



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

**CONTRIBUIÇÃO AO CONHECIMENTO DO MEIO FÍSICO
DA REGIÃO DO COMPLEXO ESTUARINO-LAGUNAR
NÍSIA FLORESTA-PAPEBA-GUARAÍRAS**

IARA CRISTIANNY DE BRITO BARBOSA ALBUQUERQUE PEREIRA

NATAL
2004

IARA CRISTIANNY DE BRITO BARBOSA ALBUQUERQUE PEREIRA

**CONTRIBUIÇÃO AO CONHECIMENTO DO MEIO FÍSICO
DA REGIÃO DO COMPLEXO ESTUARINO-LAGUNAR
NÍSIA FLORESTA-PAPEBA-GUARAÍRAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Olavo Francisco dos Santos Júnior

Co-Orientadora: Prof^a Dr^a Ada Cristina Scudelari

Natal - RN

Janeiro/2004

IARA CRISTIANNY DE BRITO BARBOSA ALBUQUERQUE PEREIRA

**CONTRIBUIÇÃO AO CONHECIMENTO DO MEIO FÍSICO
DA REGIÃO DO COMPLEXO ESTUARINO-LAGUNAR
NÍSIA FLORESTA-PAPEBA-GUARAÍRAS**

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

BANCA EXAMINADORA

Dr. Olavo Francisco dos Santos Júnior – Orientador

Dr^a. Ada Cristina Scudelari – Co-Orientadora

Dr. Ricardo Farias do Amaral – Examinador UFRN

Dr. Raimundo Leidimar Bezerra – Examinador Externo UFCG

Natal, 30 de janeiro de 2004.

PEREIRA, Iara Cristianny de Brito Barbosa Albuquerque (2004). Contribuição ao Conhecimento do Meio Físico da Região do Complexo Estuarino-Lagunar Nísia Floresta-Papeba-Guarairas. Dissertação de Mestrado, UFRN, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, Área de Concentração: Recursos Hídricos, Linha de Pesquisa: Erosão e Estabilidade de Encostas, Natal-RN, Brasil.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Olavo Francisco dos Santos Júnior
CO-ORIENTADORA: Prof^a. Dra. Ada Cristina Scudelari

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo regional que pretende contribuir para o conhecimento do meio físico da área no entorno do Complexo Estuarino-Lagunar Nísia Floresta-Papeba-Guarairas, localizado na zona costeira oriental do Estado do Rio Grande do Norte. O objetivo principal desta pesquisa foi fazer uma análise da influência e do impacto do uso e ocupação do solo na região deste complexo. Para tanto, foi realizada uma ampla pesquisa sobre a região, principalmente sobre os atributos de geologia e geomorfologia, além de coletas de sedimentos para realização de ensaios de caracterização dos solos. A partir desses dados, foram identificadas sete Unidades Geotécnicas, e foi elaborado um mapeamento geotécnico denominado de Mapa de Zoneamento Geotécnico Geral no qual estão representadas todas essas unidades. Este estudo também procurou compreender os processos dinâmicos atuantes nessa região através da identificação de áreas em degradação ambiental e áreas de riscos. Espera-se que a definição das unidades geotécnicas, a caracterização geotécnica e a identificação de áreas degradadas permitam fornecer subsídios para orientar a ocupação e o uso do solo na região, contribuir com a preservação ambiental, além de facilitar e cooperar com o planejamento urbano dos seis municípios dentro dos quais está inserido o complexo estuarino-lagunar estudado.

PALAVRAS-CHAVES: Complexo Estuarino-Lagunar Nísia Floresta-Papeba-Guarairas, sedimentos, processos erosivos, zoneamento geotécnico, caracterização geotécnica.

PEREIRA, Iara Cristianny de Brito Barbosa Albuquerque (2004). Contribuição ao Conhecimento do Meio Físico da Região do Complexo Estuarino-Lagunar Nísia Floresta-Papeba-Guaráiras. Dissertação de Mestrado, UFRN, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, Área de Concentração: Recursos Hídricos, Linha de Pesquisa: Erosão e Estabilidade de Encostas, Natal-RN, Brasil.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Olavo Francisco dos Santos Júnior
CO-ORIENTADORA: Prof^a. Dra. Ada Cristina Scudelari

ABSTRACT

This work presents a regional study that intends to contribute with the knowledge of the environment in the area of the Lagoon Estuarine Complex of Nísia Floresta-Papeba-Guaráiras, localized in the oriental coastal zone of the state of Rio Grande do Norte. The main objective of this research was to make a analysis of the influence and the impact of the ground use and occupation in the region of that complex. With this purpose, a ample research about the region was made, mainly about the attributes of geology and geomorphology, and also with a collection of sediments to achieve assays of characterization of ground. With these data, seven geotechnical units were identified, and geotechnical mapping was elaborated. It was called General Geotechnical Zone Map. All those units were represented in it. This study also tried to understand the dynamics processes that operates in this region through the identification of degradation and risk areas. It is expected that with the definition of geotechnical units, the geotechnical characterization and the identification of degradation areas allow supplying subsidies to guide the occupation and the use of the ground in the region, to contribute with environmental preservation, and to facilitate and cooperate with the urban planning in the six cities in which the studied lagoon estuarine complex is inserted.

KEYS WORDS: Lagoon Estuarine Complex of Nísia Floresta-Papeba-Guaráiras, sediments, erosive processes, geotechnical zoning, geotechnical characterization.

DEDICATÓRIA ESPECIAL

Ao Deus Trino,
a quem elevo minha voz em gratidão
através desta singela expressão do salmista:
“Quando o Senhor restaurou a sorte de Sião,
ficamos como quem sonha.
Então, a nossa boca se encheu de riso,
e a nossa língua, de júbilo;
então entre as nações se dizia:
Grandes coisas o Senhor tem feito por eles.
Com efeito, grandes coisas fez o Senhor por nós;
por isso, estamos alegres.
Restaura, Senhor, a nossa sorte,
como as torrentes no Neguebe.
Os que com lágrimas semeiam
com júbilo ceifarão.
Quem sai andando e chorando, enquanto semeia,
voltará com júbilo, trazendo os seus feixes.”

Salmo 126 na versão Revista e Atualizada no Brasil

DEDICATÓRIA

À Henrique Alonso, meu esposo, ao meu querido filho de 6 anos Diego Alonso e à minha querida filha Ravena Cristianny que nasceu no decorrer deste processo.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Olavo Franciso dos Santos Jr., pela amizade e orientação, e sobretudo por ter sido o principal incentivador para a realização deste trabalho. A você, Olavo, minha gratidão por ter acreditado no meu potencial.

À professora Ada Cristina Scudelari, co-orientadora, por ter se empenhado, desde o começo, para que este trabalho fosse realizado de forma clara e coesa. Seu incentivo foi fundamental para o amadurecimento desta pesquisa.

Ao meu esposo Henrique pelo incentivo e apoio dado, principalmente em momentos difíceis, no decorrer desses anos de mestrado. Aos meus filhos Diego Alonso e Ravena Cristianny que são as minhas dádivas preciosas.

Aos meus pais Sr. Dida e D. Izaura pelo carinho demonstrado e apoio dado em inúmeras ocasiões. Às minhas irmãs Francy Izanny, Inacia Diana e Regina Celly pelo incentivo e apoio desprendido tantas vezes. A todos os meus familiares que me incentivaram e que se dispuseram a me apoiar em momentos específicos.

Ao professor Ricardo Farias do Amaral pelo constante apoio e incentivo para que fosse realizado este trabalho.

Ao professor Raimundo Leidimar Bezerra pela aceitação do convite para ser o examinador externo deste trabalho.

Aos professores Manoel Lucas Filho e Lúcio Flávio Moreira pelo incentivo dado desde o início do meu ingresso como aluna neste programa.

À toda equipe do LARHISA (Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) Ilce, Silvia e Rosineide que sempre me trataram com tanta presteza e carinho.

À toda equipe de colegas do Laboratório de Solos da UFRN, alunos e funcionários, pela colaboração imprescindível que deram para que fossem realizados os ensaios, as coletas e todos os trabalhos computacionais: Diêgo Almeida, Alexandre Gil, Janaina Dias, Marcelo Rios, James, William Souza, Paula, Luana Freire, Osvaldo e João Batista.

À todos os meus colegas da Superintendência de Infra-Estrutura desta Universidade, especialmente Gustavo Côelho, Emanuel Eugênio, Sônia Prado, Davidina Marques e Maria Zilda pelo apoio imprescindível que deram para que eu realizasse e concluísse este trabalho.

Aos meus amigos Gilberto Pirajá, Margareth Rose, Telêmaco César, Sueli Paiva, Wicliffe Costa, Flávia Taone, Marcelus Glaucus, Simone Tomaz, Concita Araújo e Ana Portieri, que em momentos distintos e de maneiras diferenciadas colaboraram para o crescimento e amadurecimento de minha pessoa e conseqüentemente deste trabalho.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - Localização geográfica da área estudada	11
FIGURA 2.2 - Sistema Estuarino-Lagunar Nísia Floresta-Papeba-Guarairás (SUDENE, 1971)	12
FIGURA 2.3 – Mapa geológico da região (Melo, 2000)	19
FIGURA 2.4 – Mapa geológico-geomorfológico (Amaral, 2000)	26
FIGURA 2.5 – Mapa pedológico da região em estudo (Projeto RadamBrasil, 1981)	30
FIGURA 2.6 – Vista do rio Baldum sob a ponte da RN-52	32
FIGURA 2.7 – Vista do canal do rio Trairi sob a ponte da BR-101	33
FIGURA 2.8 – Canal do rio Araraí sob a ponte da BR-101	34
FIGURA 3.1 – Impacto da água de chuva na superfície do solo (DAEE/IPT, 1989)	52
FIGURA 3.2 – Erosão por escoamento laminar e por escoamento concentrado, formando sulcos na superfície do terreno (DAEE/IPT, 1989)	53
FIGURA 3.3 – Processo erosivo linear na região formando sulcos	54
FIGURA 3.4 – Bordas da laguna de Nísia Floresta sofrendo erosão fluvial	58
FIGURA 3.5 – Falésia sujeita à erosão costeira na embocadura do estuário	61
FIGURA 3.6 - Mecanismo do rastejo (CUNHA, 1991)	65
FIGURA 3.7 - Mecanismo do deslizamento (CUNHA, 1991)	66
FIGURA 3.8 - Mecanismo de queda (CUNHA, 1991)	67
FIGURA 3.9 - Mecanismo da corrida (CUNHA, 1991)	68
FIGURA 5.1 – Mapa da região com os pontos de coleta de amostras	78
FIGURA 5.2 – Mapa de Zoneamento Geotécnico Geral da região	86
FIGURA 5.3 – Unidade Geotécnica 1 – Dunas	88
FIGURA 5.4 – Curvas granulométricas da unidade de Dunas	90
FIGURA 5.5 – Unidade Geotécnica 2 – Planície Costeira	92
FIGURA 5.6 – Curvas granulométricas da unidade Planície Costeira	93
FIGURA 5.7 – Perfil do Furo 5 da unidade geotécnica Planície de Deflação	95

FIGURA 5.8 – Curvas granulométricas da unidade Planície de Deflação	96
FIGURA 5.9 – Curvas granulométricas da unidade de Terraço	99
FIGURA 5.10 – Perfil do furo 10 da unidade geotécnica de Tabuleiro	101
FIGURA 5.11 – Unidade Geotécnica 6 – Vertentes	104
FIGURA 5.12 – Local de coleta de amostra da unidade de Vertentes	107
FIGURA 5.13 – Sedimentos aluvionares do rio Ararai	110
FIGURA 5.14 – Ravinas e voçorocas na encosta da BR-101	114
FIGURA 5.15 – Local de empréstimo de material com instabilizações	115
FIGURA 5.16 – Aspecto da encosta com suas camadas de solos	116
FIGURA 5.17 – Aspecto da encosta da creche na cidade de Senador Georgino Avelino	118
FIGURA 5.18 – Estruturas residuais na base da encosta em Senador Georgino Avelino	119
FIGURA 5.19 - Desmatamento nas proximidades de viveiros de camarão	120
FIGURA 5.20 - Área de corte para empréstimo de solos, próxima a RN-52	120
FIGURA 5.21 - Área de corte para empréstimo de solos, próxima a Goianinha.....	121
FIGURA 5.22 – Borda moficada da laguna de Nísia Floresta	121
FIGURA 5.23 – Borda modificada da laguna de Guarairas	122
FIGURA 5.24 – Voçoroca nas proximidades da cidade de Tibau do Sul	123
FIGURA 5.25 – Descalçamento de falésia nas proximidades do Hotel Marina	123

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 5.1 – Tabela-resumo dos dados de laboratório da Unidade Geotécnica de Dunas	87
TABELA 5.2 – Tabela-resumo dos dados de laboratório da Unidade Geotécnica Planície Costeira	91
TABELA 5.3 – Tabela-resumo dos dados de laboratório da Unidade Geotécnica Planície de Deflação	94
TABELA 5.4 – Tabela-resumo dos dados de laboratório da Unidade Geotécnica de Terraço	97
TABELA 5.5 – Tabela-resumo dos dados de laboratório da Unidade Geotécnica de Tabuleiro	100
TABELA 5.6 – Tabela-resumo dos dados de laboratório da Unidade Geotécnica de Vertentes	105
TABELA 5.7 – Tabela-resumo dos dados de laboratório da Unidade Geotécnica de Aluvião	109

ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 5.1 - Coleta de amostras em toda a região das lagoas Nísia Floresta-Papeba-Guaráiras, na 1ª Campanha, em 24 de maio de 2001	79
QUADRO 5.2 - Coleta de amostras com sondagem a trado nos aluviões dos rios Trairi, Ararai e Jacu I e II, na 2ª Campanha, em 30 de abril de 2002	80
QUADRO 5.3 - Coleta de amostras em São José do Mipibú, Nísia Floresta e Senador Georgino Avelino, na 3ª Campanha, em 03 de maio de 2002	81
QUADRO 5.4 - Coleta de amostras em Arês, Goianinha e Tibau do Sul, na 4ª Campanha, em 07 de maio de 2002	82
QUADRO 5.5 - Coleta de amostras na praia de Malembá, na 5ª Campanha, em 25 de outubro de 2002	83
QUADRO 5.6 – Características dos sedimentos aluvionares do rio Trairi	111
QUADRO B.1 - Esquema para classificação pelo Sistema Unificado (Pinto, 2000)	152
QUADRO B.2 – Granulometria dos solos utilizada nos ensaios e na classificação (Pinto, 2000)	155

ABREVIATURAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- APA – Área de Proteção Ambiental
- CC – Coeficiente de Curvatura
- CNU – Coeficiente de Não-Uniformidade
- EESC/SP - Escola de Engenharia de São Carlos
- EMPARN – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte
- GASP - Geotechnical Area Studies Programme
- GPS – Global Position System
- IAEG – International Association for Engineering Geology and the Environment
- IDEMA - Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte
- IG/SP - Instituto Geológico de São Paulo
- IG/UFRJ - Instituto Geológico da Universidade Federal do Rio de Janeiro
- IP – Índice de Plasticidade
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
- LL – Limite de Liquidez
- LP – Limite de Plasticidade
- MZGG – Mapa de Zoneamento Geotécnico Geral
- NA – Nível de Água
- NBR – Normas Brasileiras
- SUCS - Sistema Unificado de Classificação dos Solos
- UFAL - Universidade Federal de Alagoas
- UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais
- UFPE - Universidade Federal de Pernambuco
- UFPR - Universidade Federal do Paraná
- UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina
- UnB - Universidade de Brasília
- ZERMOS - Zonas Expostas a Riscos de Movimento de Solos

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	01
1.1. Apresentação	01
1.2. Justificativa para o desenvolvimento do trabalho	03
1.3. Objetivos	06
1.4. Organização do trabalho	07
CAPÍTULO 2 - DESCRIÇÃO GERAL DA REGIÃO	09
2.1. Generalidades	09
2.2. Localização geográfica	10
2.3. Características sócio-econômicas	13
2.4. Clima	15
2.5. Vegetação	16
2.6. Geologia	17
2.7. Geomorfologia	20
2.8. Pedologia	28
2.9. Rede de drenagem	31
2.10. Evolução morfológica e influência antrópica	35
CAPÍTULO 3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	39
3.1. Generalidades	39
3.2. Metodologias de mapeamento geotécnico como ferramenta para o planejamento ambiental	40
3.2.1. Considerações iniciais	40
3.2.2. Metodologia da UFRGS	43
3.2.3. Metodologia do IPT	45
3.2.4. Metodologia do IG/SP	47

3.2.5. Metodologia da EESC/USP	48
3.3. Processos erosivos	51
3.3.1 Erosão pluvial	52
3.3.2 Erosão fluvial	56
3.3.3 Erosão costeira	58
3.4. Movimentos de massas em encostas	63
CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA	71
4.1. Generalidades	71
4.2. Levantamento e estudo de dados existentes e de trabalhos anteriores	71
4.3. Trabalhos de campo	72
4.4. Coleta de amostras	73
4.5. Realização dos ensaios	74
4.6. Interpretação conjunta dos dados	75
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISES	76
5.1. Identificação e descrição dos solos estudados	76
5.2. Caracterização geotécnica e zoneamento geotécnico	83
5.2.1. Unidade Geotécnica 1 – Dunas	87
5.2.2. Unidade Geotécnica 2 – Planície Costeira	90
5.2.3. Unidade Geotécnica 3 – Planície de Deflação	93
5.2.4. Unidade Geotécnica 4 – Terraço	96
5.2.5. Unidade Geotécnica 5 – Tabuleiro	99
5.2.6. Unidade Geotécnica 6 – Vertentes	103
5.2.7. Unidade Geotécnica 7 – Aluvião	108
5.3. Identificação de áreas de degradação ambiental	112
5.4. Diagnóstico da situação atual do sistema	124

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	128
6.1. Conclusões	128
6.2. Recomendações para pesquisas futuras	136
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138
APÊNDICE A	144
APÊNDICE B	150

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

O Estado do Rio Grande do Norte possui uma extensão de linha de costa em torno de 400 km. Uma significativa parcela da economia do Estado está associada a atividades que são desenvolvidas na região costeira. Nesse sentido, destaca-se a indústria do turismo, a cultura da cana de açúcar e a aquicultura como elementos geradores de riqueza.

A atividade econômica mais antiga desenvolvida na região é a plantação de cana. A partir da década de 80 ocorreu um crescimento vertiginoso do setor turístico, em função das belezas naturais ali presentes. Na década de 90 foram feitos investimentos na melhoria da infra-estrutura do setor, o que elevou ainda mais a sua taxa de crescimento. A aquicultura, principalmente através da criação de camarão em cativeiro, teve início na década de 70 e também foi alvo de investimentos no sentido do seu desenvolvimento. A tendência de expansão se manifesta até hoje com investimentos de portes cada vez maiores.

Se por um lado o turismo e a carcinicultura trazem grandes benefícios econômicos, por outro, podem trazer também problemas com sérias conseqüências ambientais caso o uso e ocupação do solo não sejam conduzidos de forma planejada, respeitando as condições impostas pelo meio ambiente.

A zona costeira do Rio Grande do Norte divide-se em dois setores, norte e oriental. A zona costeira oriental, na qual encontra-se a região objeto do presente estudo, apresenta algumas feições morfológicas típicas como dunas, falésias, tabuleiros, planícies flúvio-marinhas e lagoas costeiras. Em alguns trechos, próximos à linha de praia, ocorrem campos de dunas formados por sedimentos eólicos. Em outros locais verifica-se a presença de escarpas abruptas no terreno formadas pela ação erosiva do mar. Essas encostas, denominadas de falésias, têm forma vertical, com altura que pode chegar a 50 metros.

Adentrando ao continente o relevo é formado por tabuleiros. Esses tabuleiros são atravessados por rios com direção predominante SW-NE e de forma secundária na direção NW - SE que correm em vales largos onde se desenvolvem planícies fluviais. Nas regiões próximas ao mar, associados aos sedimentos aluvionares ocorrem contribuições de origem marinha, formando a planície flúvio-marinha. As lagoas estão presentes em boa parte dessa região sendo marcante a sua influência tanto em termos de paisagem como em relação à economia.

Inserido neste setor costeiro está o Complexo Estuarino-Lagunar Nísia Floresta-Papeba-Guarairas, o qual desperta grande interesse seja pela sua complexidade, seja pela beleza natural e conseqüente crescimento. Localiza-se na

costa leste do Estado do Rio Grande do Norte, distando cerca de 40 km ao sul de Natal. Na área estudada estão presentes todos os elementos de relevo ou feições morfológicas citados anteriormente (Figura 2.1).

Os municípios que abrigam o referido complexo lagunar vêm apresentando um forte potencial de desenvolvimento e conseqüente crescimento na sua taxa de ocupação (2,5%) (IDEMA, 2000). Esse crescimento junto com a evolução morfológica natural das lagunas exige estudos ambientais particulares para a região, haja vista que a expansão territorial e urbana, sem um planejamento consubstanciado nas limitações e nas potencialidades dos recursos naturais pertinentes aos meios físicos e bióticos e nas condições sócio-econômicas, acarreta a aplicação de medidas emergenciais que, de modo geral, funcionam como paliativas e sem caráter preventivo.

A região em estudo está incluída na Área de Proteção Ambiental Bonfim-Guaraira, criada pelo Decreto nº14.369, de 22 de março de 1999, do governo do Estado do Rio Grande do Norte.

1.2 Justificativa para o desenvolvimento do trabalho

A ocupação inadequada e desordenada do solo pelo homem e a falta de políticas públicas de planejamento territorial, podem causar sérios problemas ambientais, sendo muitas vezes a natureza destruída de forma predatória. Na maioria das

vezes, as modificações rápidas no ambiente não permitem a estabilização e a consolidação dos seus ecossistemas, os quais sempre procuram um equilíbrio dinâmico por si só.

Nesse sentido é de grande importância o conhecimento do meio físico (solo, água, clima, vegetação), de seus recursos naturais com todos os seus processos atuantes, suas potencialidades e vulnerabilidades, para que sirva de base para o estabelecimento de medidas de prevenção e proteção ao meio ambiente, pelo poder público.

A partir desses parâmetros é que foi proposto o desenvolvimento deste estudo, baseando-se no fato de que o meio ambiente desta região tem sofrido interferências antrópicas significativas. Essas intervenções humanas são provenientes do aumento da atividade de turismo aliada à especulação imobiliária, além da atividade industrial da carcinicultura, que visa a exportação. Essas interferências têm sido observadas principalmente em relação às encostas e à rede de drenagem deste complexo estuarino-lagunar. As encostas da região têm sido utilizadas para ocupação urbana e para fornecimento de material para construção dos diques dos tanques de camarão. A retirada dos sedimentos das mesmas as mantêm susceptíveis às intempéries e a urbanização desordenada nas encostas pode causar sobrecarga sobre os taludes. As consequências dessas atitudes são o aparecimento de processos erosivos e de movimentos de massas, os quais podem causar danos com consequências que podem ser irreversíveis.

A rede de drenagem tem recebido em seus corpos de água um aterramento de volume significativo, em parte devido a construção das paredes dos viveiros de camarão. O aumento das fazendas para criação de camarão nas lagunas tem sido bastante considerável, e, provavelmente, esse aumento seja um dos responsáveis pelo processo crescente de assoreamento no interior do complexo estuarino-lagunar. Esse provável assoreamento tem sido percebido especialmente pelos pescadores da região, os quais atuam há mais de 30 anos nessa atividade econômica local.

Dessa forma a caracterização dos sedimentos e a identificação das áreas de degradação ambiental, contribuem para o conhecimento do meio físico dessa região, pois complementam os estudos já realizados anteriormente sobre a geologia, a geomorfologia e a pedologia da região, como também contribuem para o conhecimento das fragilidades e vulnerabilidades desse ambiente. Pretende-se, ainda, com este estudo regional contribuir com a identificação dos processos dinâmicos atuantes nessa região, com ênfase para os processos erosivos (erosão pluvial, fluvial e costeira) e os movimentos de massas em encostas. Espera-se com o estudo fornecer subsídios para orientar o planejamento urbano municipal, a ocupação e o uso do solo na região, a identificação de áreas de riscos e a proteção ambiental.

Com base em outros estudos do meio físico, tanto de mapeamento como de cartografia geotécnica, é que utilizamos uma metodologia apropriada para direcionarmos nossas atividades de campo e para desenvolvermos um mapeamento geotécnico próprio, a partir da caracterização dos sedimentos, visando o

conhecimento dos processos físicos atuantes na região, como também a gestão ambiental.

1.3 Objetivos

O presente trabalho trata-se de um estudo regional que tem como objetivo geral contribuir para o conhecimento do meio físico da região, fornecendo subsídios para a definição de uma política de planejamento municipal de uso e ocupação do solo de maneira a respeitar as suas características ambientais inerentes.

O objetivo específico deste estudo é caracterizar em termos de geotecnia os solos adjacentes às lagoas do Complexo Estuarino-lagunar Nísia Floresta-Papeba-Guarairas e a partir desses dados fazer um zoneamento geotécnico, dividindo os solos em unidades geotécnicas homogêneas, com base nos dados de geologia, geomorfologia e pedologia. Essas unidades geotécnicas foram divididas em 7 unidades: Dunas, Planície Costeira, Planície de Deflação, Terraço, Tabuleiro, Vertentes e Aluvião. Este zoneamento é representado através de um Mapa de Zoneamento Geotécnico Geral.

Aliada à caracterização dos solos da região são identificadas algumas áreas de degradação ambiental com vistas à uma identificação preliminar de áreas de riscos e de passivos ambientais. O acompanhamento da evolução dessas áreas

conduz a uma melhor avaliação das condições ambientais da região e dos processos nela atuantes.

Para isso foram realizadas coletas de sedimentos nos arredores das lagunas e posteriormente as amostras colhidas foram submetidas a ensaios de laboratório para caracterização e classificação. Além disso, foram feitas observações de campo e comparações com estudos realizados anteriormente na área.

1.4 Organização do trabalho

O trabalho é dividido em 6 capítulos. O Capítulo 1 faz inicialmente uma breve apresentação do tema de pesquisa. Em seguida apresenta os objetivos do trabalho e a justificativa para o seu desenvolvimento. Por fim, apresenta a organização do mesmo.

O Capítulo 2 faz uma sinopse de informações colhidas da região como um todo: a localização geográfica, as características sócio-econômicas, o clima, a vegetação, a geologia, a geomorfologia, a pedologia, a rede de drenagem, a evolução morfológica através dos tempos e a influência do homem.

O Capítulo 3 apresenta uma revisão bibliográfica sucinta das teorias que serviram de embasamento para o desenvolvimento desta pesquisa, que foram as

metodologias de mapeamento geotécnico, os processos erosivos pluviais, fluviais e costeiros, além dos tipos de movimentos de massas em encostas.

O Capítulo 4 apresenta a metodologia utilizada, a qual foi baseada em cinco distintas etapas: levantamento de dados existentes, reconhecimento de campo, coleta de amostras de sedimentos, realização de ensaios de laboratório e interpretação conjunta dos resultados obtidos.

No Capítulo 5 são apresentados os resultados obtidos e a análise desses resultados. Neste capítulo são definidas as Unidades Geotécnicas e são caracterizados e classificados seus respectivos tipos de solos. Além disso, são identificadas algumas áreas em processo de degradação. Por fim, apresenta-se um diagnóstico da situação da região a partir dos processos atuantes.

O Capítulo 6 apresenta as conclusões das análises realizadas a partir do capítulo anterior, como também as recomendações para um melhor uso e ocupação da região estudada.

CAPÍTULO 2

DESCRIÇÃO GERAL DA REGIÃO

2.1 Generalidades

A região sofreu várias modificações no decorrer do tempo provocadas por processos naturais e por uma série de intervenções antrópicas. Em função disso e da sua importância em termos econômicos tem sido objeto de vários estudos desde a década de 70, inclusive estudos sobre caracterização do meio físico e sobre impactos ambientais no sistema estuarino-lagunar.

A caracterização dos sedimentos do fundo das lagoas de Guarairas, Papeba e de Nísia Floresta foi feita por Carvalho (1978), Silveira (1981) e Carvalho (1982), respectivamente. Uma discussão a respeito da evolução morfológica do sistema lagunar foi apresentada por Bagnoli & Farias (1995). Em termos de estudos geológicos e geomorfológicos da região podem ser citados os trabalhos de Melo (1997), Melo (2000) e Amaral (2000).

A pedologia foi principalmente identificada pelo Mapa Exploratório de Solos do Projeto Radambrasil (1981).

Scudelari et al (1998), Scudelari et al (1999), Scudelari e Medeiros (1999), Scudelari et al (2000), Scudelari et al (2001a) e Scudelari et al (2001b), apresentaram a caracterização e o diagnóstico ambiental com ênfase para o meio físico do sistema lagunar de Guaraíras, tendo sido identificados os vários impactos exercidos sobre as lagoas.

