particularmente objetos cerâmicos (Dreimanis *et al.* 1985).

A partir da década de 80 teve início o uso da técnica de TL para a datação de depósitos sedimentares de diferentes ambientes geológicos: marinho profundo, praias, estuarinos, fluviais, espeleológicos, vulcânicos, regiões com ocorrência de falhas geológicas e, de forma específica, em sedimentos eólicos (por exemplo, Wintle e Huntley 1980, Matsuoka *et al.* 1984, Dreimanis *et al.* 1985, Berger 1988, Less *et al.* 1990, Nanson *et al.* 1992, Shulmeister e Less 1992, Tatumi *et al.* 1992 e Tatumi *et al.* 1993).

No Brasil, alguns trabalhos têm sido realizados, com ênfase na aplicação de datação por TL em Geologia do Quaternário, principalmente na datação de sedimentos eólicos, como Poupeau *et al.* (1988), Dillenburg (1994), Barreto (1996), Barreto *et al.* (1999a), Maia *et al.* (1999), Kowata *et al.* (2002) e Watanabe e Tatumi (2002). Poucos

trabalhos envolvendo datação por TL em sedimentos costeiros têm sido realizados em áreas do Estado do Rio Grande do Norte, resumindo-se praticamente aos trabalhos de Barreto *et al.* (1999b), Barreto *et al.* (2001) e Giannini *et al.* (2001).

3.3.2 Aspectos Metodológicos

Os aspectos relacionados à metodologia empregada para a datação por Termoluminescência, descritos nos itens seguintes, basearam-se principalmente nos trabalhos de Dreimanis *et al.* (1985), Nanson *et al.* (1992), Shulmeister e Less (1992), Suguio (1999), RLAHA-LDL/Oxford (2002), ANTHRO-TL lab/Washington (2002), SCIDR/SHEFFIELD (2002), USERS (2002), TCD/ANU (2002), TOSL/Dalhousie (2002), UNITES/UQAM (2002), LLAB/DURHAM (2002) e FATEC-SP/LVD (2002).

O termo Termoluminescência, aqui abreviado sob a forma TL, refere-se à luz emitida por materiais cristalinos ou vítreos quando submetidos ao aquecimento por uma fonte de calor. O Método de Datação por TL tem como princípio básico a ionização de átomos e moléculas de um mineral por radiações (α , β e γ), que provêm de elementos naturais como ^{238}U , ^{232}Th e ^{40}K . Os elétrons livres produzidos por essa ionização circulam pela estrutura do mineral até serem capturados por defeitos (“armadilhas”) existentes na estrutura do cristal, podendo ficar aprisionados por centenas, milhares ou até milhões de anos. Quando o mineral sofre aquecimento ou exposição à luz solar, os elétrons que estavam aprisionados absorvem energia para escapar das “armadilhas” e então regressar para os átomos aos quais estavam anteriormente ligados. Esse processo de reorganização implica emissão de luz visível, denominada Termoluminescência.

A intensidade da luz emitida, ou o número de fótons produzidos, pode ser medida proporcionalmente ao número de elétrons aprisionados que, por sua vez, é proporcional à dose total de irradiação ionizante recebida pelo mineral. O sinal TL de um mineral é destruído quando aquecido a altas temperaturas (maiores que 300°C), exposto à luz solar, ou quando da ocorrência de sua recristalização. De modo que, após terem sido cozidos na confecção de objetos cerâmicos, por exemplo, os minerais constituintes ficam isentos de

sinal TL, iniciando-se assim um processo de irradiação natural, com retenção de dose proporcional ao tempo de permanência no subsolo. A idade TL é calculada a partir da dose natural acumulada (DA), ou paleodose, e da dose anual (DAn) pela relação: Idade TL = DA/DAn, quando são conhecidos os teores de U, Th e K.

A técnica da TL pode ser explicada através do Modelo de Bandas, conforme Figura 3.7. Quando um cristal é irradiado com uma radiação ionizante, pode ocorrer o aparecimento de níveis metaestáveis na banda proibida (BP), estando os elétrons aprisionados ou não. Havendo um aquecimento posterior desse cristal, os elétrons aprisionados poderão deixar a BP para ingressar na banda de condução (BC). Uma pequena parte desses elétrons poderá se recombinar nos defeitos ou “armadilhas” (centros TL), originando então dessa recombinação a emissão da luz termoluminescente. Dessa forma, a irradiação dos cristais com radiações ionizantes pode aumentar a concentração de “armadilhas” na BP, aumentando também a intensidade da TL emitida pela amostra quando a mesma for aquecida.

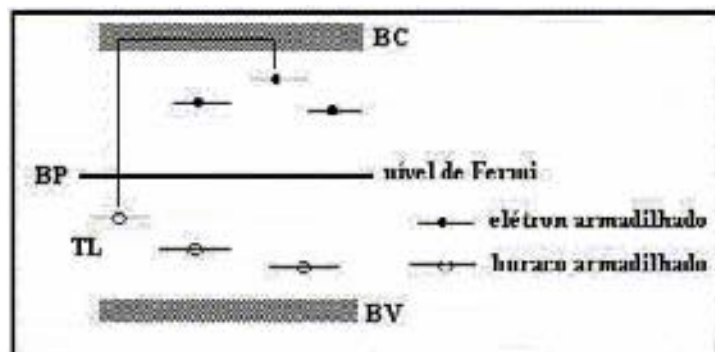


Figura 3.7: Modelo da Teoria de Bandas aplicado à Termoluminescência (FATEC-SP/LVD 2002).

Experimentalmente, obtém-se a intensidade de TL da amostra através da determinação de valores médios de intensidade de pico entre as temperaturas mais altas, sendo necessário para isso realizar cerca de cinco medições para cada dose, utilizando-se o valor médio obtido. Após a leitura da TL natural, realiza-se o mesmo procedimento

para a amostra irradiada nas diferentes doses, construindo para cada amostra o gráfico de intensidade de TL (unidades arbitrárias) x dose (Gy). A partir desse gráfico, por extrapolação, encontra-se o valor correspondente à dose acumulada (DA) no material. Apresenta-se a seguir um resumo acerca dos princípios fundamentais de dois dos métodos mais utilizados para a determinação da dose acumulada: o Método de Doses Adicionais e o Método do Fotoesvaziamento Total (*Total Bleaching*).

3.3.2.1 Método de Doses Adicionais

A Figura 3.8 apresenta a TL_{nat} e as TL_{nat} + irradiação, estes últimos obtidos através da irradiação das amostras com doses pré estabelecidas de radiação ionizante. Através do ajuste dos pontos experimentais e conseqüente extrapolação, encontra-se o valor da dose acumulada (DA) na amostra.

Um dos objetivos da Física na interação da radiação com o cristal seria o de concluir um estudo teórico, que ajustasse as curvas de crescimento TL em função da dose, o que na prática nem sempre se dá linearmente.

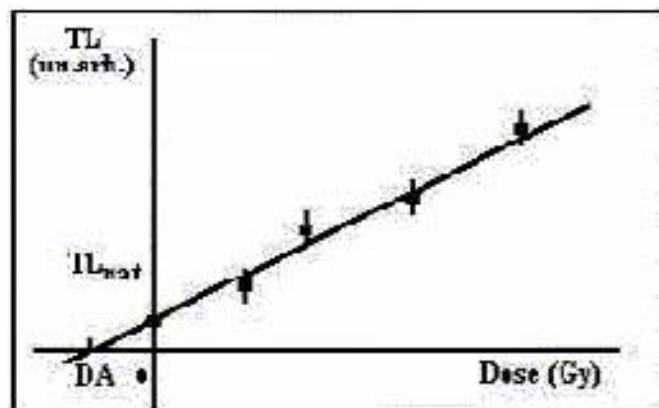


Figura 3.8: Curva representativa do método de doses adicionais para encontrar a dose acumulada (DA) em amostras a serem datadas (FATEC-SP/LVD 2002).

3.3.2.2 Método do Fotoesvaziamento Total (*Total Bleaching*)

Para a realização do método de fotoesvaziamento total, separa-se uma pequena quantidade da amostra natural, suficiente para a realização de cinco a dez leituras, colocando-se o restante da amostra em exposição à luz solar por algumas horas (pelo menos 10 horas) para que o seu sinal alcance uma TL residual, perdendo a TL adquirida. Em seguida, divide-se a porção da amostra, que foi exposta à luz, em várias outras porções, que serão irradiadas a diferentes doses. Após essa irradiação, são efetuadas as leituras e a construção de uma curva de crescimento. Nesta curva marca-se a intensidade TL da amostra natural que foi medida e a dose acumulada é então avaliada pelo valor do segmento obtido no eixo gráfico horizontal, correspondente à interseção do ponto da TL natural (do eixo vertical) com a curva de crescimento, conforme Figura 3.9.

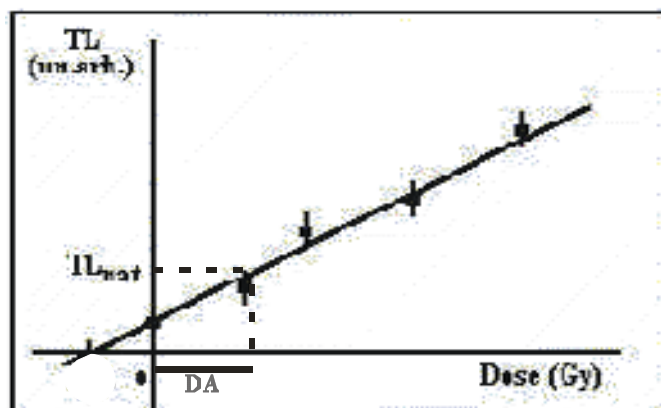


Figura 3.9: Curva representativa do método de fotoesvaziamento total para encontrar a dose acumulada (DA) em amostras a serem datadas (Adaptado de FATEC-SP/LVD 2002).

3.3.2.3 Determinação da Dose Anual (DAn)

A determinação da concentração de radioisótopos, através dos espectros da emissão de radiação γ de uma amostra pode ser feita com a utilização de um detector de Germânio. A comparação dos espectros de radiação γ emitidos pela amostra estudada com os espectros fornecidos por amostras padrões (aquelas com as concentrações de radioisótopos previamente conhecidas: ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th e ^{40}K) dará a concentração dos radioisótopos contidos na amostra. Uma vez encontrados os valores de suas concentrações, obtém-se equacionalmente a dose anual de radiação emitida, supondo a ocorrência de equilíbrio secular e a concentração de radioatividade anual da amostra. Tal procedimento deve ser seguido para cada amostra com características mineralógicas distintas.

3.3.2.4 Preparação das Amostras

Convém coletar amostras de sedimentos em tubos de PVC (com aproximadamente 0,5 m de comprimento e 5 cm de diâmetro), introduzindo-os lateralmente ao local de coleta (barranco ou poço), deixando-os posteriormente bem vedados para evitar que as amostras recebam radiação solar. Devem, ainda, conter informação do lado introduzido para coleta.

Uma amostra a ser datada por Termoluminescência, sendo obtidas as fotos dos eventos termoluminescentes, deve passar pelas seguintes etapas.

- Tratamento químico das amostras para retirar apenas os grãos de quartzo;
- Medição da TL natural (TLnat);
- Irradiação das amostras com radiação gama;
- Medição da TLnat+irrad;
- Análises dos dados experimentais;
- Determinação da idade TL.

3.3.2.5 Datação de Sedimentos Eólicos por Termoluminescência (TL)

Uma superfície de duna, quando exposta à luz solar por mais de duas horas (pelo efeito de fotoesvaziamento, ou *bleaching*), perde quase que totalmente qualquer TL anteriormente induzida, sendo este momento é considerado o “marco zero” do relógio geológico. À medida que essa camada vai sendo coberta por novas camadas, e não sofrendo mais a incidência de raios do sol, começa a acumular TL, segundo o processo descrito a seguir.

Qualquer substância na superfície terrestre fica sujeita a radiação natural de duas fontes: radioatividade do solo, sedimentos e rochas, variável conforme o teor de radionuclídeos de cada localidade, e raios cósmicos, originados do espaço galáctico. Nos grãos de quartzo das areias que estão sob ação dessa radiação natural, protegidas da luz solar, é induzida a TL. Uma porção desta areia, se for aquecida, emitirá luz, em geral muito fraca, mas detectável com válvula fotomultiplicadora. A intensidade da luz TL, assim emitida, é proporcional à dose da radiação acumulada (DA) durante o tempo em que permaneceu soterrada. Portanto, sendo conhecida a dose anual da radiação (DAn) do local (radioatividade mais raios cósmicos), a razão dessas duas quantidades fornecerá o tempo desde a época do fotoesvaziamento até o momento de medida da DA.

3.3.2.5.1 Preparação das Amostras

O material coletado em um campo de dunas, por exemplo, contém além dos grãos de quartzo, outros silicatos, óxidos (alguns magnéticos) e matéria orgânica. Para eliminar o material de propriedades magnéticas, que não é termoluminescente, utiliza-se o separador magnético e, se necessário, líquidos pesados. Quanto maior a quantidade desse material eliminado, mais seguro será o dado obtido de DA. Já a matéria orgânica é eliminada por lavagem com HCL.

3.3.2.5.2 Determinação da DA

Para determinação de DA são utilizados dois métodos: 1- Uma porção dos grãos de quartzo, já tratados, é recozida a cerca de 600 °C (ou até 700 °C) por aproximadamente 60 minutos. Em seguida, essa porção é dividida no mínimo em três ou até cinco sub-porções. Irradia-se cada uma dessas porções com doses diferentes, entre 0,01 Gy até 10 a alguns KGy, esse extremo superior dependendo da idade a ser determinada. A leitura TL dessas sub-porções *plotadas* em função da dose de radiação, produz a Curva de Calibração. Essa curva de calibração é, então, usada para determinar DA, desde que se tenha o valor de TL da amostra natural (método do fotoesvaziamento total). 2- Irradiar várias sub-porções da amostra tratada como no item anterior, com doses entre 0,01 Gy e 5 Gy. A leitura de TL dessas sub-porções produz uma curva que, extrapolada para região de doses inferiores a zero Gy na interseção com o eixo das doses (horizontal), permite obter o valor de DA (método de doses adicionais).

3.4 Datação por Termoluminescência (TL) em Campos de Dunas Costeiras do Estado do Rio Grande do Norte – Trabalhos Realizados

Barreto *et al.* (1999b) dataram por TL oito amostras de dunas inativas da região costeira do Rio Grande do Norte localizada entre Pirangi do Sul e o Cabo de São Roque. As idades revelaram fases importantes de atividade eólica na região, durante o Pleistoceno, há 110.000 ± 7.000 , 51.300 ± 4.700 e 26.900 ± 4.000 anos, no Holoceno, há 3.700 ± 650 anos e dos últimos 400 anos até os dias atuais. Quanto à coloração das areias, Barreto *et al.* (*op.cit.*) verificaram que as dunas com maiores idades (110.000 anos) exibem cores alaranjadas, as dunas com cerca de 50.000 anos apresentam coloração mais escura, castanha ou avermelhada e que as gerações holocênicas variaram de marrom claro a laranja pálido.

Barreto *et al.* (2001), estudando ainda dunas inativas da costa do Estado do Rio Grande do Norte, identificaram, através de exame de produtos de Sensoriamento Remoto, de aspectos de campo e de datações por TL, pelo menos quatro domínios de dunas eólicas existentes no Estado, dos quais três são inativos. A atividade eólica no Pleistoceno superior (18 amostras) apresentou vários momentos de estabilidade parcial ou de fixação de dunas. O período holocênico inicial foi marcado por 4 amostras datadas entre 11.000 e 9.000 anos. No Holoceno médio ficou evidenciada nova fase de atividade e/ou fixação eólica em 13 amostras com idades variando de 6.500 anos ao presente. As amostras com idades mínimas inferiores aos 200 anos evidenciaram fixação recente de dunas, associada à dinâmica dos campos de dunas ativas da área de estudo ou ao retrabalhamento de dunas antigas.

A partir da distribuição das idades ao longo do tempo, Barreto *et al.* (2001) puderam especular que tenham ocorrido na costa do RN vários ciclos de reativação de depósitos eólicos com, no mínimo, seis fases mais importantes: de 390.000 a 320.000 anos (2 amostras), de 240.000 a 270.000 anos (3 amostras), de 190.000 a 110.000 anos (3 amostras), de 64.000 a 26.000 anos (7 amostras), de 11.000 a 9.000 anos (5 amostras) e de 6.500 anos até o presente (13 amostras). Com base nas idades apresentadas, as dunas

eólicas teriam sido geradas tanto nas fases de nível relativo do mar alto (estádios interglaciais) como nas fases de nível relativo do mar baixo (estádios glaciais).

Giannini *et al.* (2001) submeteram 27 amostras de sedimentos arenosos, na sua maioria paleodunas, coletados na planície costeira do RN, à datação por TL e a análises sedimentológicas de textura e mineralogia. O estudo teve como objetivo investigar a relação entre os resultados sedimentológicos e a idade TL, com ênfase a seu possível significado no contexto da variação do nível relativo do mar no Quaternário. Esta relação foi estudada através da comparação entre classes de dados agrupados e através do exame de dados não agrupados via gráficos binários de dispersão e seus respectivos coeficientes de correlação linear, investigando-se, assim, dois tipos de agrupamento. No primeiro, tomaram-se cinco grupos de amostras divididas segundo escala de tempo aproximadamente logarítmica, com idades variando de menos que 1 Ka a idades maiores que 150 Ka. No segundo tipo os dados foram agrupados segundo critérios de comportamento supostos do nível relativo do mar, e, por extensão, do tipo de trato de sistemas deposicionais. As 12 amostras com idades TL aproximadamente coincidentes com os máximos níveis relativos do mar constituíram os depósitos relacionados ao trato de sistemas de mar alto. As 10 amostras com idades coincidentes com os interglaciais foram depositadas durante os tratos de sistemas de mar baixo e as 5 amostras restantes, coincidentes com épocas de ascensão rápida de nível relativo do mar, foram depositados durante o evento de tratos de sistemas transgressivos.

Após a realização de análises das médias dos dados agrupados segundo tratos de sistemas, Giannini *et al.* (2001) verificaram que as amostras de tratos de sistemas transgressivos caracterizavam-se por apresentar o diâmetro médio acentuadamente mais fino, maior grau de seleção e menor concentração de minerais pesados que as amostras dos demais tratos. As de tratos de sistemas de mar baixo caracterizavam-se por possuírem diâmetro mais grosso, maior teor de pesados e melhor ajuste qui-quadrado (X^2) com o Grupo Barreiras. As de trato de sistemas de mar alto diferenciam-se pela pior seleção e menor afinidade com o Grupo Barreiras.

3.5 O Radar de Penetração no Solo (GPR)

3.5.1 O Método GPR

A fundamentação teórica para aplicação do método GPR, descrita a seguir, teve como base os trabalhos de Annan (1992), Harari (1986), Porsani (2001), Olhoeft (2002), Conyers (2002) e TDLS/Texas (2002).

O *Ground Penetrating Radar*, ou Radar de Penetração no Solo (GPR) consiste de uma ferramenta de prospecção geofísica que utiliza ondas de rádio nas frequências compreendidas entre 10 e 1000 MHz e tem como aplicações principais o mapeamento de estruturas e a realização de ensaios não destrutivos no solo. Trabalha com o registro do “tempo de viagem” do pulso eletromagnético, este partindo de uma fonte transmissora e retornando a um receptor (Figura 3.10).

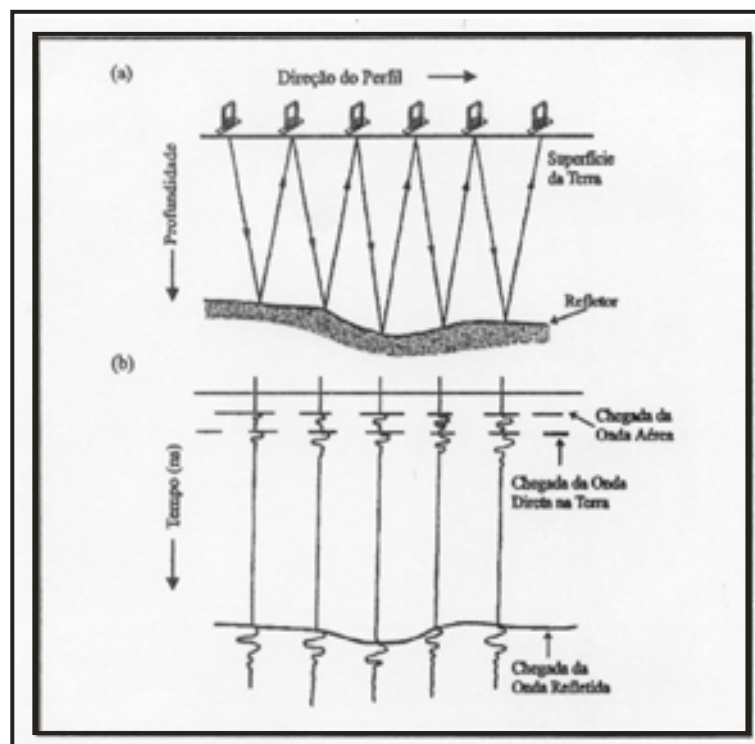


Figura 3.10: Esquema representativo de um levantamento de perfil de GPR (Adaptado de Annan 1992).

As três principais empresas fabricantes de equipamentos GPR são a *Ramac/Mala Geoscience* (Suécia), a *Sensor & Software, inc.* (Canadá) e a *GSSI – Geological Survey System, Inc.* (EUA).

O sistema RAMAC/GPR é projetado em módulos para dar maior flexibilidade nas operações de campo, consiste de 6 módulos básicos (Figura 3.11): 02 antenas (transmissora e receptora), 01 unidade eletrônica do transmissor, 01 unidade eletrônica do receptor, 01 unidade de controle digital e 01 computador tipo *notebook*.

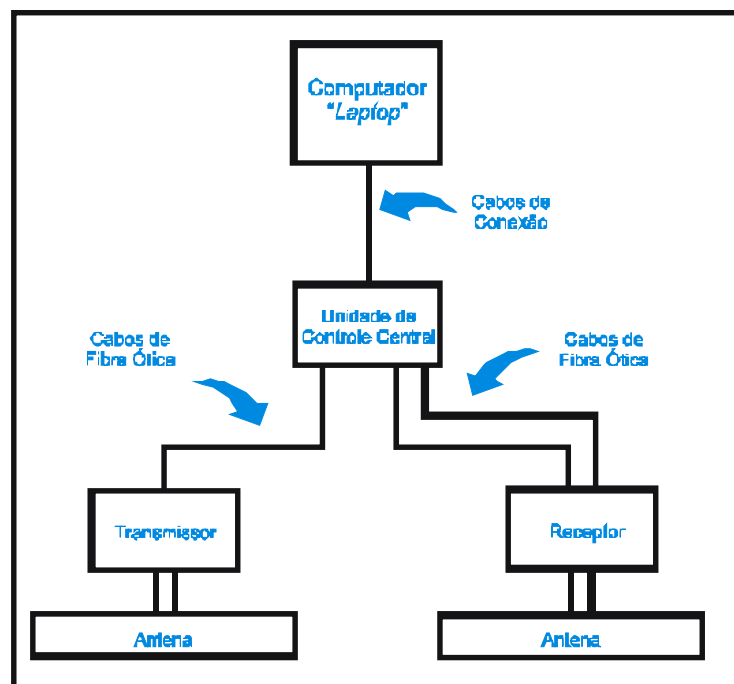


Figura 3.11: Esquema representativo dos seis módulos componentes do sistema RAMAC/GPR (Adaptado de Annan 1992).

Como principais áreas de aplicação da técnica do GPR pode-se citar: exploração mineral, geologia básica, hidrogeologia, geologia ambiental, geotecnia, planejamento urbano, pesquisa arqueológica, aplicações militares e aplicações forensicas.

Quando os campos elétrico e magnético interagem com os diversos materiais presentes no subsolo surgem as correntes elétricas, que se classificam em correntes de condução e correntes de deslocamento, e a razão entre esses valores de corrente

determina se existem condições adequadas para utilização ou não do GPR em um determinado solo.

A corrente de condução possui caráter dissipativo, com perda de energia associada à produção de corrente para o meio. Já a corrente de deslocamento ou corrente de condução eletrolítica resulta do deslocamento de íons associados à dissociação de sais contidos em água no interior das rochas. A corrente elétrica de fluxo presente em meios geológicos caracteriza-se por apresentar no mesmo local e ao mesmo tempo esses dois mecanismos de condução de corrente. O GPR trabalha de forma mais eficiente em meios onde os efeitos dielétricos predominam, ou seja, meios com baixa condutividade elétrica.

A utilização desse método em ambientes de climas tropicais pode ser inviabilizada com a presença de argila, por ser este um material condutivo e propiciar o aumento da atenuação do sinal de onda no meio. A “janela de GPR” é um intervalo de frequência no qual a atenuação sofrida pelo sinal de radar é constante para todos os materiais envolvidos nesse meio. Já a areia seca proporciona condições excelentes para uso do GPR, pois admite uma grande faixa de frequência em que a atenuação é praticamente constante, além de possuir baixa condutividade.

A propagação do sinal eletromagnético depende da frequência do sinal transmitido e das propriedades elétricas dos materiais: condutividade elétrica - σ (S/m), sendo mais comum no GPR trabalhar em (mS/m), permissividade dielétrica - ϵ (F/m) e permeabilidade magnética - μ (H/m).

Como visto, as ondas de radar refletidas e difratadas em subsuperfície são recebidas através de outra antena (receptora, modo bi-estático) colocada também na superfície do terreno. A energia refletida é registrada em função do tempo de percurso (tempo duplo), amplificada, digitalizada e gravada no disco rígido de um computador *notebook*, para que os dados possam ser posteriormente processados.

Os fatores mais importantes que governam a propagação da onda eletromagnética em um determinado meio são a velocidade - v (m/ns) e a atenuação - α (dB/m) e, esta

última, dependendo da profundidade de penetração do sinal no solo, provocando perdas. As variações nas propriedades elétricas dos diferentes materiais que compõem as camadas de solo podem causar uma forte impedância elétrica na interface que separa essas camadas, determinando a quantidade do sinal que deverá ser refletido, expresso pelo coeficiente de reflexão – r .

A Tabela 3.1 apresenta valores de constante dielétrica (K), condutividade elétrica (σ), velocidade de propagação (v) e atenuação (α) para diversos tipos de materiais geológicos.

Tabela 3.1: Valores de constante dielétrica, condutividade elétrica, velocidade de propagação e atenuação para diversos tipos de materiais geológicos.

Materiais	Constante Dielétrica, ϵ	Condutividade Elétrica, σ (mS/m)	Velocidade, v (m/ns)	Atenuação, α (dB/m)
Ar	1	0	0,3	0
Água destilada	80	0,01	0,033	$2 \cdot 10^{-3}$
Água fresca	80	0,5	0,033	0,1
Água do mar	80	$3 \cdot 10^3$	0,01	1000
Areia drenada	3-5	0,01	0,15	0,01
Areia saturada	20-30	0,1-1	0,06	0,03-0,3
Calcário	4-8	0,5-2	0,12	0,4-1
Folhelho	5-15	1-100	0,09	1-100
Siltito	5-30	1-100	0,07	1-100
Argila	5-40	2-1000	0,06	1-300
Granito	4-6	0,01-1	0,13	0,01-1
Sal	5-6	0,01-1	0,13	0,01-1
Gelo	3-4	0,01	0,16	0,01

Fonte: Annan (1992).