Os principais problemas identificados na área dizem respeito ao processo de assoreamento a que vem sendo submetido todo o sistema e a erosão pluvial e costeira na área da embocadura de Guaraíras. Nesse sentido, os trabalhos de Santos Jr. et al (1999), Diniz et al (2000) e Santos Jr. et al (2001) procuram identificar as causas e compreender os mecanismos de ação de tais processos. Este capítulo procura apresentar a síntese dos trabalhos já desenvolvidos na região.

2.2 Localização Geográfica

O Complexo Estuarino-lagunar Nísia Floresta-Papeba-Guaraíras localiza-se numa Área de Proteção Ambiental (APA) que se encontra no litoral oriental da Região Nordeste do Brasil, mais precisamente no Estado do Rio Grande do Norte, 60 km ao sul de Natal, capital do Estado. Os municípios que compreendem o complexo estuarino-lagunar em estudo são: São José do Mipibú, Nísia Floresta, Senador Georgino Avelino, Arês, Goianinha e Tibau do Sul. A distância dessas cidades em relação à capital varia de 40 a 88 quilômetros. A Figura 2.1 mostra a localização geográfica da área objeto do presente estudo.

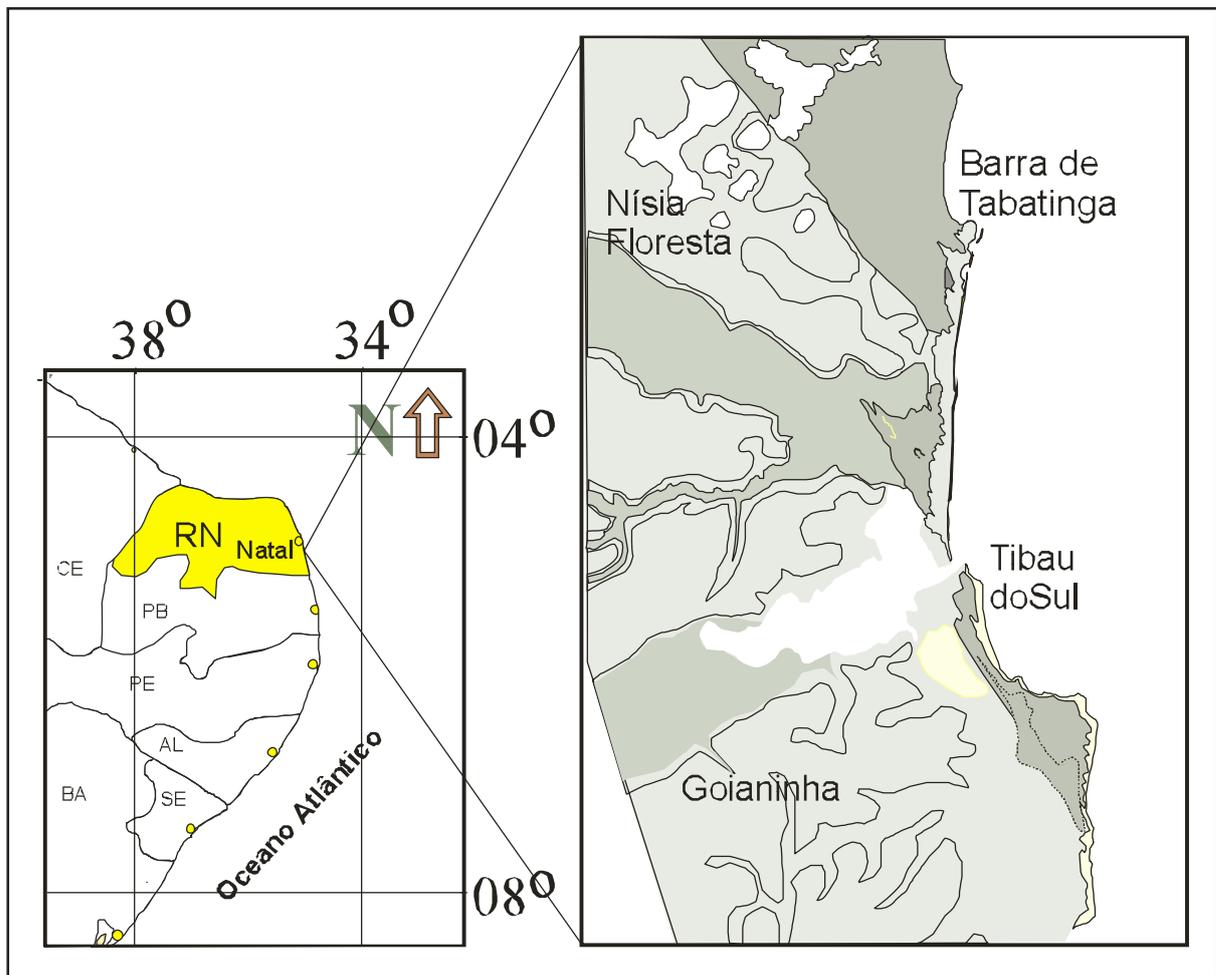


FIGURA 2.1 - Localização geográfica da área estudada.

Um aspecto marcante da região é o sistema lagunar formado por três corpos de água (lagunas de Guaraíras, de Papeba e de Nísia Floresta) interligados por canais. Esse sistema corresponde aos estuários de três importantes rios que desembocam no litoral leste do Rio Grande do Norte. Os rios Jacu, Trairí e Araraí. O rio Jacu desemboca na laguna de Guaraíras, enquanto que os rios Trairí e Araraí se dirigem para a laguna de Nísia Floresta. Há ainda um outro rio de menor expressão que alimenta o sistema. Trata-se do rio Baldum que desemboca na laguna de Papeba. A região estudada é mostrada com mais detalhes na Figura 2.2.

é orientada no sentido NW-SE, possuindo comprimento de 4,5 km e largura variável (com um máximo de 1,6 km). A laguna de Papeba é a menor das três, com uma forma aproximadamente circular de diâmetro em torno de 0,8 km.

O sistema sofre forte influência das marés em função da ampla ligação com o mar na embocadura da laguna de Guaraíras. A elevação do nível de água nas lagunas durante a preamar chega a 1,5 m em Guaraíras e 0,5 m em Papeba e Nísia Floresta. O registro dessa influência é possível ser constatado pelo desenvolvimento de mangue no entorno das lagunas, uma vez que esse tipo de vegetação é típico de ambientes onde predominam águas salobras.

Segundo relatório do Ministério do Meio Ambiente (1995), a região do complexo estuarino-lagunar Guaraíras-Papeba-Nísia Floresta encontra-se numa *"área urbano-industrial sujeita a diversos vetores de comprometimento ambiental"*. De acordo com este Relatório, essa região também encontra-se dentro de um dos *"corredores de indução de ação antrópica sobre os ecossistemas"*. Esse corredor local é mais precisamente a Rodovia Federal BR-101.

2.3 Características Sócio-Econômicas

Alguns municípios da área em estudo datam de uma urbanização bem recente, dos anos 60 para cá, como é caso de Senador Georgino Avelino e Tibau do Sul. Outros são mais antigos e foram criados no século XIX, como Arês (1876), Nísia

Floresta (1852) e Goianinha (1832). Porém o município mais antigo é São José do Mipibú e sua fundação data de 1758.

De maneira geral, esses municípios encontram-se numa boa posição no ranking de alguns índices de desenvolvimento sócio-econômico do estado (IDEMA, 2000). Há, portanto, uma tendência de desenvolvimento, crescimento e urbanização dos mesmos.

O enfoque maior da atividade sócio-econômica está relacionado à criação de gado e à cultura de camarão em viveiros, e mais recentemente ao turismo nacional e internacional. De acordo com Melo (2000),

a área apresenta uma atividade sócio-econômica ligada, principalmente, às atividades de agricultura, através do cultivo da cana-de-açúcar, frutíferas e hortaliças; a pecuária, para corte e produção leiteira; aquacultura, com criações de camarões, peixes, ostras e caranguejos. A atividade econômica, porém, que vem tomando grande impulso nos últimos anos é o turismo. Este passou a representar uma importante fonte de arrecadação local, a qual tem se destacado principalmente na laguna de Guaraíras e nas praias de Tibau do Sul e Pipa.

A região em estudo é alvo de empreendimentos turísticos importantes por causa de suas belezas naturais e por sua proximidade à praia de Pipa que faz parte de rotas turísticas internacionais. Por possuir um sistema estuarino-lagunar de grande porte, a região também é propícia a empreendimentos pesqueiros como a carcinicultura, atividade esta conflitante com o turismo, por ser causadora de impactos ambientais decorrentes de sua exploração. Esse é um dos conflitos evidenciados em relação ao uso e à ocupação do solo dessa região.

2.4 Clima

Com base nos estudos de Scudelari e Medeiros (1999), o clima da área estudada, segundo a classificação de Köppen, é descrito como As' quente e úmido, com predominância de precipitação pluviométrica, cuja média é de 1400 mm anuais, com maior concentração nos meses entre março e agosto. A temperatura é amena com oscilações em torno de 26°C de média anual, para uma umidade relativa do ar oscilando entre 75% e 80%. Os ventos predominantes na região são os ventos sudeste, com velocidade média de 2,06 m/s (4 nós), ocorrendo durante todo ano.

Os principais fatores que influenciam para que o clima da área seja quente e úmido, segundo dados da Empresa de Pesquisa Agropecuária do RN – EMPARN apud Melo (2000), estão ligados à sua localização geográfica. É caracterizado por apresentar duas estações pluviométricas bem definidas: uma seca entre os meses de setembro e fevereiro e outra chuvosa entre os meses de março e agosto. Os ventos apresentam uma predominância no quadrante sudeste (ventos úmidos), sendo que no verão predominam os alísios e os contra-alísios, os quais não têm condições de penetrar muito além do litoral. A insolação média anual encontra-se em torno de 2.954 horas e a umidade relativa do ar normalmente apresenta-se em patamares iguais ou superiores a 75%.

2.5 Vegetação

Os Informativos Municipais (IDEMA, 2000) identificam os vários tipos de formações vegetais presentes na área:

- *a floresta subperenifólia que consiste numa vegetação densa, sendo constituída por árvores sempre verdes, possuindo um grande número de folhas largas e troncos geralmente delgados;*
- *o campo de várzea sendo um tipo de vegetação que ocorre nas várzeas úmidas e periferia dos cursos d'água, constituindo-se, principalmente, por espécies herbáceas da família das gramíneas e ciperáceas;*
- *o manguezal que é um sistema ecológico costeiro tropical dominado por espécies vegetais – mangues e animais típicos, aos quais se associam outras plantas e animais, adaptadas a um solo periodicamente inundado pelas marés, com grande variação de salinidade;*
- *vegetação de tabuleiro que é um tipo de vegetação encontrada cobrindo os Tabuleiros Costeiros em áreas onde ocorre intervenção humana. Vegetação semelhante à de Cerrados;*
- *formação de praias e dunas que consiste na vegetação fixadora de areias, nativa de dunas.*

Percebe-se na vegetação da região a presença inconfundível da mata Atlântica tanto nos platôs como nas vertentes, como a existência de fruteiras como bananeiras, coqueiros, cajueiros e mangueiras, além da presença marcante dos canaviais, especialmente nos platôs. Observa-se também muitas plantações de agricultura de subsistência como feijão e milho, assim como florestas pontuais de eucaliptos, especialmente ao longo da rodovia federal, junto às plantações de cana-de-açúcar.

Os ecossistemas costeiros encontrados na região estudada são manguezais, dunas, lagunas e costões rochosos. A mata Atlântica, a vegetação fixadora de dunas

e os manguezais consistem em ecossistemas que devem ser protegidos de acordo com a legislação ambiental.

2.6 Geologia

A geologia da região faz parte de um pacote sedimentar formado por uma seqüência sedimentar neocenozóica, como descreve Carvalho (1978). No entorno da laguna de Guarairas os sedimentos da Formação Barreiras são predominantes, ocorrendo também em porções aflorantes por toda a área, além de formar o embasamento da laguna.

O litoral oriental do Rio Grande do Norte, onde está compreendida a região em estudo, apresenta uma geologia caracterizada por sedimentos cenozóicos, os quais são compreendidos pelas Formações Potengi e Barreiras, e por dunas.

A Formação Barreiras expõe-se por toda faixa litorânea, acompanhando a linha de costa, ou recobrimdo até 50 km no continente, por toda a extensão oriental do litoral dos Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco (Projeto Radambrasil - Mapa Geomorfológico, 1981). Predominam sedimentos argilosos, com cores variadas, esbranquiçadas até avermelhadas. São comuns os níveis conglomeráticos, com seixos subangulosos. Podem ocorrer também intercalações sílticas. Ocorrem formando tabuleiros ao longo de todo o litoral. Geralmente são sedimentos pouco consolidados.

A região é formada por dunas móveis e fixas sobrepostas a um tabuleiro costeiro onde se identificam pontos de instabilidade de encostas, nas proximidades da planície de inundação.

Em seu mapeamento geológico da região de Goianinha e Tibau do Sul, Melo (1997) descreve a geologia da área composta pelo embasamento cristalino pré-cambriano, por sedimentos mesozóicos siliciclásticos e carbonáticos, por sedimentos terciários da Formação Barreiras, além de sedimentos quaternários que são areias de dunas, coberturas arenosas, sedimentos aluvionares e sedimentos de mangues. Na superfície litorânea, as rochas supra Barreiras, as planícies praias e os beach-rocks.

Em seu estudo sobre toda a região do complexo estuarino-lagunar, Melo (2000) complementa:

a unidade basal da região estudada é composta por rochas gnáissicas-migmatíticas do embasamento cristalino pré-cambriano. Sobrepostos a este, encontram-se depositados os sedimentos mesozóicos siliciclásticos (base), e carbonáticos (topo). Em discordância erosional, com os sedimentos mesozóicos, está uma das principais unidades geológica da região litorânea apud Nogueira et al. (1990), constituída por sedimentos de textura variada, em geral, pouco a não consolidados, atribuídos à Formação Barreiras, cuja idade varia do Terciário Superior ao Quaternário Inferior. Os sedimentos quaternários, sub-recentes e recentes, sobrepostos à Formação Barreiras, são constituídos basicamente por areias de dunas, coberturas arenosas, além de sedimentos aluvionares recentes ao longo das drenagens e sedimentos de mangues na faixa intermaré. Também na porção litorânea, estão as rochas supra Barreiras, as planícies praias e os beach rocks.

A geologia da área, de acordo com Melo (2000), é mostrada na Figura 2.3.