Para que sejam adquiridos os parâmetros necessários a uma adequada utilização do método GPR, deve-se analisar a possível aplicabilidade do determinado meio idealizado para estudo, bem como escolher de forma detalhada os parâmetros de levantamento. Inicialmente, procede-se a uma análise relacionada à profundidade do alvo, à quantidade de energia refletida no meio e à presença de fatores limitantes (cercas, linhas de tensão, emissores de radiofrequência, elementos muito condutivos, entre outros), devendo-se estimar valores para algumas grandezas físicas envolvidas no problema, relativas tanto ao meio encaixante (solo) como ao alvo.

Para a aquisição de dados em GPR, pode-se utilizar as técnicas: Perfis de Reflexão com Afastamento Constante (*Common Offset*), Sondagens de Velocidade e Transiluminação ou Tomografia. Os parâmetros para aquisição desses dados são a frequência da antena – f_C , que é inversamente proporcional à profundidade de penetração do sinal, a frequência de amostragem – f_N , a abertura da janela temporal – T_w , a amostragem espacial, o espaçamento entre as antenas, a orientação do perfil e a orientação das antenas.

O processamento dos dados de radar envolve as seguintes etapas: edição dos dados (com correção topográfica), processamento do sinal e apresentação da imagem processada. Os tipos de processamentos podem ser divididos em básicos e avançados. Os processamentos básicos subdividem-se em Edição dos Dados (com correção topográfica); Filtragem DC (*Dewowring*); Ganho em Tempo; Filtragem Temporal; Filtragem Espacial e Análise de Velocidade (CMP/WARR) (Figura 3.12). Os processamentos avançados dividem-se em Remoção do *Background* (*Del Mean*) e Migração.

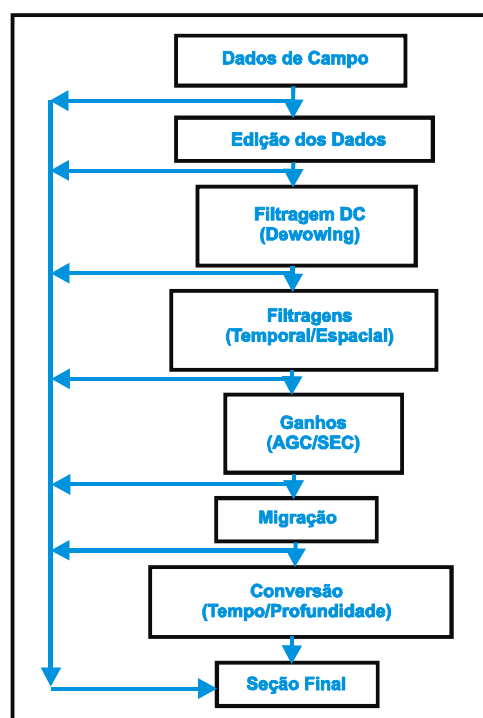


Figura 3.12: Fluxograma de processamento de dados básico de GPR (Adaptado de Annan 1992).

Entre as diversas maneiras existentes de apresentação dos dados em GPR têm-se o *wiggle trace*, que mostra a amplitude do sinal em função do tempo; a *gray scale*, em tons de cinza e o código de cores (*color coding*). Os principais tipos de refletores identificáveis em um perfil de GPR, por objetos enterrados ou na superfície, são os horizontais contínuos, os refletores de objetos 2D e 3D e as hipérbolas de difrações ou descontinuidades laterais. As principais fontes de ruídos são os objetos na superfície, os objetos sobre a cabeça, os transmissores de sinais eletromagnéticos e a ressonância da antena – *ringing*.

3.6 Aplicação do GPR em Dunas Costeiras do Estado do Rio Grande do Norte

Oliveira Jr. (2001) apresenta os resultados de um levantamento de perfis de GPR, realizado em uma região do litoral norte do Estado do RN próxima à cidade de São Bento do Norte, sobre campos de dunas em fase de migração rápida que avançavam em direção a residências próximas. Esse trabalho teve como objetivo principal a caracterização da estrutura interna desses campos de dunas e sua possível relação com a direção predominante dos ventos na área. Para iniciar os estudos acerca das causas dessa migração de dunas, Oliveira Jr. (*op. cit.*) levantou quatro perfis com o GPR, sobre o campos de dunas, com direções E-W (perfil de 280 m de extensão), N-S (perfil de 350 m), NE-SW e SE-NW; utilizando-se uma antena de 400 MHz de frequência, atingindo uma profundidade de penetração da onda de até 7,5 m e admitindo-se a velocidade de onda para areia seca de 0,15 m/ns (Annan 1992). A resolução prática dos dados de GPR era de aproximadamente 30 cm, sendo a mesma suficiente para distinguir estratos de camadas individuais no interior da duna.

Após a aplicação da correção topográfica nos dados de levantamento dos perfis, identificou-se que os ângulos de mergulho dos estratos das camadas eram menores ao longo do perfil de direção N-S, o qual era perpendicular à direção predominante do vento; maiores no perfil E-W (valores em torno de 2 a 6°) e intermediários nos perfis SW-NE e SE-NW. No perfil E-W, verificou-se a presença do lençol freático e de uma interface de truncamento horizontal separando duas gerações de dunas, bem como uma mudança de direção abrupta nas camadas padrão, associada a um contato lateral entre duas gerações, sendo que a mais antiga estendia-se na direção W.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS OBTIDOS

4.1 Identificação de Unidades Eólicas Depositionais e Erosivas

4.1.1 Introdução

Para incrementar as informações necessárias ao estabelecimento dos critérios a serem adotados para a elaboração do mapa base, com a identificação de unidades eólicas deposicionais e erosivas na área de estudo, procedeu-se a uma caracterização de feições sedimentares eólicas. Essa caracterização foi realizada por meio de informações de campo e registros fotográficos (Quadro 4.1 e Figuras 4.1 a 4.9).

Quadro 4.1: Tipos de feições sedimentares eólicas observadas em campo.

LOCALIDADES DE ESTUDO EM CAMPO	COORDENADAS (UTM – LATITUDE N LONGITUDE E)	FIGURAS	FEIÇÕES SEDIMENTARES ENCONTRADAS
Nova Parnamirim	256805/9347024, 256458/9346972, 256269/9347156, 255895/9347586	4.1, 4.2, 4.5	- Marcas onduladas eólicas com comprimentos de onda em torno de 11 cm e presença de minerais pesados - Línguas de fluxo de grãos de aproximadamente 1,5 a 5m de comprimento e 10 a 55 cm de largura em dunas cortadas com vegetação ao topo - Campo de dunas de sombra (<i>shadow dunes</i>) em terrenos de relevo planificado
Trecho do Prolongamento da Av. Prudente de Moraes	253525/9352396, 253881/9353646	4.3	- Pavimento de deflação - Presença de poucas feições de dunas de sombra - Marcas onduladas eólicas em terrenos aplainados
Parque das Dunas	258363/9351482	4.4, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9	- Campos com grande quantidade de dunas de sombra - Aparecimento de raízes vegetativas no topo dos campos por efeito da ação erosiva do vento - Pavimentos de deflação, com deposição de clastos mais pesados (de maiores dimensões) sobre clastos menores - Faixas de marcas onduladas eólicas com comprimentos de onda diferentes (menores) à medida que vão seguindo a direção de diminuição da velocidade do vento - Línguas de fluxo de grãos de comprimentos variando aproximadamente entre 55cm a 4m e larguras de 10 a 80cm



Figura 4.1: Marcas onduladas eólicas (*eolian ripple marks*) em campos de dunas amareladas.

Figura 4.2: Campo de *shadow dunes* (dunas de sombra) de coloração avermelhada.

Figura 4.3: Presença de dunas de sombra, marcas onduladas eólicas e pavimento de deflação em campo de dunas amareladas.

Figura 4.4: Via Costeira. Corredores de vento (*blowouts*), identificando processo erosivo no Parque das Dunas.

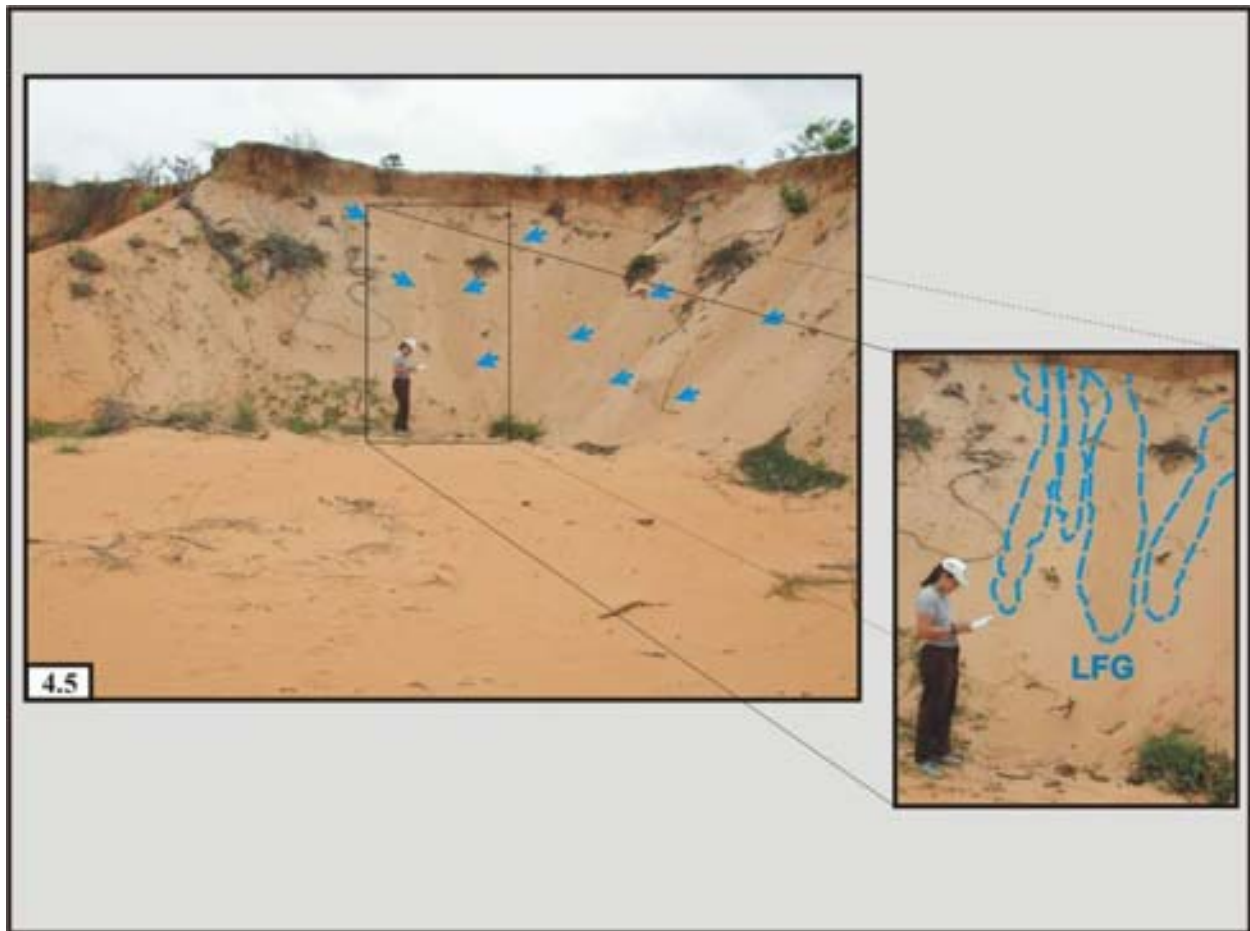


Figura 4.5: Línguas de fluxo de grãos em dunas cortadas. Região de Nova Parnamirim.

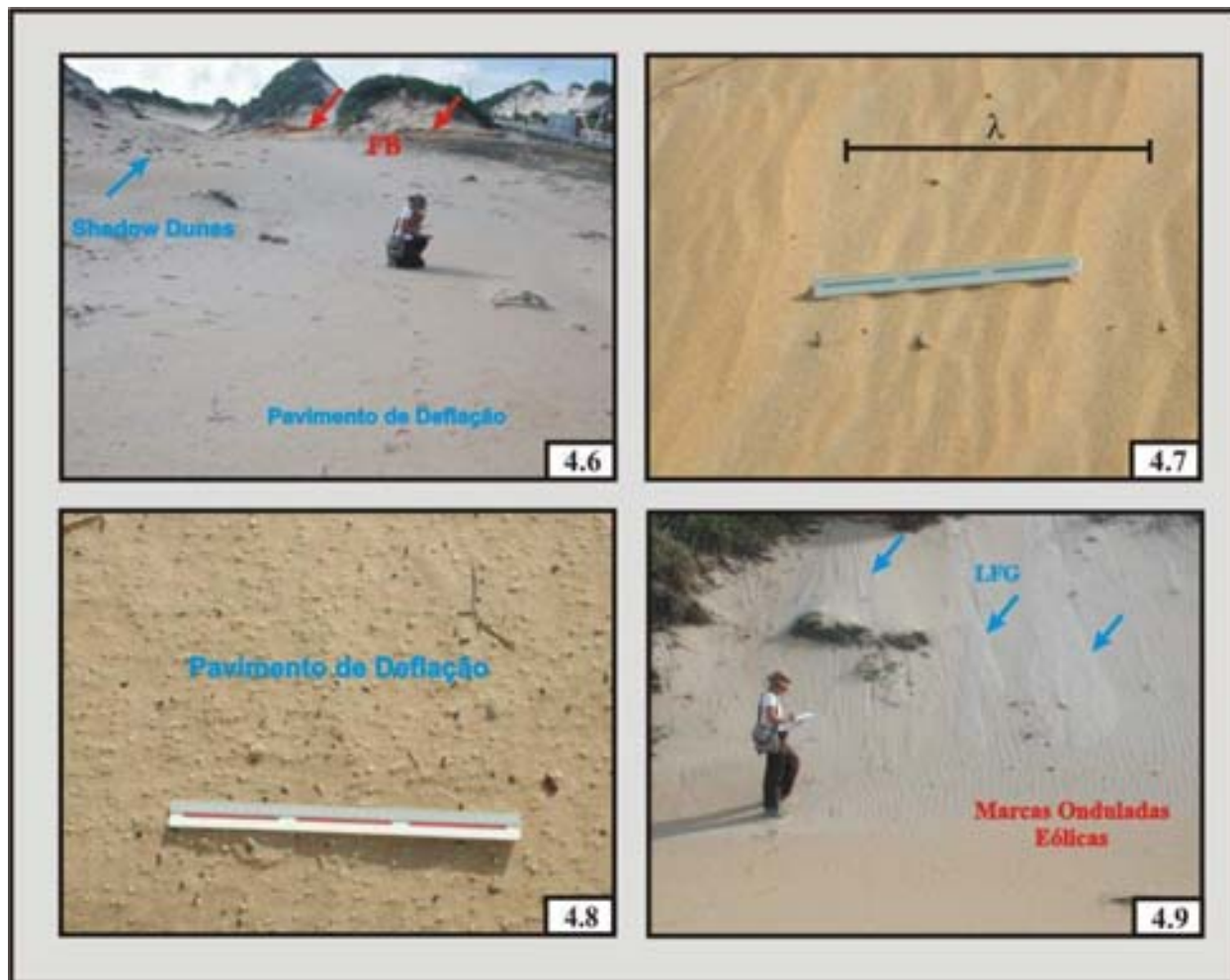


Figura 4.6: Zona de interdunas secas e *blowouts*, com campos de *shadow dunes* e pavimento de deflação. Ao fundo, afloramento da Formação Barreiras.