De maneira mais generalizada, Melo (2000) descreve a geologia da área como:

caracterizada por coberturas sedimentares cenozóicas, sendo estas, os depósitos arenosos de dunas antigas, dunas recentes, sedimentos aluvionares e sedimentos de mangue na faixa intermaré. Os beach rocks ocorrem na zona de estirâncio e de ante-praia, em cordões paralelos a linha de costa atual, constituídos por arenitos amarelados a cinza". "A unidade aflorante mais antiga consiste de sedimentos areno-argilosos, por vezes, congloméráticos pertencentes à Formação Barreiras de idade terciária/quaternária, a qual repousa discordantemente sobre as unidades mesozóicas da região, observadas apenas em dados de poços" (Queiroz, 1984 apud Melo, 2000).

A estratigrafia da área se complementa com os depósitos praias atuais e os depósitos de barras arenosas associadas à dinâmica estuarina.

Amaral (2000) cita as seguintes formações do litoral oriental do Rio Grande do Norte, referente ao quadro geológico no Cenozóico:

- *a Formação Barreiras onde predominam os sedimentos areno-argilosos, com intercalações sílticas e conglomeráticas;*
- *os depósitos eólicos ou dunas que são sedimentos eólicos que se distinguem em imagens de sensores remotos, por não apresentar vegetação de grande porte, (...) e formam extensos cordões paralelos à praia;*
- *os depósitos fluvio-lacustrinos que são sedimentos associados aos leitos dos rio principais, podendo possuir granulação tão grossa quanto o cascalho;*
- *os arenitos de praia; e*
- *os sedimentos da plataforma.*

2.7 Geomorfologia

Christofolletti (1974) define a geomorfologia como "a ciência que estuda as formas de relevo" as quais "foram esculpidas pela ação de determinado processo". E

recomenda que, para se estudar a geomorfologia ou as formas de relevo adequadamente, é importante que se compreenda os seguintes sistemas:

1) o sistema climático que, através do calor, da umidade e dos movimentos atmosféricos, sustenta e mantém o dinamismo dos processos;

2) o sistema biogeográfico que, representado pela cobertura vegetal e pela vida animal que lhe são inerentes, e de acordo com as suas características, atua como fator de diferenciação na modalidade e intensidade dos processos, assim como fornecendo e retirando matéria;

3) o sistema geológico que, através da disposição e variação litológica, é o principal fornecedor do material, constituindo o fator passivo sobre o qual atuam os processos;

4) o sistema antrópico, representado pela ação humana, é o fator responsável por mudanças na distribuição da matéria e energia dentro dos sistemas, e modifica o equilíbrio dos mesmos.

De maneira consciente ou inadvertida, o homem está sempre produzindo modificações sensíveis nos processos e nas formas, seja através de influências degradantes ou destrutivas sobre os sistemas e processos naturais, seja através de atitudes que contribuam para o desenvolvimento sustentável dos mesmos.

A geomorfologia da região estudada inclui os seguintes tipos de relevos (formas):

➤ tabuleiros litorâneos - que não ultrapassam 80 metros de altitude, sustentados pelo substrato rochoso de sedimentos terciários da Formação Barreiras, de espessuras variadas e cores variegadas (CARVALHO, 1982). Sua morfologia consiste em colinas amplas de topos planos, seccionados por vales principais muito entalhados, com vertentes bastante inclinadas e fundos planos. Quando entram em contato com as águas oceânicas, originam as falésias. Os terrenos próximos à base da falésia, nos topos dos tabuleiros, constituem-se em áreas de risco;

- falésias - que são encostas costeiras ou escarpas, entalhadas nos sedimentos da Formação Barreiras, fazendo interface ora com o mar, ora com as lagunas;
- vales de rios e riachos - formando feições características de ambientes fluviais, constituindo planícies aluvionares e terrenos estuarinos ou denominados também de planícies de mangue (CARVALHO, 1982);
- lagoas costeiras - que correspondem à corpos de água superficiais, salgadas, preenchendo depressões dentro dos vales fluviais;
- praias - que consistem no estirâncio de areia que faz a interface com o mar. É delimitada pela preamar e pela baixa-mar;
- dunas - ao longo da costa, na porção leste da área, fazendo interface com o mar, constituídas de sedimentos arenosos de diversas granulometrias, formando uma cobertura para os sedimentos da Formação Barreiras (CARVALHO, 1982). São formadas principalmente pela ação dos ventos alísios e apresentam-se como dunas móveis e dunas fixas.

Em sua carta geotécnica do município de Nísia Floresta, Pereira et al. (1996) identificaram oito unidades geotécnicas na região e as dividiu de acordo com a predominância dos processos atuantes no meio físico: planície de maré, planície aluvial, orla costeira, planície costeira, lençol arenoso, campo dunar, vertentes e tabuleiros.

As planícies de maré compreendem os sedimentos lamosos e arenosos presentes nos manguezais dos rios Pirangi e Baldum e da laguna de Nísia Floresta. A planície aluvial localiza-se nas regiões de baixadas ao longo dos rios de baixa

vazão e riachos, sendo planícies compostas por sedimentos areno-argilosos, com matéria orgânica, podendo atingir até 10 metros de espessura (PEREIRA et al., 1996). A orla costeira corresponde ao estirâncio das praias do município formadas por sedimentos quartzosos finos e com presença marcante de recifes ou “beach-rocks”. Na orla costeira estão incluídas as falésias das praias de Tabatinga e Pirambúzios compostas por sedimentos da Formação Barreiras. A planície costeira é formada por areias quartzosas eólicas, inconsolidadas, desprovidas de vegetação natural, com largura máxima em torno de 500 m e nível freático aflorante e sub-aflorante (PEREIRA et al., 1996). Ocorre a formação sazonal de lagoas e canais temporários pela oscilação do lençol subterrâneo. O lençol arenoso localiza-se sobre os tabuleiros, sendo sedimentos quartzosos eólicos, inconsolidados, com lençol freático aflorante formando lagoas. O campo dunar compreende as dunas móveis e fixas, localizando-se na porção central da área, constituído por areias quartzosas eólicas inconsolidadas, podendo atingir até 40 metros de altura (PEREIRA et al., 1996). As vertentes ocorrem principalmente ao longo das margens dos rios e subordinadamente na parte leste da Lagoa do Bonfim, composta apenas pelas rochas sedimentares da Formação Barreiras com cobertura de solos arenosos mais finos no topo e mais espessos na base (colúvio). Finalmente, os tabuleiros que são terrenos ligeiramente ondulados compostos por rochas da Formação Barreiras, com cobertura de solo residual arenoso, com altitude média em torno de 55-65 metros (PEREIRA et al., 1996).

Em termos de geomorfologia continental, Amaral (2000) impõe especial importância aos tabuleiros costeiros formados na região litorânea oriental da Região Nordeste do Brasil. Esses tabuleiros encontram-se encaixados entre o relevo

dissecado da Depressão Sertaneja e as praias atuais e são compostos por sedimentos em camadas subhorizontais, na maior parte, pertencentes à Formação Barreiras. Na Figura 2.4 do é mostrada a classificação geológica-geomorfológica de Amaral (2000).

As feições geomorfológicas identificadas por Melo (2000) no Complexo Estuarino-lagunar Nísia Floresta-Papeba-Guaráiras são descritas da seguinte maneira:

- modelados fluviais: correspondem aos tabuleiros recortados por vales aluviais dos principais cursos d'água da área, os quais encontram-se encaixados em depressões esculpidas nos sedimentos da Formação Barreiras;
- complexo lagunar-estuarino: compreende o sistema de três lagunas Nísia Floresta, Papeba e Guaráiras, as quais interagem através dos canais artificiais do Boqueirão e Surubajá. A laguna de Guaráiras corresponde a zona de estuário do sistema, recebendo de maneira direta o fluxo e o refluxo das correntes de maré. As feições morfológicas dominantes nesta laguna são um delta de maré vazante e barras arenosas estuarinas no seu interior;
- feições costeiras: estão representadas pelas falésias, praias, bermas e dunas. As falésias estão esculpidas nos sedimentos da Formação Barreiras e de forma abrupta, em consequência do término brusco dos tabuleiros. O estirâncio compreende a faixa de praia delimitada pela

preamar e baixa-mar, onde encontra-se também os beach-rocks dispostos em cordões paralelos a linha de costa. Bermas são sedimentos oriundos da zona de estirâncio que sofreram transporte eólico, sendo caracterizados por uma superfície de topo horizontalizado e superfície frontal com mergulho acentuado rumo ao mar, composto basicamente por gramíneas. Por fim, as dunas que são feições morfológicas formadas em locais com disponibilidade de sedimentos finos e ventos constantes, sendo formadas principalmente pelo transporte eólico. Elas são de dois tipos: dunas móveis recentes e dunas fixas antigas.

Na região do complexo estuarino-lagunar Nísia Floresta-Papeba-Guaraíras, o Mapa Geomorfológico (RADAMBRASIL, 1981) distinguiu as seguintes unidades geomorfológicas:

- *Apf: Planície fluvial. Área plana resultante de acumulação fluvial sujeita a inundações periódicas;*
- *Apmf: Planície fluviomarinha. Área plana resultante da combinação de processos de acumulação fluvial e marinha, geralmente sujeitas a inundações periódicas, com vegetação de mangues;*
- *Ad: Dunas. Depósitos de origem marinha e/ou continental remodelados por ventos;*
- *Adf: Dunas fixas. Depósitos de origem marinha e/ou continental, remodelados por ventos e fixados por vegetação;*
- *c: Formas convexas. Relevos de topo convexo, com diferentes ordens de grandeza e de aprofundamento de drenagem, separados por vales em "V" e eventualmente por vales de fundo plano;*
- *t: Formas tabulares. Relevos de topo plano, com diferentes ordens de grandeza e de aprofundamento de drenagem, separados geralmente por vales de fundo plano. A forma presente na área é denominada t52, significando que possui fraca intensidade de aprofundamento da drenagem.*

As primeiras quatro unidades são formas de acumulação e as unidades c e t são formas de dissecação.

Os Tabuleiros Costeiros formam uma unidade geomorfológica que se estende numa faixa contínua de cerca de 700 km ao longo do litoral do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Para o interior essa unidade entra em contato com a Depressão Sertaneja. Sua altitude média varia em torno de 70 a 100 metros. Dentro da área estudada, eles constituem a principal unidade geomorfológica.

Na faixa litorânea incluem-se os campos de dunas sobrepostas aos Tabuleiros Costeiros e as planícies marinhas e fluviomarinhas quaternárias. Ocorre ao longo do litoral dos Estados citados. Sua continuidade é rompida em alguns trechos pela presença de falésias formadas em sedimentos cenozóicos da Formação Barreiras. A largura é variável, atingindo aproximadamente 4 km no litoral leste (Projeto Radambrasil - Mapa Geomorfológico, 1981).

Melo (2000) distingue dois domínios morfológicos para o relevo da área. Um deles são:

os platôs do litoral leste (domínio dos tabuleiros) os quais compreendem superfícies de aplainamento, correspondentes ao domínio dos sedimentos da Formação Barreiras. Limitam-se a oeste com o embasamento cristalino e à leste estendem-se até a costa, por vezes, são interrompidos abruptamente formando falésias. No geral, são superfícies planas a suavemente ondulados com declives entre 0 e 5%, exceto próximo as linhas de drenagens onde estes são consideravelmente mais acentuados;

O outro domínio compreende “os vales encaixados (*incluindo as várzeas, terraços fluviais e os ambientes lagunares*), correspondendo a área litorânea, envolvendo principalmente os mangues, os cordões de dunas e as praias”.

2.8 Pedologia

Essa ciência tem por objeto o estudo das camadas superficiais da crosta terrestre, em particular a sua formação e classificação, levando em conta a ação de agentes climatológicos. O perfil do solo é a base de estudo da Pedologia. As camadas que constituem um perfil são denominadas horizontes e designam-se pelas letras A – camada superficial, B – subsolo e C - camada profunda, onde são diferenciadas pela cor e pela composição química. Estes horizontes são camadas sobrepostas ao material de origem e suas características físicas variam com o nível de intemperismo físico e químico sofrido pelo solo no decorrer do tempo.

De acordo com Carvalho (1978), que estudou os sedimentos da Laguna de Guarairas, os solos daquela área e seu entorno foram classificados pedologicamente como solos profundos, amarelos e avermelhados (latossolos), devido ao clima quente e úmido que atua como fator determinante na sua formação. Sobre essa formação característica da fase de intemperismo da Formação Barreiras ocorrem, ao longo da faixa costeira, “solos de areias quartzosa distróficas (dunas), com baixa fertilidade e baixa retenção de umidade. Ao lado destes, nas baixadas e

nas várzeas, ocorrem tipos de solos hidromórfos, enquadrados no processo de podsolização, como podsolos de mangues”.

No Mapa Exploratório de Solos (RADAMBRASIL, 1981) da região do complexo estuarino-lagunar Nísia Floresta-Papeba-Guaráiras, como mostrado na Figura 2.5, o Projeto Radambrasil distinguiu os seguintes tipos de solos :

- Lad7: Latossolo Amarelo Distrófico;
- PVd18: Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico;
- AQd3: Areias Quartzosas Distróficas;
- AMd6: Areias Quartzosas Marinhas Distróficas;
- Ae2: Solos Aluviais Eutróficos;
- Ae8: Solos Aluviais Eutróficos;
- SM: Solos Indiscriminados de Mangue.

Outros registros sobre a classificação pedológica dos solos da região são apresentados nos Informativos Municipais (IDEMA, 2000). São citados os seguintes tipos de solos: latossolo vermelho amarelo distrófico, solos aluviais eutróficos, areias quartzosas distróficas e solos indiscriminados de mangues.

A região encontra-se estabelecida entre platôs e vales favorecendo assim a permanência de águas superficiais. Encontra-se uma rede de drenagem bem definida com canais fluviais (rios e riachos), lagoas ou lagoas, canais artificiais, estuário e mar, formando um sistema estuarino-lagunar de grande porte.

O sistema estuarino-lagunar que compreende as lagoas de Nísia Floresta, Papeba e Guaraíras está inserido na bacia hidrográfica dos rios Jacú, Baldum, Trairí e Araraí. Esses rios são os principais responsáveis pelo escoamento de água doce, como também pelo carreamento de sedimentos provenientes do continente para a zona estuarina e costeira.

O complexo é constituído de três lagoas, hoje lagoas devido o seu contato com as águas marinhas. Essas lagoas são alimentadas, à montante, pelos rios Trairí e Araraí na cabeceira da laguna de Nísia Floresta, pelo rio Baldum na laguna de Papeba e pelo rio Jacu na cabeceira da laguna de Guaraíras. À jusante, através da desembocadura da laguna de Guaraíras o complexo tem acesso ao mar, sendo alimentado pela maré e estando sujeito a todas as variações da mesma. Com o acesso ao mar, através da laguna de Guaraíras, o complexo que é interligado por canais artificiais, funciona, portanto, como estuário dos rios citados, pois essas lagoas encontram-se nos vales desses rios. O canal do Rio Baldum pode ser visto na Figura 2.6.