Figura 4.7: Região de marcas onduladas eólicas, com ocorrência de diminuição no tamanho dos grãos transportados, de acordo com intensidade da velocidade do vento.

Figura 4.8: Detalhe em pavimento de deflação.

Figura 4.9: Presença de línguas de fluxo de grãos e marcas onduladas eólicas.

4.1.2 Unidades Identificadas

Para a elaboração do mapa base, contendo a identificação de unidades geológicas de características eólicas na área de estudo, realizou-se previamente um estudo fotointerpretativo com a utilização de fotografias aéreas (ano 1979), na escala de 1:40.000 (CRUZEIRO DO SUL 1979) e com o auxílio de carta topográfica (ano 1983), escala 1:100.000 (SUDENE 1983). Esse mapa base, elaborado previamente sob a forma de *overlay*, foi então vetorizado, gerando assim o mapa com a separação entre unidades geológicas eólicas, de características deposicionais e erosivas, apresentadas na Figura 4.10.

Os critérios estabelecidos para a identificação dessas unidades geológicas basearam-se na análise fotointerpretativa, de forma que os parâmetros adotados neste estudo foram a forma (geometria) dos campos de dunas, a relação entre os campos existentes, os tipos de dunas encontradas nesses campos, a coloração, a presença ou não de vegetação e as relações de uso/ocupação do solo. Desta forma, foram identificadas na área as seguintes unidades (Figura 4.10):

Unidade I – Corredores de Vento, ou *Blowouts* (BW), representados por cordões paralelos à direção predominante de atuação dos ventos (SE-NW), com largura média em torno de 800m. Apresentam coloração amarelo-esbranquiçada e sofrem a ação erosiva do vento, caracterizando ambientes de interdunas secas.

Unidade II - Campo de dunas ativas (DA), apresenta forma alongada, de relevo mais ou menos aplainado e paralela à linha costeira. Localiza-se na Praia do Forte, extremo NE da área de estudo. Apresentam coloração esbranquiçada e presença inconstante de vegetação.

Unidade III - Campo de dunas fixas por vegetação (DF), localizados na porção oriental da área de estudo, englobando o Parque das Dunas (campo de dunas com aproximadamente 8,5 km de extensão e largura média de 2,0 km, limitado ao Norte pelo bairro de Mãe Luíza e ao Sul pelo bairro de Ponta Negra) e os campos localizados entre

as praias de Ponta Negra e Cotovelo (campo de dunas com cerca de 6,0 km de extensão e largura média de 1,5 km). Possuem altitudes variando de 80 a 125 m (Jesus 2002), coloração amarelo-esbranquiçada, estando fixos por vegetação.

Unidade IV - Campo de dunas parabólicas (DP), apresentando-se sobreposto ao campo de dunas da Unidade V, possui dunas do tipo parabólicas, cujos ângulos de abertura dos flancos são da ordem de 5 a 30°. Apresenta coloração amarelada e presença inconstante de vegetação. Abrange parte dos bairros Pitimbu, Cidade Nova, Candelária, Capim Macio, Neópoles e Ponta Negra, em Natal, onde estão construídos alguns dos conjuntos habitacionais pertencentes a esses bairros.

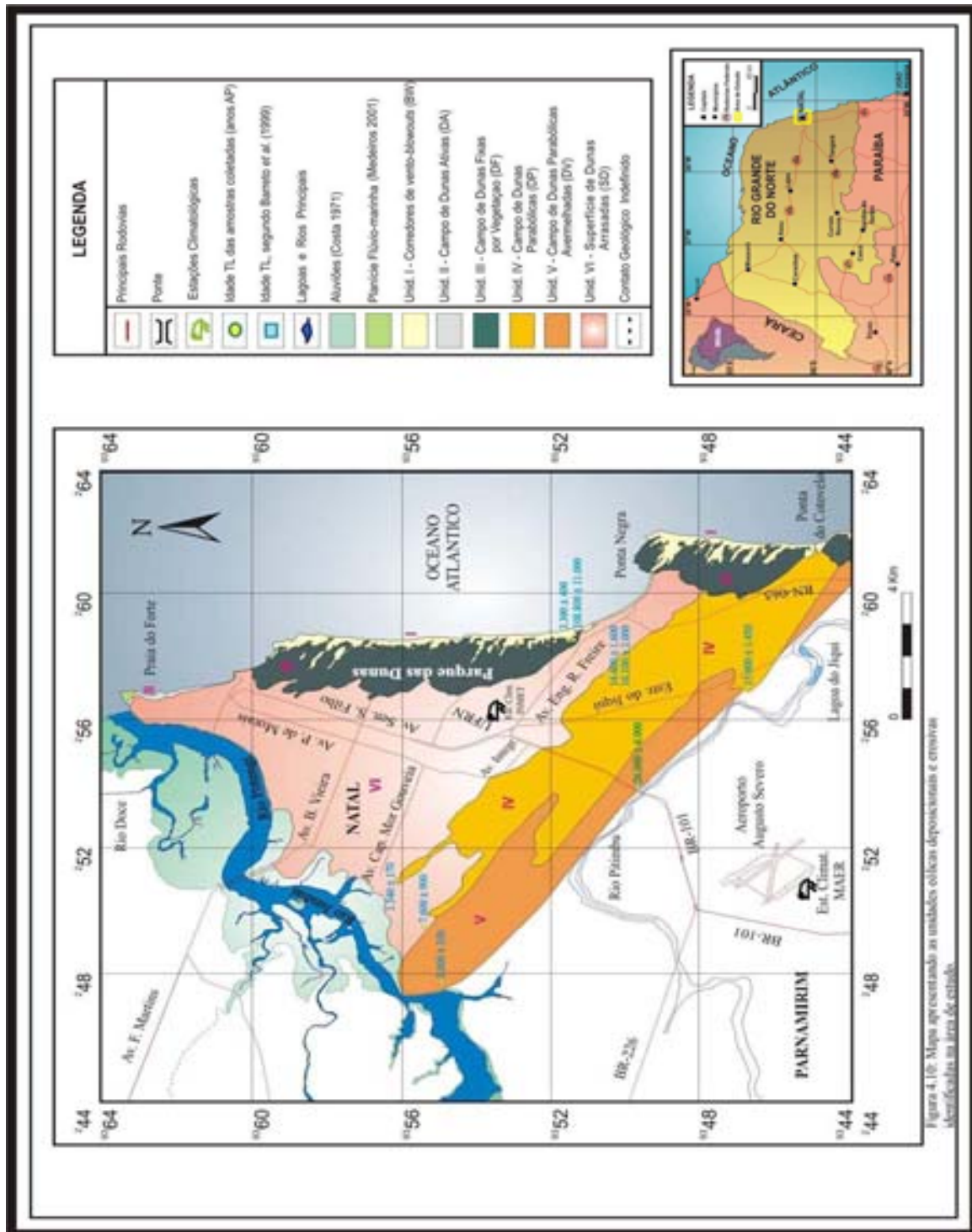
Unidade V - Campo de dunas parabólicas avermelhadas (DV), apresenta uma superfície aplainada, e em vista superior a forma geométrica de parábola cujo vértice aponta para a direção NW, com extensão de aproximadamente 16,0 km (direção SE-NW), limitado pelo Rio Jundiaí-Potengi. Apresenta coloração predominantemente avermelhada, estando inconstantemente coberto por vegetação. Abrange porções dos bairros Guarapes, Pitimbu, Neópoles e Ponta Negra, em Natal e parte da região de Nova Parnamirim, sofrendo, atualmente, um acelerado processo de descaracterização pela execução de loteamentos e construção de imóveis, principalmente em Nova Parnamirim.

Unidade VI - Superfície de dunas arrasadas (SD), trata-se de uma superfície aplainada, com nível topográfico inferior às duas últimas feições descritas e adjacente às mesmas. Apresenta coloração avermelhada e encontra-se completamente descaracterizada por abranger a área urbanizada mais antiga de Natal (regiões leste, oeste e sul).

As unidades deposicionais e erosivas delimitadas e apresentadas na Figura 4.10 correspondem aos resultado da análise de critérios como direção e sentido de atuação dos ventos na região, forma (geometria) dos campos de dunas, relação entre os campos existentes, coloração, presença ou não de vegetação e relações de uso/ocupação do solo.

Essas unidades demonstram, naturalmente, distinção de ordem cronológica e, portanto, relaciona-se nesta pesquisa suas idades identificando-as da seguinte forma:

A unidade de características erosivas identificada na Unidade I – *Blowouts* (BW) seria a unidade de composição mais recente, estando a mesma no momento sujeita a retrabalhamento em suas formas pela ação eólica local. Os campos de dunas identificados como Unidade II - Campo de dunas ativas (DA), Unidade III - Campo de dunas fixas por vegetação (DF), Unidade IV – Campo de dunas parabólicas (DP) e Unidade V - Campo de dunas parabólicas avermelhadas (DV) estariam dessa forma relacionados cronologicamente, ordenados do mais recente para o mais antigo, respectivamente. A Unidade VI – Superfície de dunas arrasadas (SD) necessitaria de outros critérios para inferência de idade relativa com as demais unidades, já que a mesma encontra-se descaracterizada pela presença urbana intensificada ao longo de sua área.



4.2 Datação de Sedimentos Eólicos pelo Método da Termoluminescência (TL)

4.2.1 Introdução

Para a datação de sedimentos eólicos, através do Método da Termoluminescência (TL), em campos de dunas da área de estudo, foram utilizadas oito amostras, localizadas conforme identificação na Figura 4.10. Essas amostras foram coletadas em tubos de PVC (com 0,50 m de comprimento e 5 cm de diâmetro), introduzidos lateralmente no local de coleta (Figuras 4.11 a 4.17), sendo os mesmos bem vedados para evitar que as amostras recebessem radiação solar. Os trabalhos de tratamento das amostras, determinação das doses anual e acumulada e determinação das idades TL foram processados no Laboratório de Vidros e Datação da FATEC-SP, São Paulo/SP.

Verifica-se, de acordo com a localização dos pontos de coleta de amostras para datação (Figura 4.10), que os resultados interpretativos sobre as idades absolutas (TL) de sedimentos eólicos, obtidos neste trabalho, se restringiram a setores de amostragem situados apenas nas Unidades I, III, IV e V identificadas na área de estudo.