Encontram-se também na região aquíferos confinados ou semi-confinados na Formação Barreiras, além dos aquíferos aluvionares presentes sob os leitos e terraços dos rios e riachos (IDEMA, 2000).



FIGURA 2.6 – Vista do rio Baldum sob a ponte da RN-52.

O rio Trairí tem sua nascente na serra de Cuité na Paraíba, e percorre vários municípios até penetrar na laguna de Nísia Floresta. Segundo Melo (2000)

a bacia do rio Trairí possui cerca de 2.834 km² de área e abrange parte das regiões agreste e litoral leste do Estado, cortando a área com direção aproximada E-W. O rio Trairí apresenta um leito maior que pode atingir até 4 km de largura no seu baixo curso, desaguardo a NW da lagoa de Nísia Floresta. O rio Jacu é oriundo de regiões cristalinas, é perene, de curso regular, desembocando na extremidade sul da lagoa de Guaraíras. Forma uma vasta planície aluvionar, atravessando a área com direção SW-NE e propiciando a formação de extensos manguezais.

O canal do rio Trairí é mostrado na Figura 2.7.



FIGURA 2.7 – Vista do canal do rio Trairí sob a ponte da BR-101.

Outra contribuição fluvial importante é do rio Araraí, também chamado Ararí, que consiste em um canal perene o qual lança suas águas permanentemente na laguna de Nísia Floresta, contribuindo de forma constante com um aporte de água doce para a mesma. Sobre o regime de perenização desses rios Melo (2000) complementa: “A perenização dos rios e riachos locais principalmente nos seus baixos cursos, decorre basicamente do índice pluviométrico relativamente elevado e contribuições subterrâneas. A ausência de estações hidrométricas em operação na área, não permite o conhecimento das descargas, bem como suas variações sazonais e interanuais”. O canal do rio Araraí é mostrado na Figura 2.8.



FIGURA 2.8 – Canal do rio Araraí sob a ponte da BR-101.

A laguna de Guaraíras possui acesso ao mar e funciona como estuário do sistema. O modo de formação da bacia desse estuário aparenta ser de vale de rio afogado, com movimentos dos fluidos (fluxo e refluxo) dominados pelas marés.

O complexo apresenta características próprias de sistema estuarino: variação de salinidade, variação de densidade de água, variação da flora e fauna, turbidez das águas (movimentação da massa líquida e revolvimento do fundo), além de variação de temperatura. Dessa forma, ele apresenta fauna e flora de ambiente transicional, ou seja, ambiente marinho e fluvial ao mesmo tempo, onde há a mistura das águas salgadas e doces formando ambiente adequado para vegetação de mangues e abundância de crustáceos, os quais refugiam-se em galerias escavadas no substrato ou correndo sobre a superfície do solo. O ecossistema manguezal é caracterizado pela presença aérea de biomassa de mangues no litoral entre a preamar e o nível médio de maré.

2.10 Evolução Morfológica e Influência Antrópica

No decorrer do tempo houve evoluções morfológicas na região do complexo estuarino-lagunar em estudo, especialmente no que se refere à rede de drenagem. Ressalta-se que, as evoluções conhecidas mais significativas ocorreram devido às influências antrópicas no ambiente. A interação humana é um fator de grande importância no meio físico, transformando e modelando o meio ambiente. Segundo Carvalho (1999), a interação antrópica “*é o conjunto de transformações postas em curso pela ação humana sobre a terra*”.

De acordo com os estudos de Bagnoli & Farias (1995), o desenvolvimento da lagoa de Guaraíras está atrelado a um abaixamento relativo do nível do mar, ocorrido após a última grande transgressão holocênica. No período houve uma intensa migração para o sul de um esporão arenoso, com o conseqüente aprisionamento de uma considerável laguna, alimentada por rios e de forma intermitente pelo mar. As modificações sofridas por essa lagoa são bastante particulares, pois de acordo com o mapa português de Albernaz, que data de 1612, havia uma ligação entre a lagoa e o mar. Já em meados de 1638, o mapa da Capitania do Rio Grande, do batavo C. B. Golijath, mostra a lagoa de Guaraíras isolada do mar, abrindo assim espaço para uma suposição de que a lagoa apresentou um fechamento da barra entre o período de 1612 à 1638.

Mais adiante, no ano de 1643, o alemão Georg Marcgrave registra, de forma detalhada, a barra obstruída da lagoa e as ligações destas com as vizinhas (Papeba

e Papary), além do rio Tareiri, hoje Trairi. Trata-se de um sistema que sofreu sucessivas mudanças naturais na sua dinâmica, com alguns períodos de isolamento e outros de ligação ao mar. Segundo Bagnoli & Farias (1995), no passado o sistema possuía ligação com o mar através do canal do rio Camurupim.

Em tempos de grandes enchentes, quando as lagoas transbordavam, o rio Camurupim servia de estuário, desaguardo para o mar parte do grande fluxo de água proveniente, principalmente, da lagoa de Papary ou Nísia Floresta. Nesses períodos de cheia, a lagoa de Guaraíras, sendo a mais próxima do mar, alargava de tal forma o seu espelho d'água que suas águas cobriam as plantações cultivadas na região. Devido à incompatibilidade dessas enchentes, que fazia parte da dinâmica do sistema, com os interesses dos moradores da região, foram então realizadas mudanças em vários pontos.

Primeiramente, no ano de 1923, foi feita uma abertura de um estreito canal de comunicação entre a lagoa de Guaraíras e o mar, com objetivo de drenar a lagoa no período de chuvas. O mesmo alargou-se rapidamente com uma grande enchente em 1924, um ano depois dessa abertura, quando foi registrada a maior enchente do século naquela região, ocasionando, em questão de horas, um grande alargamento nesse canal, fazendo com que a partir daí a lagoa ficasse permanentemente ligada ao mar, passando a funcionar como lagoa em regime de maré, ou seja, laguna. Com a entrada da água do mar e as interligações entre as lagoas, as mesmas tornaram-se lagunas de água salobra, uma espécie de braço de mar e desenvolveram fauna e flora características de ambiente transicional.

A partir desse acontecimento, o sistema passou a sofrer uma grande influência das marés, as quais causaram alterações significativas na dinâmica hídrica e sedimentar do mesmo, além de acarretar assoreamento na rede de drenagem. Além disso, o curso de água ficou invertido, mudando a sua direção, abandonando aos poucos o canal do rio Camurupim. O deságüe da água pela lagoa de Guaraíras foi facilitado pelo fato de sua desembocadura ter tido um alargamento de grande dimensão, chegando a medir aproximadamente 200 metros de largura, na época.

O desequilíbrio desencadeado pela ação antrópica de 1923, caracterizado pela retificação do canal, tem se refletido até os dias atuais.

Posteriormente, foram feitas obras para dragagem e retificação dos canais artificiais de Boqueirão e de Surubajá com o objetivo de manter a ligação entre as três lagunas (DINIZ, 2000), como também foi construída a barragem de Surubajá pelo DNOS em 1962. De acordo com Carvalho (1982), a barragem de Surubajá tinha a finalidade de impedir o escoamento de água salgada para a laguna de Nísia Floresta, funcionando em um sistema de comportas que permitiria apenas o escoamento de água doce na baixa-mar. Tudo isso com vistas ao desenvolvimento da agricultura da região. Essa barragem causou alguns problemas como a diminuição do espelho d'água das lagunas a montante, uma maior deposição de sedimentos de granulação fina nessas lagunas, além da diminuição da salinidade comprometendo os ecossistemas anteriormente instalados.

Com uma nova enchente no ano de 1974, o complexo sofreu mais alterações. Uma delas foi o alargamento do rio Trairí que de acordo com Carvalho (1982) “perdeu o seu vale original e interligou-se ao rio Araraí, provocando um forte assoreamento no seu talvegue”. A outra foi o arrombamento parcial da barragem de Surubajá que aumentou a influência da maré nos canais e lagunas à montante.

Outras modificações vêm ocorrendo mais recentemente, e de forma significativa, como a instalação de viveiros de camarão ou cultura de camarão (carcinicultura), nas margens das três lagunas, especialmente na laguna de Nísia Floresta, mudando o escoamento natural da rede de drenagem.

Além de todas as mudanças ocorridas, observa-se, portanto, ao longo do tempo, modificações sofridas no contorno das lagunas no que se refere a sua posição, especialmente na de Guaraíras. Isso tem ocorrido devido as correntes provenientes principalmente da preamar que vão arrastando os sedimentos que compõem a margem da laguna e fazendo com que essas margens recuem paulatinamente.

As modificações antrópicas têm causado alguns desequilíbrios nesse complexo estuarino-lagunar, principalmente no que se refere ao assoreamento do mesmo. Por outro lado, ao mesmo tempo em que isso tem acontecido, percebe-se que o sistema também tem procurado paulatinamente seu equilíbrio dinâmico, reação natural e típica de ambiente estuarino.

CAPÍTULO 3

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Generalidades

Neste capítulo faz-se uma apresentação genérica dos conteúdos que servem de embasamento para o desenvolvimento da pesquisa em questão. Para o conhecimento do meio físico é necessário estudar os recursos naturais nele existente: o solo, a água e o ar. Neste trabalho o enfoque é dado sobre o solo.

O solo é um dos recursos naturais fundamentais para a existência humana, inclusive para as suas atividades produtivas, sejam elas urbanas, industriais ou rurais. É nele onde se cultivam os alimentos, onde se constroem as edificações e toda a infra-estrutura. Na sua superfície e subsuperfície estão situados os mananciais. Dele depende a flora e a fauna. Enfim, o solo é imprescindível para a existência de vida no Planeta Terra.

O solo encontra-se sobre o substrato rochoso. De acordo com NBR 6502 da ABNT o solo é conceituado como “*material proveniente da decomposição das rochas pela ação de agentes físicos ou químicos, podendo ou não conter matéria orgânica*”.

Nos solos podem atuar permanentemente diversos processos que podem resultar na sua transformação e até mesmo na sua remoção.

Sendo o solo um recurso natural de tal importância, deve, portanto, ser investigado em detalhes, para que seja preservado. A forma inadequada de uso e ocupação do solo, incompatível com as suas características físicas e mecânicas, pode causar uma série de problemas de natureza ambiental.

O presente capítulo apresenta uma breve revisão da literatura sobre os assuntos relacionados ao tema da pesquisa. Não se trata, portanto, do estado da arte sobre esses temas e sim a identificação de bibliografias de referência que fornecem embasamento para o desenvolvimento das etapas posteriores. Inicialmente é apresentada uma síntese das metodologias empregadas no Brasil para o mapeamento geotécnico dos solos. Em seguida passa-se a descrição dos processos erosivos pluviais, fluviais e costeiros. Por fim, são descritos os tipos de movimentos de massas em encostas.

3.2 Metodologias de Mapeamento Geotécnico como ferramenta para o Planejamento Ambiental

3.2.1 Considerações iniciais

O mapeamento geotécnico é uma importante ferramenta para avaliar de forma preliminar as potencialidades e as limitações do meio físico.

Os documentos cartográficos que reúnem as informações pertinentes a um ou mais aspectos do meio ambiente são denominados genericamente de mapas e cartas. Entretanto, de acordo com Zuquette e Nakazawa (1998) o termo mapa deve ser utilizado para o documento que registra as informações (atributos) obtidas de um determinado aspecto do meio físico em questão, sem que sejam realizadas interpretações dessas informações. O termo carta deve ser empregado para documentos que apresentam as interpretações de informações contidas em mapas para uma finalidade específica. Apesar dessas definições conceituais, vários trabalhos apresentam os termos como sinônimos.

Os mapas geológicos procuram representar cartograficamente as várias feições das rochas incluindo os tipos de materiais presentes numa certa porção da superfície da terra. Os mapas geomorfológicos apresentam as formas de relevo e os mapas pedológicos mostram os diferentes tipos de solos. A interpretação de documentos tais como mapas geológicos, geomorfológicos e pedológicos, associados a dados de natureza geotécnica, consiste na essência do que se chama “mapeamento geotécnico”.

A Associação Internacional de Geologia de Engenharia define mapa geotécnico como sendo um tipo de mapa geológico que classifica e representa os componentes do ambiente geológico com vistas a sua utilização para todas as atividades de engenharia, planejamento, construção, exploração e preservação

ambiental (ZUQUETTE & NAKAZAWA, 1998). Zuquette (1987) definiu o mapeamento geotécnico como um processo que tem por finalidade básica levantar, caracterizar, classificar, avaliar e analisar os atributos que compõem o meio físico, sejam eles geológicos, hidrogeológicos, hidrológicos, dentre outros. Essas informações podem ser utilizadas para fins de engenharia, planejamento territorial, agronomia, saneamento e avaliações ambientais.

Os mapas geotécnicos também têm sido desenvolvidos com vistas a finalidades específicas tais como fundações, materiais de construção, erosão, estabilidade de encostas, áreas inundáveis, dentre outras.

Na visão de Zuquette & Gandolfi *apud* Pinheiro & Dias (1995), “o mapeamento geotécnico tem sido usado como uma ferramenta que ajuda a definir e a fiscalizar a ocupação territorial, estabelecendo unidades geotécnicas e estudando o comportamento dos perfis de solos”.

Há diversas metodologias estrangeiras para elaboração de mapeamento, das quais podem ser citadas a francesa, a australiana e a da IAEG – International Association for Engineering Geology and the Environment. Algumas metodologias são específicas para problemas de estabilidade de encostas como a ZERMOS (Zonas Expostas a Riscos de Movimento de Solos), aplicada na França, ou ainda para determinadas condições ambientais como a Metodologia GASP (Geotechnical Area Studies Programme). Esta consiste em um sistema de avaliação do terreno, específico para as condições do meio físico de Hong Kong. Serão apresentadas aqui

as metodologias que estão sendo utilizadas no território brasileiro, pois essas foram desenvolvidas para aplicação em regiões de climas tropicais e subtropicais.

Diversos grupos de institutos e de universidades brasileiras vêm atuando e desenvolvendo pesquisas nessa área de mapeamento e cartografia geotécnica, tais como: a Divisão de Geologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), o Instituto Geológico de São Paulo (IG/SP), o Departamento de Geologia da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/SP), o Departamento de Geologia do Instituto Geológico da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IG/UFRJ), o Departamento de Geotecnia da Universidade de Brasília (UnB/DF), os Departamentos de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS/RS), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC/SC), da Universidade Federal do Paraná (UFPR/PR), da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE/PE), da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG/MG) e da Universidade Federal de Alagoas (UFAL/AL), dentre outros.

Aborda-se, porém, nesse item as metodologias de cartografia geotécnica mais conhecidas no Brasil.

3.2.2 Metodologia da UFRGS

Essa metodologia utiliza-se da geologia e da pedologia para caracterizar os solos e classificá-los geotecnicamente, visando fornecer subsídios para um

planejamento adequado, especialmente das zonas urbanas e das zonas em processo de expansão.

O resultado dessa metodologia é a elaboração de uma Carta de Unidades Geotécnicas definida a partir de uma compartimentação geológico-pedológica. A partir do cruzamento de dados pedológicos com geológicos (superposição da pedologia e a geologia), são estimadas “*zonas de ocorrência de solos com perfis de origem, características físicas e morfológicas e comportamento geotécnico semelhantes, que constituem as chamadas unidades geotécnicas*” (BASTOS & DIAS, 1995). A pedogênese é utilizada para estimar características dos solos dos horizontes A e B.

O método de trabalho divide-se em 3 etapas: estudo de escritório, investigação de campo e avaliação das características e propriedades geotécnicas dos materiais através de ensaios de laboratório.

No estudo de escritório são analisados os mapas de interesse, que podem ser geológicos e topográficos, além de dados de levantamentos de solos e todos os dados existentes da região.

Os locais de investigação são taludes naturais ou escavações e afloramentos do substrato rochoso na superfície. Nas investigações *in situ* “*são identificados perfis típicos de solos das unidades e problemas geotécnicos associados*” (DIAS *et al.*, 1996). Nessa etapa é que são detectados problemas como erosão, escorregamentos, assoreamentos etc.

A nomenclatura adotada é formada “*pela sigla do perfil pedológico predominante, acompanhada por um índice que indica o substrato geológico*” (DIAS *et al.*, 1996). A simbologia é dada por “XYZxyz”, sendo XYZ referente à classificação pedológica e “xyz” são identificadoras do substrato geológico. Na simbologia a classificação pedológica se refere aos horizontes superficiais e a geológica ao substrato rochoso.

Por fim, são realizados ensaios “*para caracterização geotécnica clássica e estudo das propriedades de engenharia dos solos que compõem os perfis típicos*” (BASTOS & DIAS, 1995), ou seja, é feita uma descrição dos perfis típicos existentes na unidade e do seu comportamento geotécnico. Nessa etapa são descritos: seqüência, espessura e forma de transição dos horizontes, textura, consistência, minerais principais, resquícios estruturais da rocha de origem, macroestrutura e condição de drenagem dos materiais. Os ensaios são feitos a partir de solos representativos da região em estudo.

3.2.3 Metodologia do IPT

Essa metodologia tem como objetivo identificar os fatores naturais e antrópicos que condicionam a problemas específicos no uso e ocupação do solo, como por exemplo a erosão. De acordo com Diniz & Freitas (1996) essa metodologia

“tem como eixo principal o estudo das características do meio físico e de sua ocupação, condicionantes destes problemas”.

O primeiro passo é o cadastramento das ocorrências e identificação dos problemas existentes na área em estudo. Essa fase pode ser feita com a ajuda de fotografias aéreas atualizadas.

A fase seguinte é um levantamento de campo, buscando identificar o comportamento diferenciado dos fatores geológicos, geomorfológicos e pedológicos, em relação ao solo analisado. Nessa fase, elaboram-se os mapas temáticos.

Em seguida, definem-se critérios de distinção de classes de suscetibilidade e de sensibilidade à ocupação do solo.

Por fim, é realizada uma análise integrada dos fatores mapeados, ou seja, *“análise dos dados levantados e integração dos fatores geológicos, geomorfológicos e pedológicos, com base nas hipóteses de correlação definidas”* (KERTZMAN *et al*, 1995).

O resultado é a elaboração de mapas geológicos, geomorfológicos e pedológicos, numa mesma escala. A principal contribuição dessa metodologia é a interpretação de dados com a finalidade de compartimentar unidades geotécnicas, com um objetivo específico.

3.2.4 Metodologia do IG/SP

Essa metodologia é usada para planejamento e avaliação do uso da terra. O objetivo principal é orientar políticas públicas e o planejamento territorial.

O mapeamento é baseado na análise integrada da geologia, da geomorfologia e da fragilidade do terreno. Analisam-se as aptidões do meio físico, ou seja, suas potencialidades e suas vulnerabilidades.

Utilizam-se duas abordagens diferenciadas: uma é a abordagem de Unidades Homogêneas e a outra é a de Tipos de Terrenos.

Primeiramente realiza-se a elaboração de mapas básicos ou descritivos. São realizados estudos básicos sobre geologia e geomorfologia, além de estudos aplicados sobre hidrogeologia, recursos minerais e geotecnia. Essa fase é denominada de “Inventário”.

A segunda fase é a elaboração de mapas interpretativos e mapa de síntese, fornecendo um diagnóstico do comportamento do meio relacionado às intervenções do homem. É realizado um “Diagnóstico” a partir desses mapas;

Em seguida, faz-se um “Prognóstico” com recomendações e diretrizes gerais e específicas para orientar a ocupação, dando subsídios para o planejamento de uso do solo;

Por último, é realizada a divulgação dos resultados à comunidade, sugerindo recomendações para o manejo dos recursos naturais disponíveis na região estudada.

O produto final é um Mapa de Diagnóstico do Meio Físico que é “*um instrumento de gestão territorial, na medida em que estabelece um zoneamento do território, separando e hierarquizando unidades, diferenciadas segundo critérios relativos ao meio físico*” (BROLLO *et al*, 1996).

3.2.5 Metodologia da EESC – Universidade de São Paulo (USP)

Essa metodologia de Cartografia Geotécnica utiliza-se de cartas com atributos do meio físico visando o planejamento regional ou local. Os atributos utilizados dependem do interesse do estudo. O resultado final é geralmente o mapeamento de unidades geotécnicas da área estudada.

Diversas técnicas e/ou métodos podem ser utilizados para se obter um mapeamento geotécnico de uma determinada área.

Uma técnica utilizada é a de Pejon & Zuquette (1995) onde foram listados atributos importantes para o planejamento regional e foram cruzadas as informações entre eles. Aqueles que possuíam relação com mais de 50% dos outros atributos

foram considerados fundamentais para estudo. Os atributos mais importantes estão no campo da Geologia, sendo o substrato rochoso aquele de maior destaque.

Para a elaboração de um mapeamento geotécnico regional Pejon & Zuquette (1995) desenvolveram um fluxograma onde o substrato rochoso, a geomorfologia, os materiais inconsolidados, as águas e a geodinâmica são componentes ou processos do meio físico. A partir desses componentes originam-se os *Mapas das Condições Geológico-geotécnicas*, os quais são considerados documentos básicos para a obtenção das *Cartas de Zoneamento Geotécnico*. Estas cartas podem ser divididas em cartas para uso geral ou para uso específico denominadas *Carta de Zoneamento Geotécnico Geral* e *Carta de Zoneamento Geotécnico Específico*. As mesmas são consideradas cartas derivadas ou interpretativas. Por fim elabora-se uma carta de previsão que é um prognóstico das condições do meio físico estudado.

Os mapas representam as características naturais do meio físico. Alguns exemplos de mapas analíticos são:

- mapa do substrato rochoso;
- mapa de materiais inconsolidados;
- mapa de landforms;
- mapa de processos geodinâmicos;
- carta de declividade.

Vários estudos práticos foram realizados baseados na metodologia da EESC, especialmente na região leste do Estado de São Paulo: Ribeirão Preto, Rio Claro, Folha de Cosmópolis dentre outros municípios. Um dos estudos foi desenvolvido

utilizando a Sobreposição de Atributos (GRUBER & RODRIGUES, 1995), que consiste em desenvolver mapas por atributo e em cada mapa utilizar numeração variando de 0 a 2 em cada unidade de atributo. Depois sobrepõem-se os mapas e somam-se as unidades, resultando, através de fórmula específica, num mapa final que representa as unidades geotécnicas da região.

Há também uma técnica que trata da associação entre as feições do relevo, também denominado de *landforms*, e os materiais do meio físico, que consiste na delimitação do primeiro e de sua interpretação em termos de materiais associados. Essa técnica de avaliação do terreno ou técnica de *Tipos de Terrenos* consiste em dividir a área em estudo em unidades cada vez menores a partir de fotografias aéreas e de trabalhos de campo, zoneando-se as parcelas uniformes do terreno. Como resultado, obtém-se a elaboração do *Mapa de Landforms* e do *Mapa de Condições Geotécnicas Gerais*.

Lollo & Zuquette (1996) sugerem a seguinte definição operacional para o termo *landform*:

porção do terreno originada a partir de processos naturais e distinguível das porções vizinhas (demais landforms) em pelo menos um dos seguintes elementos de identificação: forma e posição topográfica, frequência e organização dos canais, inclinação das vertentes e amplitude de relevo.

A abordagem de *Tipos de Terreno* preocupa-se em caracterizar as unidades do meio físico de maneira rápida e com baixo custo financeiro. “A *idéia é reduzir gastos e tempo*”, como cita Lollo & Zuquette (1996).

Existem outras técnicas baseadas na Metodologia da Escola de Engenharia de São Carlos utilizadas para criar mapeamentos geotécnicos, como, por exemplo, o método de aplicação da geofísica e o dos sistemas de geoprocessamento (SGI's).

3.3 Processos Erosivos

Os processos erosivos são causados por fatores naturais e por fatores humanos ou antrópicos. A ocupação humana causa desmatamento, gera cultivo da terra (agricultura), implantação de estradas (obras civis em geral e de infraestrutura), além de criação e expansão de vilas e cidades (urbanização). Tudo isso pode implicar em aceleração dos processos erosivos. Os fatores naturais que colaboram para os processos erosivos, após a deflagração oriunda da interação antrópica, são principalmente o regime pluviométrico, o relevo ou a declividade do terreno, os tipos de solos e a cobertura vegetal e a natureza do substrato rochoso.

Nesse processo existem dois tipos de agentes: os ativos e os passivos. Podem-se denominar de agentes ativos a água, a temperatura, o gelo, a insolação, os microorganismos e a ação humana. Entre os agentes passivos podem ser citados a topografia, o tipo de solo, a gravidade e a cobertura vegetal.

São apresentados, a seguir, três tipos diferentes de processos erosivos: a erosão pluvial, que ocorre devido a ação das águas de chuva; a erosão fluvial, deflagrada a partir da ação da água nas margens dos rios; e a erosão costeira, que

acontece devido a toda uma dinâmica de fluxo e refluxo de águas marinhas na zona costeira.

3.3.1 Erosão pluvial

A erosão pluvial é aquela erosão causada predominantemente pela ação das chuvas no solo, separando as partículas de sedimentos e degradando-o, como pode-se perceber na Figura 3.1. Alcântara & Vilar (1998) definem a erosão do solo causada pela ação da água de chuva como “*um conjunto de processos que resultam no destacamento e posterior transporte das partículas de solo*”.



FIGURA 3.1 – Impacto da água de chuva na superfície do solo (DAEE/IPT, 1989).

A erosão ocorre da seguinte forma: o solo desprotegido recebe o impacto direto de cada gota de chuva, desagregando suas partículas, ou seja, liberando em

primeiro lugar as partículas menores e mais soltas. Em seguida ocorre o escoamento superficial quando as gotas de chuva rapidamente se agregam, formando filetes de água com força suficiente para o arraste das partículas liberadas. Esses filetes de água podem escorrer lavando a superfície do terreno como um todo ou formando canais preferenciais.

Quando o escoamento da água lava o terreno como um todo formando uma lâmina uniforme, denomina-se erosão por escoamento laminar ou somente erosão laminar. Quando o escoamento forma filetes de água com canais definidos, denomina-se de erosão por escoamento concentrado ou erosão em sulcos. Esses dois tipos de erosões podem ser identificadas na Figura 3.2. A erosão em sulcos, por força de altos índices pluviométricos, provoca ravinas e pode causar numa intensidade ainda maior voçorocas, na medida que se aprofundar no terreno. Ravinas transformam-se em voçorocas ao interceptarem o lençol freático.

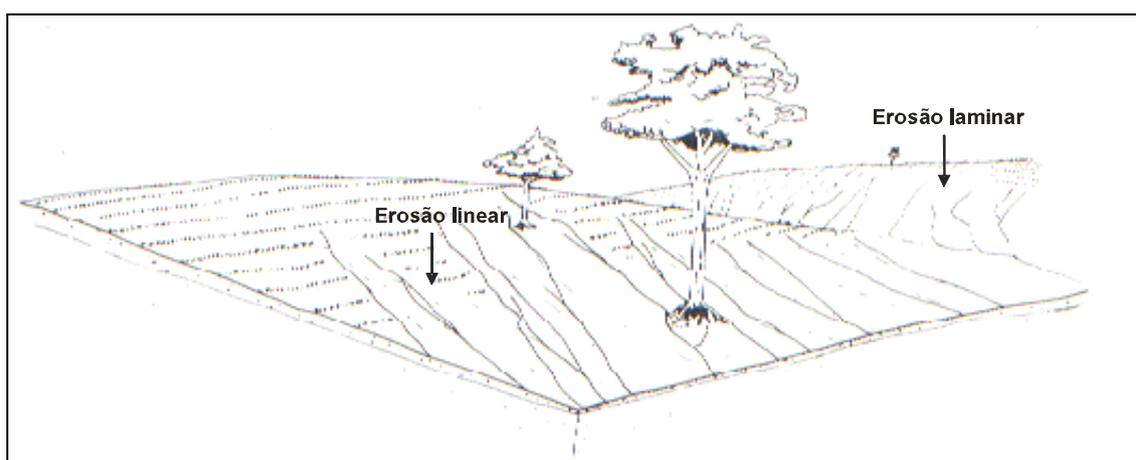


FIGURA 3.2 – Erosão por escoamento laminar e por escoamento concentrado, formando sulcos na superfície do terreno (DAEE/IPT, 1989).

Segundo Iwasa & Fendrich (1998) a erosão linear

corresponde à erosão que provoca graves problemas às áreas urbanas. (...) É o resultado das alterações do escoamento superficial, que o processo de urbanização causa pela concentração do fluxo das águas pluviais, resultando em incisões na superfície do terreno, em forma de sulcos, que podem evoluir, por aprofundamento, para ravinas.

Um exemplo desse processo linear na região em estudo, é mostrado na Figura 3.3.