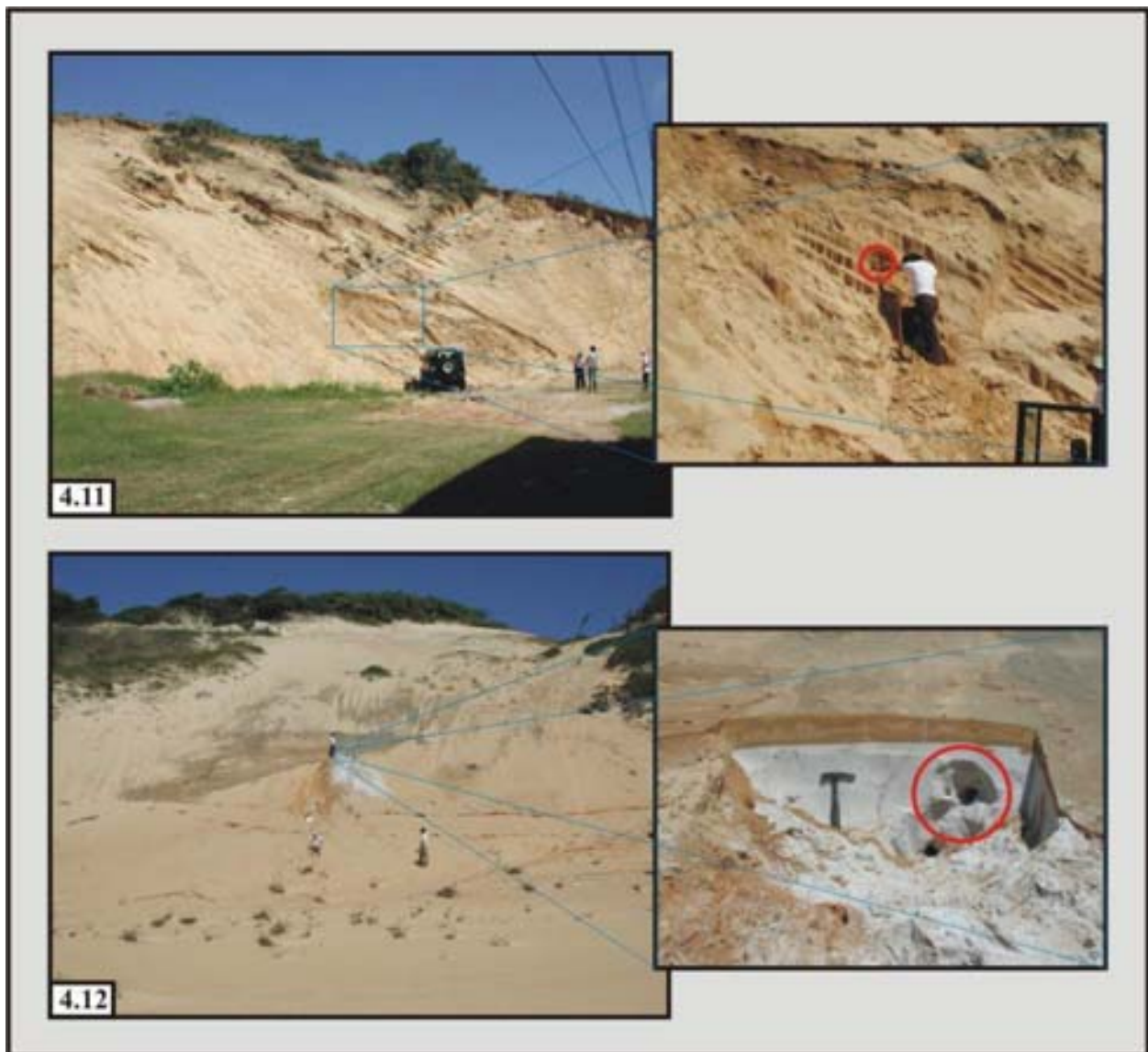


Figura 4.11: Ponto de coleta de amostras (DTL – 10 e DTL – 11) em campo de dunas amareladas. Unidade IV, Ponta Negra, Natal.

Figura 4.12: Ponto de coleta (amostra CTL – 10) de sedimentos arenosos esbranquiçados. Unidade III, Parque das Dunas, Natal.



Figura 4.13: Ponto de coleta de amostra (ATL – 10) em uma zona de corredor de ventos (*Blowout*). Unidade I, Parque das Dunas, Natal.

Figura 4.14: Ponto de coleta de amostra (DTL – 12) em campo de dunas avermelhadas. Unidade IV, Nova Parnamirim.

Figura 4.15: Ponto de coleta de amostras (ETL – 10) em campo de dunas amarelo-avermelhadas. Unidade V, Felipe Camarão, Natal.

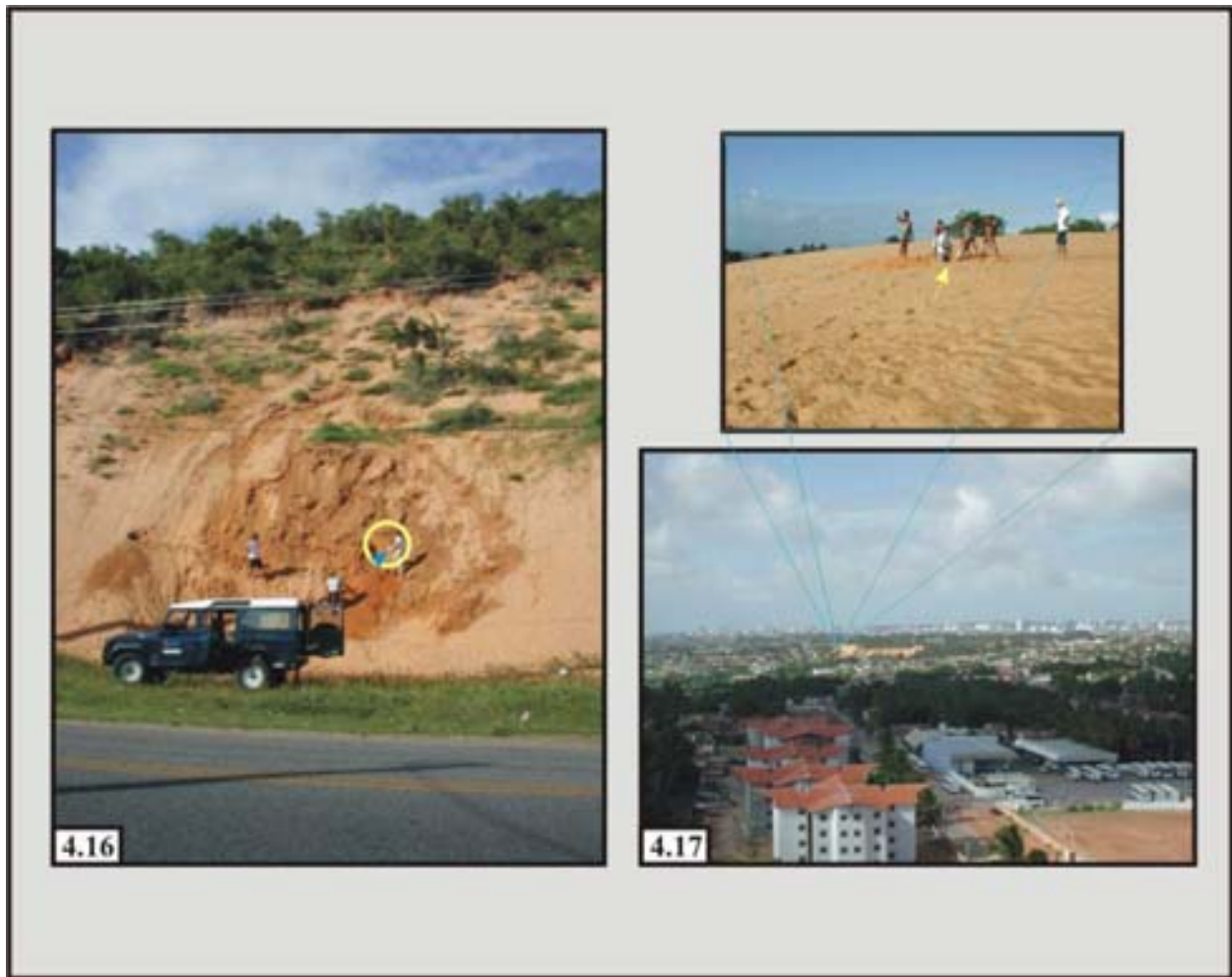


Figura 4.16: Ponto de coleta de amostras (ETL – 11) em campo de dunas avermelhadas. Unidade V, Guarapes (Av. Ranieri Mazzili), Natal.

Figura 4.17: Ponto de coleta de amostras (DTL – 13) em campo de dunas amareladas. Unidade IV, Felipe Camarão, Natal.

4.2.2 Idades Obtidas

Os resultados de datação por TL obtidos para as oito amostras coletadas na área de estudo estão apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Idades obtidas e localização dos depósitos datados por Termoluminescência (TL).

AMOSTRAS	LOCALIZAÇÃO COORDENADAS (UTM).	UNIDADES EÓLICAS	DA $\mu\text{Gy/ano}$	Q (Gy)	IDADES AP (anos)
DTL –10	257405 / 9350386	IV	403 ± 6	5,82	14.400 ± 1.600
DTL –11	257405 / 9350386	IV	550 ± 15	8,92	16.100 ± 2.000
CTL –10	258428 / 9351396	III	280 ± 2	30,48	108.800 ± 11.000
ATL –10	258130 / 9351454	I	472 ± 10	1,57	3.300 ± 400
DTL –12	256607 / 9346856	IV	2.700 ± 79	41,58	15.000 ± 1.450
ETL –10	249483 / 9355366	V	2.100 ± 56	16,01	7.600 ± 900
ETL –11	247728 / 9354978	V	545 ± 10	1,65	3.000 ± 350
DTL –13	250967 / 9356272	IV	500 ± 13	0,6779	1.340 ± 170

A idade TL obtida para a Unidade I (amostra ATL – 10), em uma zona de corredor de ventos (*blowout*), foi de 3.300 ± 400 anos. A datação obtida é coerente com a expectativa de uma idade mais nova dentre todas as unidades estudadas, entretanto, como é esta região por excelência um local de erosão ativa e atual, parece exagerada a idade obtida.

A amostra coletada na Unidade III (CTL – 10), a uma profundidade de aproximadamente 9,0 m do topo da duna (Figura 4.12) apresentou uma idade TL de 108.800 ± 11.000 anos, idade considerada muito alta em relação ao padrão obtido para as demais unidades da área de estudo. Apesar da Unidade III estar situada de forma adjacente aos corredores de ventos da Unidade I, esperava-se, para a mesma, idade TL com ordem de grandeza muito superior àquele obtido na Unidade I, por se tratar de uma amostra coletada de um campo de dunas que se encontra estabilizado por fixação de vegetação.

As idades obtidas para as amostras DTL – 10, DTL – 11 (coletadas a cerca de 6,0 m de profundidade em relação ao topo da duna, Figura 4.11) e DTL – 12 (também a cerca de 6,0 m, Figura 4.14), localizadas na Unidade IV da área de estudo, apresentam idades TL de valores equivalentes: 14.400 ± 1.600 , 16.100 ± 2.000 e 15.000 ± 1.450 anos, respectivamente. Observa-se, que esses três pontos estão alinhados transversalmente em relação ao sentido predominante de atuação dos ventos (SE-NW) na região (Figura 4.10), o que demonstra a coerência dos valores obtidos, sugerindo que sua estabilização deu-se em torno de 15.000 anos.

A amostra DTL – 13, coletada na Unidade IV (Figura 4.17) apresentou idade TL de 1.340 ± 170 anos. Trata-se de uma região de extremidade de campo de duna que vem sofrendo ainda processo de retrabalhamento e alteração morfológica, demonstrando assim caráter bastante dinâmico. Daí sua idade relativamente mais baixa.

As amostras ETL – 10 e ETL – 11, coletadas em campos de dunas situados na Unidade V (Figuras 4.15 e 4.16) apresentaram idades TL de 7.600 ± 900 e 3.000 ± 350 anos, respectivamente. Relativamente, estes valores apresentam-se bastante discrepantes.

Barreto *et al.* (1999b) dataram também por TL uma amostra coletada na Unidade V, próxima à BR-101 (Figura 4.10), obtendo o valor de 26.900 ± 4.000 anos. Este valor aumenta ainda mais a dispersão das idades obtidas, deixando em aberto a idade de estabilização das dunas nessa Unidade. Por outro lado, o valor TL obtido para essa amostra, de certa forma, vem reforçar o critério adotado neste trabalho de que a Unidade V seria mais antiga que a Unidade IV.

Dentre os resultados obtidos para as oito amostras datadas por TL, o maior número de amostras coletadas e com idades mais próximas e equivalentes entre si foram aquelas localizadas na Unidade IV (DTL – 10, DTL – 11, DTL – 12 e DTL – 13). As Unidades I, III e V necessitariam ter uma maior quantidade de dados amostrais, ao longo de seus limites identificados, para que se pudesse caracterizar de forma mais precisa seus parâmetros cronológicos.

As idades obtidas pelo Método da Termoluminescência (TL) para as amostras coletadas nas Unidades I, III, IV e V da área de estudo, demonstraram, de forma geral e ao menos quando da relação cronológica aqui estabelecida entre essas Unidades (item 4.1.2), valores condizentes com o que se esperava obter, tendo em vista que as unidades geológicas e geomorfológicas eólicas objeto de estudo neste trabalho são de caráter recente. Contudo, faz-se necessária a realização de muitas outras amostragens, para melhor análise e interpretação de idades TL obtidas ao longo de toda a área de estudo, sobretudo nas Unidades II e VI que não tiveram amostras coletadas para datação no presente trabalho.

4.3: Interpretação de Estruturas Sedimentares com Aplicação do Método GPR em Campos de Dunas da Área de Estudo

Nesta etapa de trabalho foram levantados dois perfis de GPR em trechos do Parque das Dunas, próximo ao “Centro de Convenções de Natal” (Figuras 4.18 e 4.22). Objetivava-se, principalmente, a identificação de possíveis gerações de dunas existentes sob camadas depositadas naqueles trechos.

O primeiro perfil (Perfil 01) levantado em campo de dunas (Figura 4.19) tem uma extensão de 50 m a partir do ponto inicial (ponto 0, com coordenadas UTM 258363E/9351482N), formando um ângulo azimutal de 332° com o Norte Geográfico. Para este perfil utilizou-se um equipamento GSSI, inc. com antena blindada de 200 MHz, em modo de aquisição contínuo.

De acordo com os resultados parcialmente processados apresentados na Figura 4.20, a profundidade máxima de penetração obtida para uma antena de frequência 200MHz foi de aproximadamente 12m, ocorrendo a 7m de distância da origem do perfil. As duas reflexões fortes no início do perfil (1) referem-se às ondas diretas no ar e na terra (Annan 1992). Observa-se na região (2) a migração de uma nova geração de duna sobre outra mais antiga (3). Vê-se, na porção inferior direita do perfil (5), o contato com a Formação Barreiras (FB) que possui trechos aflorantes no local (Figura 4.21). As regiões (3) e (4) necessitariam de mais horas de processamento e da abertura de trincheiras para a identificação correta do significado destes refletores. A linha (6) provavelmente representaria o nível de lençol freático no interior da duna.