FIGURA 3.3 – Processo erosivo linear na região formando sulcos.

Iwasa & Fendrich (1998) conceituam voçoroca ou boçoroca como processo que ocorre quando

a erosão se desenvolve por influência não somente das águas superficiais, mas também dos fluxos d'água subsuperficiais, em que se inclui o lençol freático, com o desenvolvimento de erosão interna regressiva (entubamento ou piping).

Porém, outros autores definem voçoroca em função da profundidade.

A equipe técnica do IPT cita de forma contundente que "*a expressão mais flagrante da erosão é a boçoroca: intensa, profunda e acelerada erosão que rasga a terra*" (DAEE/IPT, 1989).

Os sedimentos carregados, provenientes de erosão, depositam-se em parte nas vertentes, destruindo solos férteis, e parte atinge fundo de vales, assoreando cursos de água ou reservatórios superficiais. As principais conseqüências do assoreamento dos cursos d'água são a ocorrência de enchentes, perda de capacidade de armazenamento d'água nos reservatórios, incremento de poluentes químicos, além da geração de prejuízos à geração de energia e ao abastecimento.

Os principais fatores que condicionam aos fenômenos associados à erosões lineares profundas são os fatores naturais e os antrópicos. Focos de erosão podem ser iniciados especialmente em áreas onde existam precárias condições de infraestrutura, como também condições geológicas e/ou geomorfológicas adversas, ou em terrenos anteriormente já comprometidos por processos erosivos.

A erosão instaurada na maioria dos casos tem proveniência de ações relacionadas à ocupação humana, como bem descrevem Iwasa & Fendrich (1998):

o agravamento dos problemas erosivos está diretamente relacionado ao crescimento vertiginoso da população urbana, num processo de rápida urbanização, sem planejamento ou com projetos e práticas, de parcelamento do solo, inadequados e ineficientes.

3.3.2 Erosão fluvial

Os canais fluviais nascem no continente a partir de nascentes subterrâneas, lagos ou geleiras. Eles geralmente possuem uma grande declividade no seu início devido ao relevo. Sua declividade decresce gradativamente à medida em que o canal vai se dirigindo e se aproximando do mar, ou seja, de montante para jusante. Isso ocorre primordialmente pela ação direta da gravidade através da componente do peso da água na direção do declive. O melhor exemplo de um canal fluvial é um rio.

Os canais fluviais possuem diversos fenômenos peculiares, entre eles a influência do canal de maré e o transporte e deposição de sedimentos ao longo do seu percurso. Nesse ínterim, ocorre a erosão fluvial como um fenômeno dos mais importantes. Ela *“engloba os processos que resultam na retirada de detritos do fundo do leito e das margens, fazendo com que passem a integrar a carga sedimentar”* (CHRISTOFOLETTI, 1981).

De acordo com Christofolletti (1974) a erosão fluvial é realizada através dos seguintes processos:

- corrosão: *“Engloba todo e qualquer processo químico que se realiza como reação entre a água e as rochas superficiais que com ela estão em contato”.*;
- corrasão: *“É o desgaste pelo atrito mecânico, geralmente através do impacto das partículas carregadas pela*

água. A abrasão da superfície sobre a qual a água escoia é assinalada pelo suave polimento das rochas aflorantes no canal".;

➤ *evorsão: "Representa um tipo especial de corrosão, originada pelo movimento turbilhonar sobre as rochas do fundo do leito";*

➤ *cavitação: "Ocorre somente sob condições de velocidades elevadas da água, quando as variações de pressão sobre as paredes do canal facilitam as fragmentações das rochas".*

Diversas são as formas que podem causar um aumento da erosão fluvial. O desmatamento, ação provocada pelo homem, aumenta a taxa de erosão dos solos e a carga sedimentar nos rios. Essa alteração de carga sedimentar também ocorre quando do desflorestamento e retirada da mata ciliar ou da vegetação nas proximidades dos canais, assim como, quando há ocorrência de altos índices pluviométricos resultando em enchentes no decorrer desses canais fluviais e de seus afluentes (Figura 3.4).



FIGURA 3.4 – Bordas da Laguna de Nísia Floresta sofrendo erosão fluvial.

3.3.3 Erosão costeira

As regiões costeiras têm sido alvo de estudos e pesquisas mais recentemente, principalmente a partir da segunda metade do século XX. Isso se deve ao fato de que parte considerável da população no mundo inteiro imigrou, nesse período, após a Segunda Guerra Mundial, para as zonas costeiras. Devido a maior inserção do Homem nas regiões litorâneas, as modificações nesse ambiente foram inevitáveis, principalmente por causa da urbanização que demandou mudanças nas faixas de praias necessitando criar, portanto, estruturas de engenharia costeira.

Os processos erosivos são agentes modificadores da geomorfologia terrena. As modificações litorâneas são devidas especialmente à erosão marinha, porém os

processos erosivos fluviais de transporte de sedimentos também contribuem para as mudanças costeiras, desde que estejam interagindo com a costa através de um ambiente estuarino.

A linha de costa possui uma interação dinâmica com o mar: ela pode avançar, recuar ou permanecer estável. São diversos os fatores que contribuem para essa dinâmica: as ondas, os ventos, as marés dentre outros. Quando há recuo da linha de costa ocorre o que se chama de erosão costeira. A posição da linha de costa é afetada por um número muito grande de fatores, sendo alguns deles de origem natural e estão intrinsecamente relacionados à dinâmica costeira (balanço de sedimentos, variações do nível relativo do mar, dispersão de sedimentos, “storm surges”), e outros estão relacionados a intervenções humanas na zona costeira (obras de engenharia, represamento de rios, dragagens, construções etc.).

A erosão costeira está relacionada a um processo não-uniforme que atinge praias e penhascos costeiros. A erosão ocorre com facilidade em costas que possuem arenitos, argilas xistosas e rochas brandas. Já terrenos costeiros com rochas ígneas sólidas e densas, alguns tipos de rochas metamórficas e alguns tipos de calcário restringem o efeito da erosão. A orientação em que se encontra a rocha na região costeira também determina a maior ou menor eficácia do efeito dos agentes erosivos.

As praias naturais são formadas pela acumulação de sedimentos desagregados, principalmente areia, ao longo de toda a costa. Sua geomorfologia é o resultado de condições antecedentes e suprimento de sedimentos devido às

forças das ondas, marés, correntes e ventos. As praias são basicamente classificadas em praias continentais, praias com falésias e praias com barreiras. Mudanças climáticas intensas, flutuações sazonais e alguns perfis de praia contribuem para que a linha costeira tenha uma maior vulnerabilidade erosiva.

As ondas são um dos principais agentes de erosão na costa. A erosão ocorre principalmente pela pressão exercida pelo forte impacto delas e pela ação abrasiva das areias e fragmentos de rochas, os quais são arrastados pelas próprias ondas. Outro fator importante são as marés. As marés são originadas pela força de atração que a Lua e principalmente o Sol exercem sobre a Terra. Quando as forças de atração do Sol e da Lua agem no mesmo sentido, formam-se as grandes marés, e, quando se acham em oposição, as marés são menores. O nível do mar mais alto é denominado preamar e o mais baixo denomina-se baixa-mar. As águas das marés formam sulcos e canais, os quais podem formar correntes relativamente fortes capazes de remover e transportar grande quantidade de material. A influência das marés na esculturação litorânea relaciona-se com as variações do nível do mar que lhe são implicadas.

A influência das correntes, especialmente as de deriva litorânea, são importantes para compreender o transporte de sedimentos do litoral, como o recuo do mesmo devido a esse transporte. Também o vento possui a capacidade de gerar ondas e correntes além de edificar dunas costeiras juntamente com as marés, estabelecendo, assim, um padrão de circulação das águas marinhas nas zonas litorâneas e sublitorâneas.

Como pode-se perceber, há vários fatores naturais que são agentes geradores de erosão costeira. Porém, atualmente, o fator mais preocupante que tem gerado processos erosivos na costa é a intervenção humana. Portanto, a erosão costeira de praias e igualmente de penhascos, não é apenas um resultado de interações complexas de processos naturais é também produzida pelas ações do homem. Quando a concentração humana no litoral vem acompanhada por uma ocupação inadequada de áreas de dunas ou por medidas pontuais inadequadas na faixa de praia, como construção de obras de engenharia, então há uma grande probabilidade de ocorrer mudanças na dinâmica do litoral, inclusive erosão costeira. Na Figura 3.5 encontra-se ilustrada uma falésia nas proximidades da embocadura da laguna de Guaraíras sofrendo erosão costeira.



FIGURA 3.5 – Falésia sujeita à erosão costeira na embocadura do estuário.

Addad (1997) observa que algumas linhas de pesquisa atribuem a origem dos fenômenos de erosão costeira à elevação do nível do mar, o qual incrementou um volume das águas oceânicas. Geralmente são linhas de pesquisa americanas que lidam com o fato de que as praias americanas estão sendo erodidas devido a essa elevação do nível do mar causada pelo efeito estufa que elevou a temperatura do

globo terrestre e descongelou geleiras. Porém nos trópicos não é esse o fator preponderante para a ocorrência de erosão na costa.

Outras linhas de pesquisa afirmam que a interferência humana é o fator que mais contribui para esse tipo de erosão, devido à ocupação cada vez maior do solo nas proximidades do mar.

Há uma grande importância no conhecimento quantitativo das mudanças que ocorrem na linha de costa, pois elas são essenciais para se estabelecer políticas racionais que regulamentem o desenvolvimento da zona costeira.

A erosão costeira é um processo que faz parte do equilíbrio dinâmico da costa. Naturalmente, as forças atuantes no litoral transportam sedimentos que se encontram em excesso em áreas de retenção para locais onde estão com falta destes sedimentos. Quando há algum desequilíbrio, estes efeitos tornam-se maiores.

Muitas vezes os processos erosivos costeiros consistem na causa principal da construção de obras de proteção na zona costeira.

Em zonas costeiras além de ocorrerem os processos erosivos costeiros provenientes da ação marinha, podem ocorrer também processos erosivos devido à ação dos ventos ou erosão eólica como é mais comumente denominada. Ela é causada pela perda de coesão das partículas do solo e é provocada pelos ventos.

3.4 Movimentos de massas em encostas

Os movimentos de massas são movimentos coletivos de rochas e/ou de solos, mais comumente chamados de escorregamentos. Eles fazem parte da evolução morfológica da crosta terrestre.

Esses movimentos de massas ocorrem em encostas que são definidas por Cunha (1991) como *“um dos diferentes tipos de formas de terreno, originados pela ação de forças externas e internas, através de agentes geológicos, climáticos, biológicos e humanos que vêm, através dos tempos, esculpindo a superfície da Terra”*. As encostas são superfícies inclinadas podendo ser taludes naturais ou artificiais.

Há basicamente dois movimentos que regem a dinâmica das encostas: os processos de transporte de massa e os movimentos gravitacionais de massa. O processo de transporte de massa tem como meio transportador a água, o ar e o gelo, sendo que no nosso clima tropical predominam os processos transportados pela água, já descritos no Item 3.3.1, destacando-se:

- erosão laminar;
- erosão em sulcos ou ravinas;
- erosão em voçorocas.

Os movimentos gravitacionais de massa são classificados de diferentes formas, em função da geometria e/ou cinemática e/ou tipo de material destes processos. Genericamente, podem ser definidas quatro categorias principais:

- rastejos;
- escorregamentos;
- quedas/tombamentos;
- corridas de massa.

São utilizadas aqui as definições dos movimentos de massas oriundas dos estudos da equipe técnica do IPT (CUNHA, 1991):

Os rastejos são movimentos lentos, cujo deslocamento resultante ao longo do tempo é mínimo (poucos centímetros por ano), podendo ser contínuos ou pulsantes, estando associados a alterações climáticas sazonais (umedecimento e secagem). Este processo não apresenta superfície de ruptura bem definida (plano de movimentação), ou seja, os limites entre a massa em movimentação e o terreno estável são transicionais. Entretanto, os rastejos podem evoluir para outras formas de movimentos. O mecanismo desse tipo de movimento de massa é mostrado na Figura 3.6.

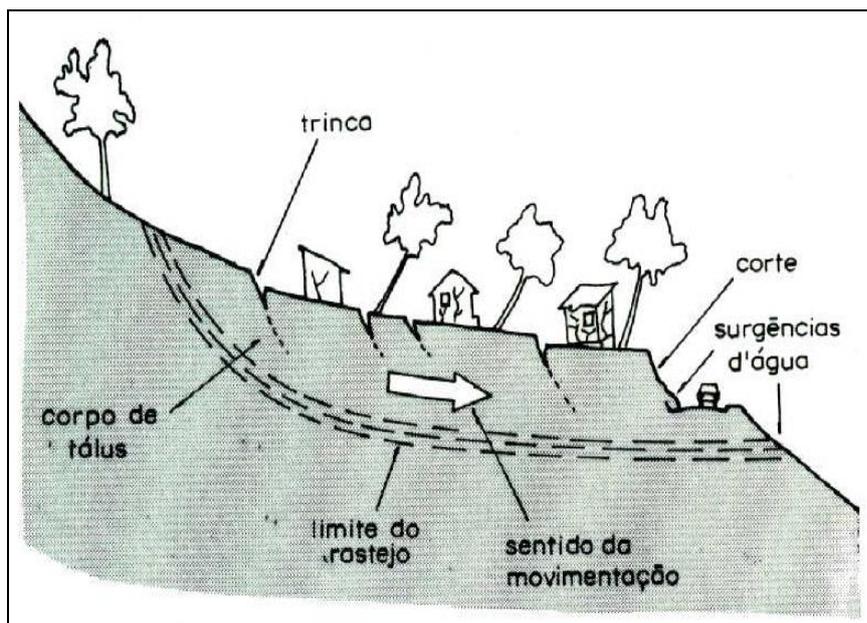


FIGURA 3.6 - Mecanismo do rastejo (CUNHA, 1991).

Os escorregamentos são processos marcantes na evolução das encostas, caracterizando-se por movimentos rápidos, limites laterais e profundidades bem definidos (superfície de ruptura). Eles podem movimentar solo, solo e rocha ou apenas rocha. Os escorregamentos são também denominados deslizamentos por alguns autores e seu mecanismo possui diversas configurações conforme mostrado na Figura 3.7.