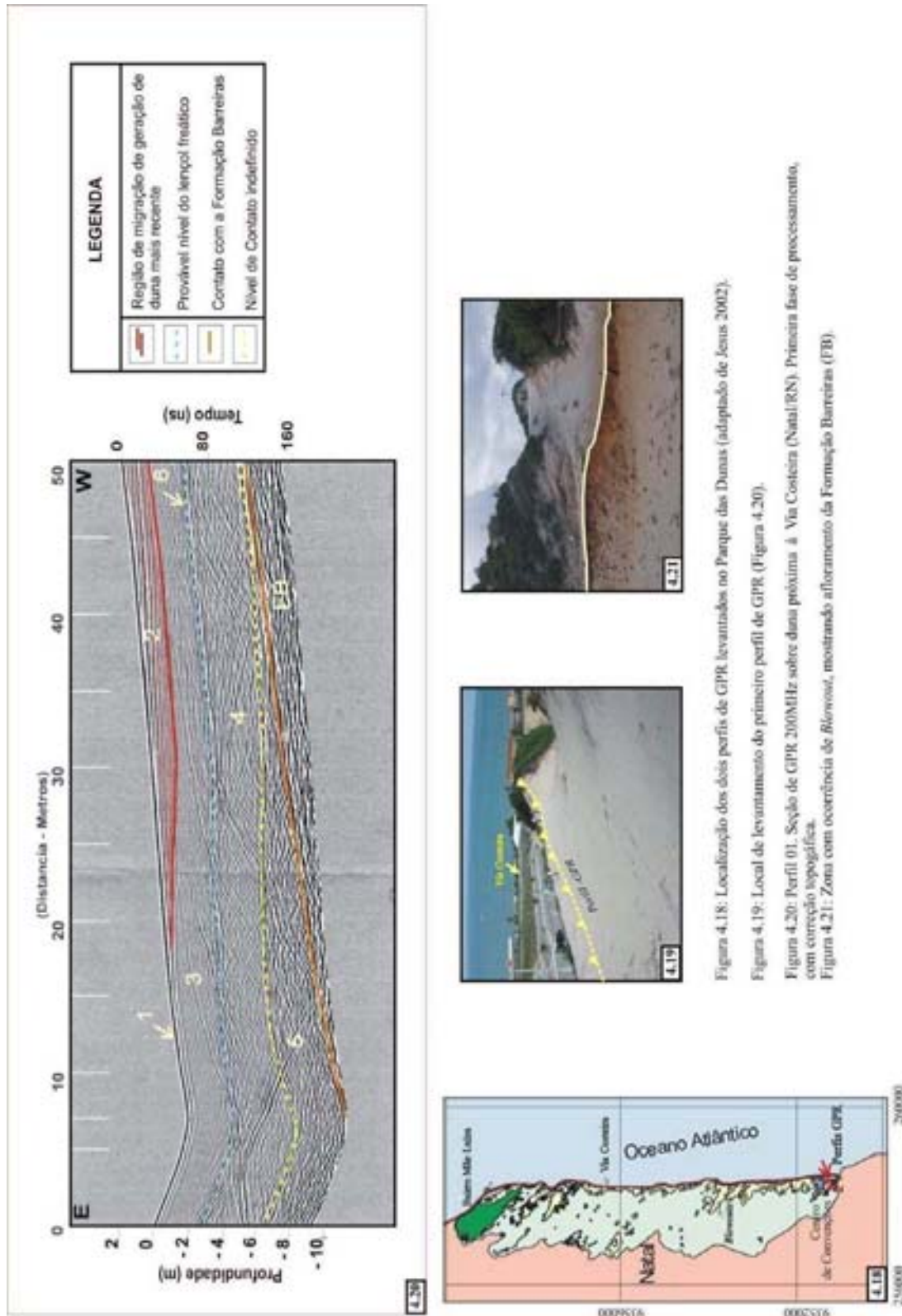


Figura 4.18: Localização dos dois perfis de GPR levantados no Parque das Dunas (adaptado de Jesus 2002).

Figura 4.19: Local de levantamento do primeiro perfil de GPR (Figura 4.20).

Figura 4.20: Perfil 01. Seção de GPR 200MHz sobre duna próxima à Via Costeira (Natal/RN). Primeira fase de processamento, com correção topográfica.

Figura 4.21: Zona com ocorrência de 'blowouts', mostrando afloramento da Formação Barreiras (FB).



O segundo perfil (Perfil 02) levantado em região de *blowout* (Figuras 4.18, 4.22, 4.23, 4.25 e 4.26) tem uma extensão aproximada de 190 m (com coordenadas UTM 258255E/9351410N e 258068E/9351428N nos pontos inicial (A) e final (C),

respectivamente). Para este perfil utilizou-se um equipamento RAMAC/MALA GEOSCIENCE, com antenas transmissora e receptora posicionadas perpendicularmente (no seu lado maior) ao alinhamento do perfil, em modo de aquisição com afastamento constante (*commom offset*) de 1,0 m.

Para aquisição de dados neste segundo perfil foram utilizadas duas antenas: uma com frequência de 100 MHz, abrangendo todo o perfil, do ponto A ao C (Figura 4.23) e uma segunda antena (50 MHz) abrangendo apenas o trecho que vai do ponto B ao C (Figura 4.24).

De acordo com os resultados parcialmente processados apresentados na Figura 4.23, a profundidade máxima de penetração obtida para uma antena de frequência 100 MHz foi de aproximadamente 20,8 m. Para a Figura 4.24 (50 MHz), a profundidade máxima obtida foi de 34,95 m.

As reflexões fortes (1) no início dos perfis (Figuras 4.23 e 4.24) referem-se às ondas diretas no ar e na terra. Para os perfis representados em ambas as figuras Perfil 02 (extensão aproximada de 190 m, aquisição de dados utilizando-se duas antenas não blindadas: 100 MHz e 50 MHz), os resultados demonstraram com maior clareza níveis de reflexão horizontais, representando contato geológico com a Formação Barreiras (FB), que também possui trechos aflorantes no local, e um provável nível de lençol freático no interior da duna. Algumas linhas diagonais aparecem (um pouco mais nítidas no perfil da antena de 50 MHz), representando provavelmente estratificações (*foresets*) no interior da duna. De forma geral, seria necessária a obtenção de mais dados de processamento para que se possam ter melhores conclusões sobre essas estratificações.

Poder-se-ia ainda coletar amostras para datação TL no interior desses campos de dunas, correlacionando os valores de idade obtidos com os dados de GPR para melhor compreensão da presença dos alinhamentos que ocorrem no interior dessas dunas.

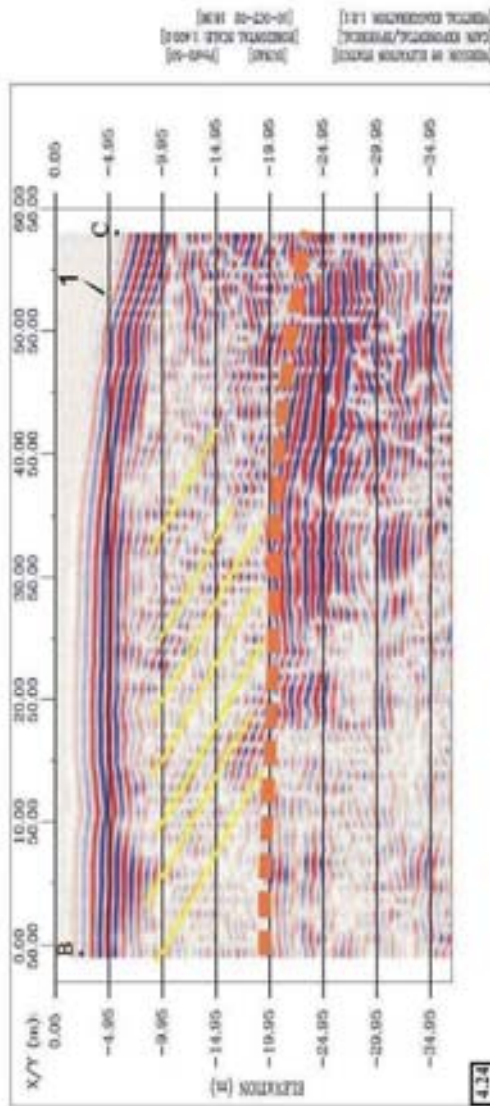
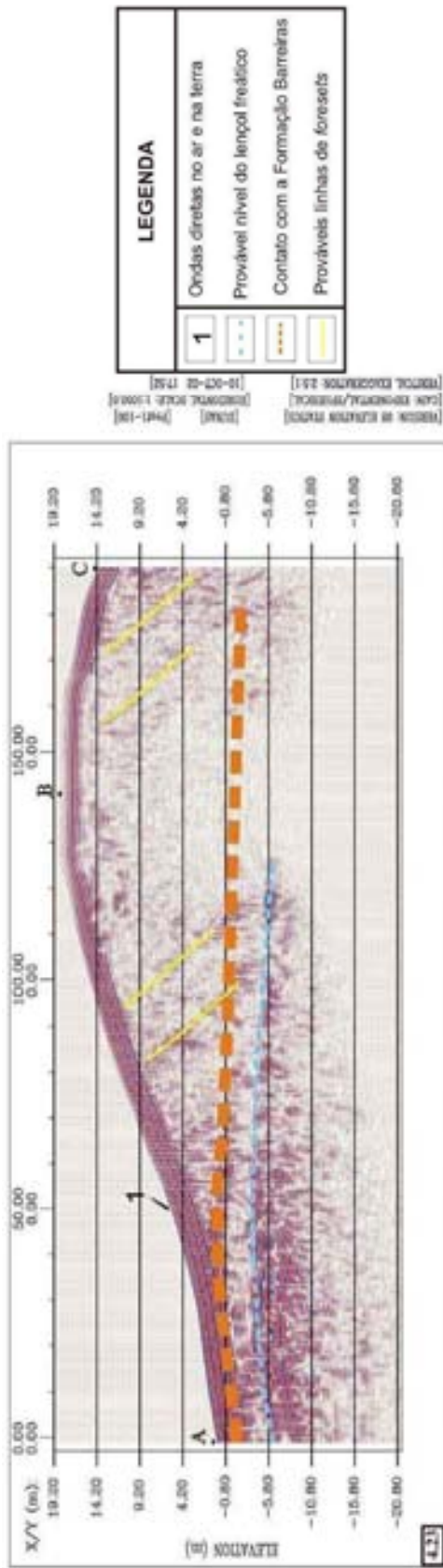


Figura 4.23: Perfil 02. Seção de GPR 100MHz sobre região de *Mossorós* do Parque das dunas (Natal/RN), com correção topográfica, apresentando exagero na escala vertical de 2,5 e escala horizontal de 1:1.000.
 Figura 4.24: Perfil 02. Seção de GPR 50MHz sobre região de *Mossorós* do Parque das dunas (Natal/RN), com correção topográfica, apresentando exagero na escala vertical de 1,2 e escala horizontal de 1:400.
 Figura 4.25: Foto mostrando parte do alinhamento do Perfil de GPR 02 levantado em trecho de *Mossorós* no Parque das Dunas.
 Figura 4.26: Equipe de trabalho realizando o levantamento do Perfil 02.

4.4 Aspectos de Uso/Ocupação do Solo em Campos de Dunas da Área de Estudo

4.4.1 Introdução

A cidade de Natal está inserida em uma região dominada por campos de dunas eólicas que vêm sendo descaracterizados em função da prática de uso e ocupação urbana, de certa forma desordenada na maior parte da cidade, acarretando, principalmente, problemas ambientais, sociais e econômicos caracterizados pela geração de especulações do mercado imobiliário.

Santos *et al.* (1992) realizando uma análise das condições ambientais de campos de dunas em função do uso e ocupação do solo, em uma área limítrofe entre a porção sul de Natal e o município de Parnamirim/RN, e com base em estudos feitos pela Coordenadoria do Meio Ambiente/IDEC (1985), afirmaram que a ocupação urbana da cidade de Natal foi incrementada nos primeiros vinte anos do século XX, intensificando-se no período em que ocorreu a Segunda Guerra Mundial, quando a cidade foi transformada em uma base militar. A partir da década de 60 a malha viária da cidade foi se estendendo em direção ao sul motivada pela construção de conjuntos habitacionais sobre campos de dunas como Cidade da Esperança, Cidade Nova, Candelária, Potilândia, Mirassol e Neópoles. De forma semelhante de meados da década de 70 aos primeiros anos da década de 80, época em que o processo de ocupação imobiliária em campos de dunas sofreu maior aceleração, com a construção dos conjuntos Cidade Satélite, Pirangi, Monte Belo, Flamboyants, Village dos Mares e com o surgimento dos bairros de Capim Macio e Nova Parnamirim.

Jesus (2002) realizando um mapeamento sobre as formas de uso/ocupação do solo na borda leste do Parque das Dunas (ao longo da Via Costeira), relaciona como tipos de uso/ocupação principais a ocupação urbana residencial e de serviços, a construção de vias de acesso, atividades de turismo e lazer e extração de alguns tipos de materiais geológicos mapeados nesse corpo de dunas para fins de ornamentação.

Este capítulo traz uma análise qualitativa sobre as relações de uso e ocupação do solo em campos de dunas, através de observações e registro de fotografias obtidos em diversos setores da área de estudo, conforme localização na Figura 5.1.

4.4.2 Tipos de Uso/Ocupação do Solo Identificados

Os principais tipos de uso e ocupação do solo identificados na área estudada foram separados conforme itens de classificação listados abaixo (Quadro 5.1) e ilustrados nas Figuras 5.2 a 5.25. O Quadro 5.1 apresenta a localização (coordenadas UTM), dentro dos setores analisados, dos pontos de estudo em campo, bem como a classificação dos tipos de uso/ocupação do solo concernentes a cada setor.

A – Imóveis residenciais e/ou comerciais construídos sobre campos de dunas;

B – Pequenos imóveis residenciais construídos e locados de forma desordenada sobre campos de dunas, bem como em encostas de dunas cortadas, caracterizando situação de risco a movimentação de materiais dessas encostas;

C – Terrenos de dunas loteados, cercados, e/ou aplainados com ausência de unidades imobiliárias construídas;

D – Presença de máquinas executando serviços de terraplenagem sobre terrenos de dunas;

E – Corte em campos de dunas para a construção de vias de acesso entre lotes de terreno e/ou localidades próximas;

F – Dunas cortadas e materiais arenosos retirados para serem utilizados com fins comerciais e industriais;

G – Depósitos de lixo (principalmente domésticos, de restos de troncos de vegetais e de resíduos oriundos da indústria da construção civil) sobre campos de dunas;

H – Material sedimentar arenoso, movimentado pela ação eólica, avançando sobre estradas construídas em cortes de campos de dunas;

I – Dunas sendo “escoradas” por elementos de contenção, como pneus de automóveis;

J – Pequenas atividades pecuárias desenvolvidas sobre terrenos de dunas;

K – Imóveis de portes diversos, principalmente relativos à hotelaria, construídos em orla marítima;

L – Deposição artificial de sedimentos arenosos sobre campos de dunas;

M – Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) construídas em terrenos de dunas.

Quadro 4.2: Tipos de uso/ocupação do solo identificados em setores da área de estudo.

LOCALIDADES	COORDENADAS (UTM – LATITUDE N / LONGITUDE E)	FIGURAS	TIPOS DE USO/OCUPAÇÃO DO SOLO
Nova Parnamirim	254933/9348331,255285/9347985,255880/9347467, 256238/9347090,256068/9346878,256575/9346763, 256785/9346975,256805/9347024,256458/9346972, 256269/9347156, 255823/9348642,255850/9348796, 256001/9348794	5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8	A, B, C, D, E, F, G
Ponta Negra	258158/9351144,257405/9350386,257254/9350598, 258044/9349888,258792/9350614,259730/9349386, 258190/9348500	5.9	A, C, E, G, H, K
Conjunto Cidade Satélite e Conj. dos Bancários (Pitimbu)	252832/9351154,252340/9352406	5.10, 5.14, 5.15	A, H
Cidade Nova (depósito do lixo coletado na cidade de Natal/RN)	251087/9354320	5.11, 5.12, 5.13	E, G, I
Planalto (Pitimbu)	251139/9353666	5.16, 5.17	B, C, E, G, J
Trecho do Prolongamento da Av. Prudente de Moraes	253525/9352396,253881/9353646	5.18, 5.19	A, H
Loteamentos Sanvale e Parque das Colinas	254686/9352600,254319/9352534, 254224/9352708,254236/9352790, 254511/9352722	5.20, 5.21, 5.22	A, C, E, G
Trecho da BR-101 (compreendido entre o vale do Rio Pitimbu e a Av. Eng. Roberto Freire) e região do Conj. Pirangi	254696/9351491,254243/9350675, 253622/9349584,253672/9349634, 254493/9350940,254874/9350872, 255143/9350604	5.23, 5.24	B, C, E, F, G, H, L
Praia do Forte	256770/9362054	5.25	A, E, H, K



Figura 4.28: Campo de dunas avermelhadas, parcialmente vegetadas, com construção de imóveis residenciais. Região de Nova Parnamirim.

Figura 4.29: Presença de imóveis construídos, terrenos loteados e máquinas de terraplenagem em Campo de dunas.

Figura 4.30: Corte de dunas vegetadas para a passagem de estrada de acesso.

Figura 4.31: Campo de dunas cortado para a construção de estradas de acesso. Aterro de lixo (doméstico e oriundo da construção civil).



Figura 4.32: Estrada asfaltada passando por campo de dunas avermelhadas, com sedimentos arenosos avançando sobre a mesma. Local de retirada de material de dunas para comercialização.

Figura 4.33: Terrenos aplainados e loteados em campos de dunas avermelhadas com presença de Vegetação.

Figura 4.34: Estradas de acesso e imóveis construídos desordenadamente sobre campo de dunas avermelhadas.

Figura 4.35: Campo de dunas cortadas para passagem de via de acesso. Ponta Negra, Natal.



Figura 4.36: Campo de dunas cercado, com presença de vegetação e cortado para a passagem de estrada pavimentada por asfalto. Conjunto dos Bancários, Natal.

Figura 4.37: Campo de dunas amareladas, vegetado, com contenção por escoramento através de pneus de automóveis. Cidade Nova, Natal.

Figura 4.38: Campo de dunas coberto pela deposição do lixo.

Figura 4.39: Campo de dunas cortadas, máquinas de transporte em patamar de deposição do lixo.



Figura 4.40: Campo de dunas amareladas, cortadas para a construção de estrada de acesso, com presença de lixo doméstico. Conjunto Cidade Satélite, Natal.

Figura 4.41: Depósito de lixo adjacente a campo de dunas amareladas (ao fundo). Bairro Planalto, Natal.

Figura 4.42: Casas construídas de forma desordenada sobre campo de dunas. Criação de animais e presença de lixo doméstico.

Figura 4.43: Campo de dunas amareladas cortadas, com avanço de sedimentos sobre a estrada. Conjunto dos Bancários, Pitimbu, Natal.



Figura 4.44: Trecho característico de pavimento de deflação localizado no prolongamento da Av. Prudente de Moraes, com vista (ao fundo) de imóveis construídos em terrenos de dunas aplainados.

Figura 4.45: Campo de dunas amareladas cortadas e sem elementos de contenção, com sedimentos avançando pela estrada. Trecho do prolongamento da Av. Prudente de Moraes, Candelária, Natal.

Figura 4.46: Depósito de lixo e estradas de acesso em campo de dunas vegetadas. Loteamento Parque das Colinas, Natal.

Figura 4.47: Imóveis residenciais construídos sobre campo de dunas esbranquiçadas. Estradas de acesso. Loteamento San Vale, Natal.



Figura 4.48: Campos de dunas vegetadas, em terrenos loteados, com construção de imóveis e estradas de acesso. Loteamento Parque das Colinas, Natal.

Figura 4.49: Deposição artificial de material arenoso sobre campo de dunas localizadas de forma marginal à BR-101 (sentido Parnamirim – Natal/RN).

Figura 4.50: Ao fundo, casas construídas desordenadamente sobre campo de dunas na região do Conjunto Pirangi, Natal.

Figura 4.51: Praia do Forte, Natal. Pista construída sobre campo de dunas ativas esbranquiçadas, com sedimentos eólicos avançando sobre a mesma. Imóveis diversos construídos na orla marítima.

CAPÍTULO 5: DISCUSSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES

A cidade de Natal/RN está inserida em uma região de clima As' quente úmido a BSh – semi-árido quente, com características climatológicas tropicais. Possui ventos com velocidades médias mensais variando de 2,9 a 5,1 m/s e sentidos de atuação predominantes SE-NW. Os campos de dunas de Natal caracterizam-se por apresentar feições morfológicas que, durante seu processo de formação, tiveram seus sedimentos transportados por ação eólica com sentido preferencial SE-NW. Ocorrendo, portanto, correlação direta entre o sentido de movimentação do vento e de migração dos campos de dunas.

Neste trabalho foi elaborado um mapa com a identificação das diferentes unidades geológicas de características eólicas na área de estudo, com ênfase na separação entre as unidades deposicionais e erosivas. Identificaram-se dessa forma seis unidades principais: Unidade I – *Blowouts* (BW), Unidade II - Campo de dunas ativas (DA), Unidade III - Campo de dunas fixas por vegetação (DF), Unidade IV – Campo de dunas parabólicas (DP) Unidade V - Campo de dunas parabólicas avermelhadas (DV) e Unidade VI – Superfície de dunas arrasadas (SD).

A datação pelo método TL forneceu idade para a Unidade I (*blowout*) de 3.300 ± 400 anos. A amostra coletada na Unidade III apresentou uma idade TL de 108.800 ± 11.000 anos, idade aparentemente muito alta em relação ao encontrado na literatura e as outras idades obtidas para as demais unidades da área de estudo. As idades TL obtidas para a Unidade IV apresentam-se com pouca dispersão de valores em torno de 15.000 anos, sugerindo que esses campos tiveram sua estabilização efetivada em torno de 15.000 anos. Amostras datadas na Unidade V apresentaram idades TL de 7.600 ± 900 e 3.000 ± 350 anos, valores estes que se apresentam bastante discrepantes.

Essas idades obtidas pelo Método TL se demonstraram consistentes para a datação da unidade IV. Entretanto, as idades das outras Unidades não parecem consistentes, provavelmente, devido o pequeno número de amostras datadas e a não utilização de

sondagens para se obter amostras do interior das dunas, separadas por meio do GPR. Portanto, faz-se necessário a realização de outras datações para que este quadro evolutivo fique mais claramente compreendido.

Neste trabalho foram levantados dois perfis de GPR no Parque das Dunas. No primeiro perfil (Perfil 01) foi possível observar duas gerações de dunas sobrepostas e seu contato inferior com os arenitos da Formação Barreiras. No segundo perfil (Perfil 02), levantado em região de *blowout* foi também observado o contato da duna com a Formação Barreiras e, provavelmente, identificado o lençol freático.

De acordo com os resultados apresentados nesses perfis de GPR, verifica-se a necessidade da realização de outros levantamentos futuros, a partir de aquisição de dados em modo contínuo ou com menores afastamentos de antenas; utilizando-se de outras antenas (com outras frequências); realizando um processamento de dados mais apurado. Objetivando-se assim uma melhor visualização e identificação das estratificações internas nesses campos de dunas, para que se tenham resultados mais conclusivos sobre o comportamento de migração dos corpos arenosos e, principalmente da identificação das gerações de dunas que por ventura existam.

Sugere-se, ainda, a coleta de amostras para datação TL no interior desses campos de dunas para que, correlacionando os dados adquiridos através de levantamentos com GPR e as idades obtidas, se possa obter resultados mais precisos sobre a idade das gerações de dunas identificadas.

A análise qualitativa sobre o uso e ocupação do solo em campos de dunas mostrou que os principais problemas estão relacionados à presença de construção de imóveis residenciais e/ou comerciais; execução de cortes para a construção de vias de acesso entre lotes de terreno e/ou localidades próximas e a deposição de lixo, principalmente de origem doméstica, de restos de troncos de vegetais e de resíduos oriundos da indústria da construção civil. Os resultados obtidos, mesmo que preliminares, apontam para um quadro grave de uso indevido das dunas de Natal. É importante ressaltar que as dunas são

fundamentais como agente intermediário para o armazenamento momentâneo de água da chuva e posterior infiltração para o Aquífero Barreiras. Sua retirada poderá implicar a diminuição da infiltração da água em direção ao Barreiras e o aumento do escoamento superficial. Ao mesmo tempo em que seu uso como depósito de lixo contribuirá para comprometer ainda mais a qualidade deste importante aquífero para a cidade de Natal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahlbrand T.S. & Fryberger S.G. 1981. Sedimentary features and significance of interdune deposit. In: ETHRIDGE F.G. & FLORES R.M (eds.) *Ancient nonmarine depositional environments, models for exploration*. Tulsa. p. 294-314 (SEPM – Special Publication, 31)
- Andrade R.S. 1968. *Geologia e aspectos sedimentológicos da região costeira ao Sul de Natal*. Escola de Geologia, UFPE, Recife, Relatório de Graduação, 57p.
- Annan AP. 1992. *Ground Penetrating Radar – Workshop Notes*. Sensor & Software, Incorporated, Mississauga, Ontario, 130p.
- ANTHRO - TL Lab (2002). **University of Washington - Luminescence Dating Laboratory**. Disponível em: <http://www.anthro.washington.edu/archy/TLlab>. Acesso em: 02 set 2002.
- Barreto A.M.F. 1996. *Interpretação paleoambiental do sistema de dunas fixadas do médio Rio São Francisco, Bahia*. IG/USP, São Paulo, Tese de Doutorado, 174p
- Barreto A.M.F., Angulo R.J., Tatumi S.H., Watanabe S., Ayta W.E.F. 1999a. Datações por termoluminescência (TL) de sedimentos da planície costeira de Paranaguá, estado do Paraná. In: Congresso da ABEQUA, 7, Porto Seguro, **Anais...** Porto Seguro: ABEQUA, 1999. 1 CD-ROM.
- Barreto A.M.F., Suguio K., Tatumi S.H., Yee M., Giannini P.C.F., Bezerra F.H.R. 2001. Dunas inativas do Rio Grande do Norte: idades, áreas - fonte e possíveis correspondências com o nível relativo do mar no Quaternário. In: SBG/Núcleo NE, Simp.de Geol. do NE, 19, Natal, *Bol. de Resumos*, **17**: 14-15
- Barreto A.M.F., Tatumi S.H., Suguio K., Oliveira P.E., Ayta W., Watanabe S. 1999b. As dunas costeiras inativas do Rio Grande do Norte datadas por Termoluminescência e

- implicações paleoambientais. In: Congresso da ABEQUA, 7, Porto Seguro, **Anais...**
Porto Seguro: ABEQUA, 1999. 1 CD-ROM.
- Berger G.W. 1988. Dating quaternary events by luminescence. In: D.J. Easterbrook (ed.)
Dating Quaternary Sediments. Geol. Soc. Am. Spec. Paper., 227: 13-50
- Carter R.W.G., Hesp P.A., Nordstrom K.F. 1990b. Erosional landforms in coastal dunes.
In K. Nordstrom, N. Psuty, B. Carter (eds.) *Coastal Dunes – Forms and Process*.
Chichester, John Wiley & Sons, 217-250
- Carter R.W.G., Nordstrom K.F., Psuty N.P. 1990a. The study of coastal dunes. In K.
Nordstrom, N. Psuty, B. Carter (eds.) *Coastal Dunes – Forms and Process*.
Chichester, John Wiley & Sons, 1-16
- Collinson J.D. & Thompson D.B. 1982. *Sedimentary Structures*. London, George Allen
& Unwin, 194p.
- Conyers L. (2002). **GPR in Archaeology**. Disponível em: <http://www.du.edu/~lconyer/>.
Acesso em: 11 set 2002.
- Costa M.I.P. & Perrin P. 1981. Os sistemas de dunas litorâneas da região de Natal:
granulometria e morfoscopia dos grãos de quartzo. In: *Bol. do Depto. de Geologia*,
1, Natal, CCE/UFRN, p 01-05.
- Costa W.D. 1971. *Estudos Hidrogeológicos de Natal–RN*. Natal, CONTEGE/CAERN,
Natal, 224p.
- CRUZEIRO DO SUL. 1979. **Fotos Aéreas**. Escala: 1 : 40.000. Fx 31, 32. Fotos: 3617-
3623/3584-3590/3538-3545/3505-3511.
- Cunha E.M.S. 1982. Caracterização e Planejamento Ambiental do Estuário Potengi.
Natal, In: *Coleção Textos Acadêmicos*, 285 (2), Natal, CB/UFRN, 211p.

- Cunha E.M.S., Silveira M.I.M., Nogueira A.M.B., Vilaça J.G. 1990. Análise geoambiental do setor costeiro Maxaranguape-Touros/RN. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 36, Natal, *Anais*, 2: p.770-783
- Dillenburg S.R. 1994. *A laguna de Tramandaí: a evolução e aplicação do método geocronológico da termoluminescência na datação de depósitos sedimentares lagunares*. IG/UFRGS. Porto Alegre, Tese de Doutorado, 113p.
- Dreimanis A., Hütt G., Raukas A., Whippey P. 1985. I – Thermoluminescence Dating. In N.W. Rutter (ed.) *Dating Methods of Pleistocene Deposits and Their Problems*. Geoscience Canada, 2. Canada, 1-7
- Duarte M.I.M. 1995. *Mapeamento geológico e geofísico do Litoral Leste do Rio Grande do Norte: Grande Natal (Área I)*. Departamento de Geologia, CCE/UFRN, Natal, Relatório de Graduação, 55p.
- FATEC-SP/LVD. Faculdade de tecnologia de São Paulo. Laboratório de Vidros e Datação. **Termoluminescência**. Disponível em : <<http://www.fatecsp.br/faculdade/laboratorios/lvidro>> Acesso em: 18 Agosto 2002.
- Giannini P.C.F., Barreto A.M.F., Suguio K., Tatumi S.H. 2001. Idade TL e propriedades sedimentológicas na planície costeira do Rio Grande do Norte. In: Congresso da ABEQUA, 8, Mariluz/Imbé, *Bol. de Resumos*: 135-136
- Glennie K.W. 1970. *Desert Sedimentary Environments*. Developments in Sedimentology, 14. Amsterdam, Elsevier, 222p.
- Goldsmith V. 1978. Coastal dunes. In R. A. Davis Jr (ed.) *Castal Sedimentary Environments*. New York, Sringer-Verlag, 171-235
- Harari, Z. 1986. Ground-penetrating radar (GPR) for imaging stratigraphif features and groundwater in sand dunes. In: *Journal Applied Geophysics*, 36 (1): 43-52

- Hummel G. & Kocurek G. 1984. Interdune areas of the Back-Island dune field, North Padre Island, Texas. *Sedimentary Geology*, **39** (6): 1-26
- Hunter R.E. 1977. Basic types of stratification in small eolian dunes. *Sedimentology*, **24**: 361-387
- INMET/UFRN. 2002. Instituto Nacional de Meteorologia/UFRN. Boletins Climatológicos: anos 1984 a Maio/2002. Estação Climatológica Principal. Natal.
- Jesus A. P. 2002. *Caracterização geológica, geomorfológica e geotécnica de um corpo de dunas na Cidade de Natal-RN*. CCET/PPGG/UFRN, Natal, Dissertação de Mestrado, 227p.
- Kocurek G. 1981. Significance of interdune deposits and bounding surface in eolian dune sands. *Sedimentology*, **28** (6): 753-780
- Kowata E.A., Tatumi S.H., Suguio K. FATEC/SP – Laboratório de Vidros e Datação/LVD. Trabalhos e Conferências Nacionais. **Datação de Dunas Litorâneas de Ilha Comprida/SP**. Disponível em: <<http://www.fatecsp.br/faculdade/laboratorios/lvidro>> Acesso em: 18 Agosto 2002.
- Less B.G., Lu Y., Head J. 1990. Reconnaissance thermoluminescence dating of Northern Australian coastal dune systems. *Quat. Res.*, **34**: 169-185
- LLAB/DURHAM (2002). **Luminescence Laboratory**. Disponível em: <http://www.dur.ac.uk/lumin.dating/>. Acesso em: 02 set 2002.
- MAER 1997. MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA. Boletins Climatológicos: anos 1960-1997. 3º Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo/Destacamento de Proteção ao Vôo de Natal. Estação Meteorológica de Natal.
- Maia L.P., Rodrigues A.C.B., Cascon H.M., Barreto A.M.F., Castro I.B., Tatumi S.H., Costa A.A. 1999. Correlação estratigráfica em poços de subsuperfície e datação de

- dunas costeiras inativas na região de Cauípe e Pecém - Costa Oeste do Ceará. In: Congresso da ABEQUA, 7, Porto Seguro, **Anais...** Porto Seguro: ABEQUA, 1999. 1 CD-ROM.
- Matsuoka M., Takatohi U.E., Watanabe S. 1984. TL dating of fish fossil from Brazil. *Radiation Protection Dosimetry*, **6**: 185-188
- Mckee E.D. 1983. Eolian sand bodies of the world. In M. E. Brookfield & T. S. Ahlbrandt (eds.) *Eolian Sediments and Processes*. Developments in Sedimentology, 38. Amsterdam, Elsevier, 1-25.
- Medeiros T.H.L. 2001. *Evolução geomorfológica, (des)caracterização e formas de uso das lagoas da cidade de Natal-RN*. CCET/PPGG/UFRN, Natal, Dissertação de Mestrado, 100p.
- Melo J.G. 1995. *Impacto do desenvolvimento urbano nas águas subterrâneas de Natal/RN*. IG/USP, São Paulo, Tese de Doutorado, 196p.
- Melo J.G. 1998. Avaliação dos Riscos de Contaminação e Proteção das Águas Subterrâneas de Natal – Zona Norte. Natal, CAERN, 100p. (Relatório Técnico)
- Nanson G.C., Chen X.Y., Price D.M. 1992. Lateral migration, thermoluminescence chronology and colour variation of longitudinal dunes near Birdsville in The Simpson Desert, Central Australia. *Earth Surface Processes and Landforms*, **17**: 807-819
- Nazaré Jr. D. 1993. *Mapeamento geológico e gravimétrico da região de Natal*. Departamento de Geologia, CCE/UFRN, Natal, Relatório de Graduação, 98p.
- Nogueira A.M.B. 1981a. *O cenozóico continental da região de Natal*. CT/UFPE, Recife, Dissertação de Mestrado, 119p.

- Nogueira A.M.B. 1981b. O cenozóico continental da região de Natal. In: *Boletim do Departamento de Geologia*, **3**, Natal, CCE/UFRN, p. 15-24.
- Nogueira A.M.B. 1982. O Cenozóico Continental da Região de Natal. Natal, In: *Coleção Textos Acadêmicos*, 284 (2), Natal, CCE/UFRN, 119p.
- Nogueira A.M.B., Costa Neto L.X., Lima M.S., Silva M.F.C., Silveira M.I.M., Fernandes C.A.N. 1990. Evolução geo-ambiental da faixa costeira entre Ponta do Calcanhar e Ponta do Marcos-RN. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 36, Natal, *Anais*, **2**: 784-795
- Nogueira A.M.B., Nascimento J.M.S., Lima M.S., Oliveira M.I.M., Srivastava N.K. 1984. Geologia da faixa oriental entre Natal e Graçandu-RN. In: *Bol. do Depto. de Geologia*, **8**, Natal, CCE/UFRN, p. 40-48.
- Nogueira A.M.B., Nascimento J.M.S., Lima M.S., Oliveira M.I.M., Srivastava N.K. 1985. Geologia da Faixa Oriental entre Graçandu e Maxaranguape-RN. In: *Boletim do Departamento de Geologia*, **9**, Natal, CCE/UFRN, p. 25-30.
- Olhoeft G.R. (2002). **Ground Penetrating Radar**. Disponível em: <http://www.g-p-r.com/>. Acesso em: 09 set 2002.
- Oliveira Jr. J.G. *Dois testes de imageamento com GPR em problemas de controle ambiental em regiões tropicais: migração em campos de dunas e localização de dutos de óleo enterrados*. PPGG/UFRN, Natal, Dissertação de Mestrado, 86p.
- Porsani J.L. 2001. Método GPR: Aplicações em Geologia, Geotecnia, Meio Ambiente e Planejamento Urbano – Versão 2.0. In: Escola de Verão de Geofísica, 3, São Paulo, IAG/USP, 30 p.
- Poupeau G., Solianir Jr. E.L., Rivera A., Loss E.L., Vasconcelos M.B.A. 1988. Datação por termoluminescência de alguns depósitos arenosos costeiros, do Último Ciclo Climático, no nordeste do Rio Grande do Sul. *Pesquisas*, **21**:25-29

- Pye K. & Tsoar H. 1990. *Aeolian sand and sand dunes*. London, Unwin Hyman, 396p.
- Reineck H.E. & Sing I.B. 1980. *Depositional sedimentary environments*. New York, Springer-Verlag, 549p.
- RLAHA-LDL/Oxford (2002). **Luminescence Dating Laboratory**. Disponível em: <http://www.rlaha.ox.ac.uk/lumin.html>. Acesso em: 02 set 2002.
- Santos M.C.N, Filgueira M.F., Costa M.J. 1992. *Análise das condições ambientais das dunas ao Sul de Natal-RN, em função do uso e ocupação do solo*. Depto. de Geografia, CCHLA/UFRN, Natal, Monografia, 89p.
- SCIDR/SHEFFIELD (2002). **Luminescence Dating**. Disponível em: <http://www.shef.ac.uk/uni/academic/I-M/idry/lumindat.html>. Acesso em: 02 set 2002.
- SEPLAN/IDEMA-RN. 1999. SECRETARIA DE PLANEJAMENTO / INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE. Informativo Municipal. Natal, v.5, 14p.
- Shulmeister J. & Less B.G. 1992. Morphology and chronostratigraphy of a coastal dunefield; Groote Eylandt, Northern Australia. *Geomorphology*, **5**: 521-534
- Silveira I.M. & Vilaça J.G. 1985. Nota prévia sobre as formas de relevo do litoral leste do Rio Grande do Norte. In: *Bol. do Depto de Geologia*, **9**, Natal, CCE/UFRN, p. 57-60.
- SUDENE. 1983. **Natal. Folha SB.25-V-C-V / MI-978**. 1 Mapa: color., 55 x 55 cm. Escala: 1:100.000.
- SUDENE/DNPEA. 1971. Levantamento Exploratório. Reconhecimento dos Solos do Estado do RN. Recife. (Série Pedologia)

- Suguio K. 1999. *Geologia do Quaternário e Mudanças Ambientais (Passado + Presente = Futuro?)*. São Paulo, Paulo's Comunicação e Artes gráficas, 366p.
- Tatumi S.H., Matsuoka M, Watanabe S. 1992. Parameter evaluation of thermoluminescence glow peaks in a natural dolomite. *Phys. Stat. Sol.*, (a) **129**: K57-K60
- Tatumi S.H., Nagatomo T., Matsuoka M, Watanabe S. 1993. Thermoluminescence and ESR in an aragonite speleothem. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **26**: 1482-1486
- TCD/ANU (2002). **Trapped Charge Dating (ESR, TL, OLS)**. Disponível em: <http://www.rses.anu.edu.au/environment/eePages/eeDating/Quaternary%20Geochronology/TCD.html>. Acesso em: 02 set 2002.
- TDLS/Texas (2002). **The Center of Lithospheric Studies**. Disponível em: <http://www.utdallas.edu/dept/geoscience/center/>. Acesso em: 09 set 2002.
- Thomas D.S.G. 1997. Sand seas and aeolian bedforms. In D. S. G. Thomas (ed.). *Arid Zone Geomorphology - Process, Form and Change in Drylands*. John Wiley & Sons, 373-411.
- TOSL/Dalhousie (2002). **Thermoluminescence (TL)**. Disponível em: <http://is.dal.ca/~digs/tl1.htm>. Acesso em: 02 set 2002.
- UNITES/UQAM (2002). **Laboratoire de Luminescence Lux**. Disponível em: http://www.unites.uqam.ca/sct/lux/sct_lux_titre.html. Acesso em: 02 set 2002.
- USERS (2002). **Quaternary TL Surveys**. Disponível em: <http://www.users.globalnet.co.uk/~qtls/index.htm>. Acesso em: 02 set 2002.
- Vilaça J.G. 1986. *Geologia ambiental costeira da região de Extremoz - RN*. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Relatório de Graduação, 265p.

Vilaça J.G., Nogueira A.M.B., Silveira M.I.M., Carvalho M.F., Cunha E.M.S. 1986. Geologia ambiental da área costeira de Ponta de Búzios a Barra de Maxaranguape/RN. In: SBG/ Núcleo Nordeste, Simp. Geol. NE, 12, João Pessoa, *Boletim*, **10**: 220-227

Watanabe E.A. & Tatumi S.H. FATEC/SP – Laboratório de Vidros e Datação/LVD. Trabalhos e Conferências Nacionais. **Datação de Sedimentos de Dunas do Litoral Paulista, pelos Métodos de Termoluminescência (TL) e Luminescência Oticamente Estimulada (LOE)**. Disponível em : <<http://www.fatecsp.br/faculdade/laboratorios/lvidro>> Acesso em: 18 Agosto 2002.

Wintle A.G. & Huntley D.J. 1980. Thermoluminescence dating of ocean sediments. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **17**: 348-360