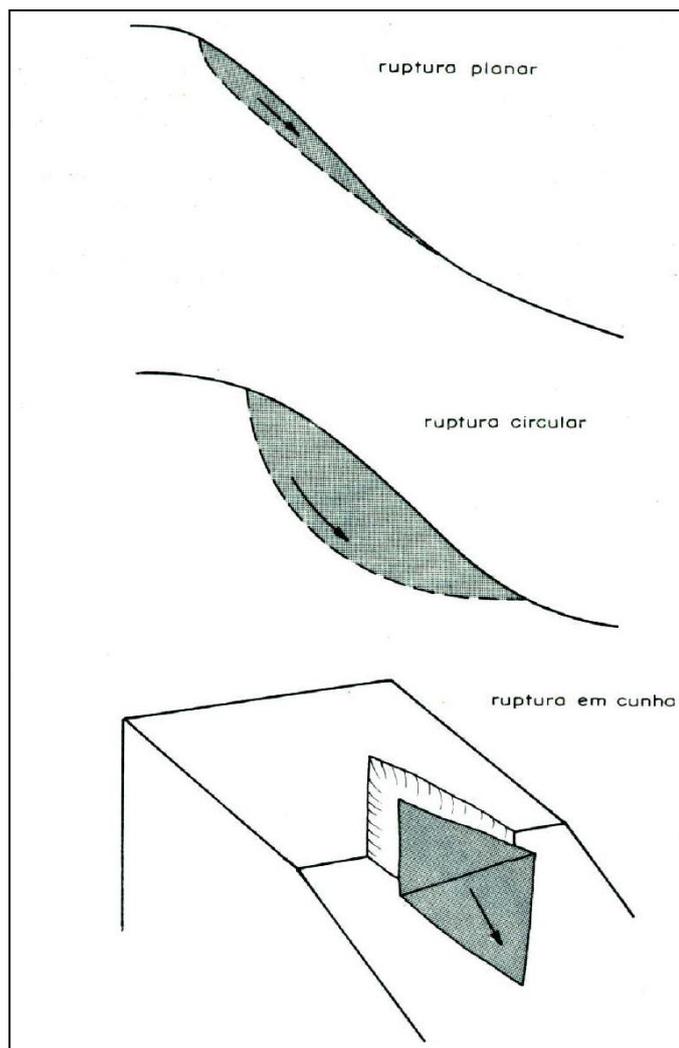


FIGURA 3.7 - Mecanismo do deslizamento (CUNHA, 1991).

Os movimentos tipo queda são extremamente rápidos (da ordem de m/s) e envolvem blocos e/ou lascas de rochas em movimento tipo queda livre.

Os tombamentos também conhecidos como movimentos de basculamento, acontecem em encostas/taludes íngremes de rocha, com descontinuidades (fraturas, diáclases) verticais. Os mecanismos de queda e tombamento são mostrados na Figura 3.8.

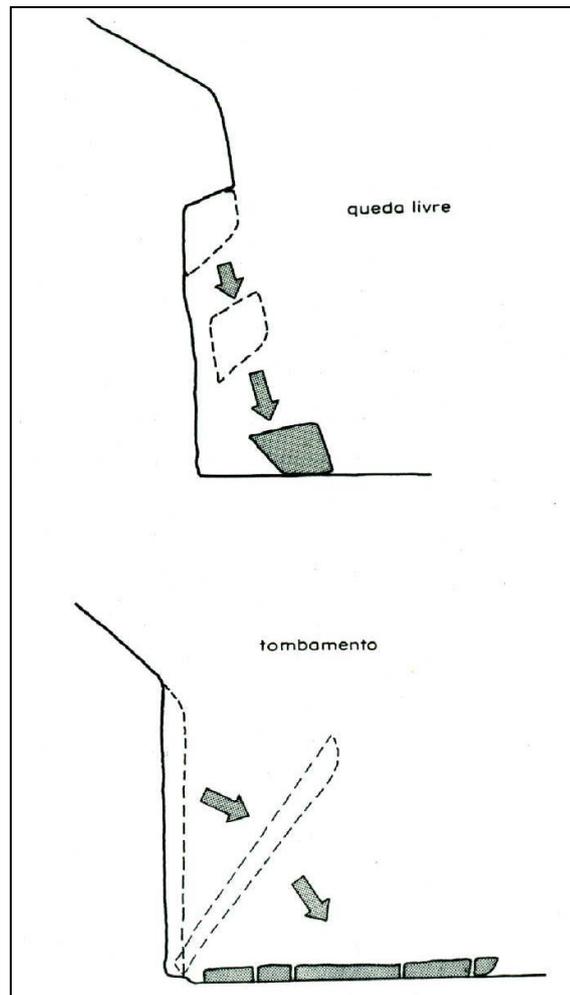


FIGURA 3.8 - Mecanismo de queda (CUNHA, 1991).

Os processos de corridas de massa são gerados a partir de um grande aporte de material para as drenagens, conforme mostrado na Figura 3.9. Este aporte, combinado com um determinado volume d'água, acaba formando uma massa com um comportamento de líquido viscoso, de alto poder destrutivo e de transporte, e extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

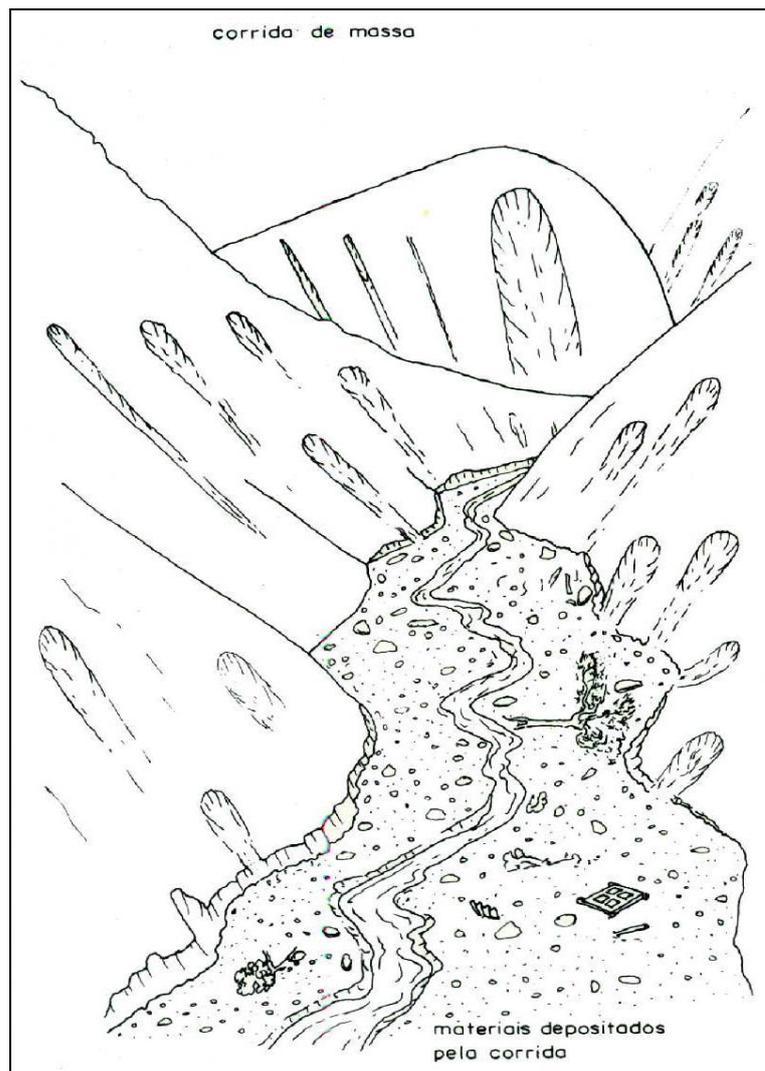


FIGURA 3.9 - Mecanismo da corrida (CUNHA, 1991).

A erosão em encostas ocupadas ocorre em função das atividades antrópicas geradas no local. Essas são conhecidas como erosões antrópicas. As principais causas para as instabilizações dessas encostas são a remoção da vegetação, a concentração de águas pluviais, a exposição de terrenos suscetíveis à erosão e a execução inadequada de aterro.

Geralmente constituem causas de instabilização de taludes o aumento de peso do talude (incluindo as cargas aplicadas), ou seja, o aumento nas tensões

cisalhantes que atuam na superfície potencial de ruptura e a diminuição ou perda da resistência ao cisalhamento do material que compõe o talude. As primeiras classificam-se como externas e as segundas, como internas.

Guidicini & Nieble (1983) dividem as causas em internas, externas e intermediárias dependendo de sua posição com relação ao talude, e as exemplifica:

- causas internas: são as que levam ao colapso sem que se verifique qualquer mudança nas condições geométricas do talude e que resultam de uma diminuição da resistência interna do material (aumento de pressão hidrostática, diminuição de coesão e ângulo de atrito interno por processo de alteração, efeito de oscilações térmicas);
- causas externas: são as que provocam um aumento das tensões de cisalhamento, sem que haja diminuição da resistência do material (aumento do declive do talude por processos naturais ou artificiais, deposição de material na porção superior do talude, abalos sísmicos e vibrações);
- causas intermediárias: que resultam de efeitos causados por agentes externos no interior do talude (liquefação espontânea, rebaixamento rápido do lençol freático, erosão subterrânea retrogressiva – “piping”, elevação do nível piezométrico em massas homogêneas, elevação da coluna de água em descontinuidades, diminuição do efeito de coesão aparente).

Sobre a instabilização de taludes Santos Jr (1996) esclarece:

Um aspecto em que parece haver consenso nos estudos realizados até o presente é que um dos principais agentes deflagradores dos processos de instabilização de taludes consiste nas precipitações pluviométricas de alta intensidade. Essas alteram o regime hidrogeológico do talude, elevando o nível de água, que por sua vez provoca o aumento das poro-pressões na superfície potencial de ruptura.

As condições para a ocorrência de instabilizações em locais de clima tropical são facilitadas, de acordo com Santos Jr (1996): *“Em regiões tropicais onde é comum a ocorrência de chuvas de grande intensidade, associadas a um profundo manto de intemperismo, as condições para a instabilização de encostas são otimizadas”.*

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA

4.1 Generalidades

A metodologia utilizada para o presente trabalho baseou-se em cinco etapas distintas: levantamento de dados existentes, reconhecimento de campo, coleta de amostras de sedimentos, realização de ensaios de laboratório e interpretação conjunta dos resultados obtidos.

4.2 Levantamento e estudo de dados existentes e de trabalhos anteriores

A primeira etapa consistiu em um levantamento de dados existentes, no qual foram obtidos estudos já realizados da região como dados cartográficos, dados pluviométricos, mapas e fotografias. Também foram pesquisados os assuntos concernentes à base teórica, além daqueles assuntos contíguos como obras de proteção costeira, ecologia de estuários, geomorfologia costeira e fluvial, sistemas estuarinos, sistemas fluviais dentre outros, os quais foram também relevantes para fundamentar o presente trabalho.

4.3 Trabalhos de campo

Nos trabalhos de campo foram realizadas várias etapas distintas e importantes para um maior conhecimento da área em estudo. Inicialmente foi feito um trabalho de reconhecimento de campo mais superficial, com o objetivo de delimitar a área a ser estudada. Posteriormente, foram realizadas outras visitas para:

- identificação das unidades geológicas e geomorfológicas indicadas nos trabalhos anteriores;
- identificação de locais com processos erosivos e movimentos de massas (passivos ambientais);
- seleção e coleta de amostras para ensaios de laboratório.

Em suma, o trabalho de campo consistiu basicamente em reconhecimento do local, visita ao Complexo Estuarino-lagunar Nísia Floresta-Papeba-Guaraíras e seu entorno, investigação de processos físicos existentes e coleta de amostras de solos, visando a identificação no local da real dimensão das alterações sofridas pelo sistema e dos processos atuantes na região, sejam eles erosivos, de movimentos de massas ou de assoreamento nos corpos d'água.

Realizaram-se várias campanhas de campo para coleta de sedimentos, observações e registro através de fotografias: no mês de novembro de 2000, nos meses de abril, maio e julho de 2001, nos meses de março, maio e outubro de 2002.

4.4 Coleta de amostras

No que diz respeito ao procedimento para a coleta de amostras, utilizou-se o procedimento padrão para amostras deformadas. As amostras foram coletadas em camadas superficiais e de encostas com ferramentas manuais como pá e picareta, e coletadas em camadas de solos subsuperficiais através de trado manual formando furos de até 5m no terreno. Em seguida, essas amostras foram devidamente colocadas em sacos plásticos e identificadas para posterior deslocamento para o laboratório. Os locais das amostras foram identificados através de GPS. Na seqüência, foi realizada uma programação para o ensaio das mesmas no Laboratório de Mecânica dos Solos do Departamento de Engenharia Civil da UFRN.

Em relação aos locais das amostras coletadas eles foram escolhidos pelo critério representativo, ou seja, optou-se por selecionar os solos que representassem cada feição geomorfológica, em suas diversas camadas. Dessa forma, colheu-se sedimentos em tabuleiros, em encostas, em vales fluviais, em planícies e em dunas, ou seja, foram colhidas amostras dentre todas as configurações físicas presentes, representando assim a região como um todo.

O cronograma das campanhas foi realizado da seguinte forma:

- a Campanha 1 foi realizada em 24/05/2001, onde foi feita coleta por toda a região;

- a Campanha 2 foi realizada em 30/04/2002, e a coleta foi feita a trado manual em 8 furos em aluviões;
- a Campanha 3 foi realizada em 03/05/2002, onde novamente foi feita coleta por toda a região;
- a Campanha 4 foi realizada em 07/05/2002, onde foram coletadas amostras em tabuleiros e em encostas, nos municípios de Ares, Goianinha e Tibau do Sul;
- a Campanha 5 foi realizada em 25/10/2002, onde foram coletadas amostras de praia e de dunas, na Praia de Malembá.

4.5 Realização dos ensaios

A quarta etapa consistiu na realização de ensaios para caracterização dos sedimentos adjacentes às lagunas, coletados nas campanhas. Os ensaios de laboratório foram realizados a partir de amostras deformadas, ou seja, sedimentos que não conservam a estrutura do solo “in situ”, nem a umidade do mesmo.

Foram utilizados os principais ensaios empregados para caracterização dos solos que são os de Análise Granulométrica, Limites de Atterberg e Peso Específico dos Sólidos. Estes ensaios, seus procedimentos e as Normas pelas quais são padronizados são mostrados com detalhes no Apêndice A.

O objetivo da caracterização dos solos dessa região é o de poder estimar o provável comportamento dos mesmos, com a finalidade de subsidiar e orientar um uso adequado do solo com base em dados geotécnicos. Após o encerramento dos ensaios os solos foram classificados pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), amplamente utilizado para estudos geotécnicos. A forma de classificação pelo SUCS é apresentada com detalhes no Apêndice B.

4.6 Interpretação conjunta de todos os dados

A última etapa consistiu na integração e na interpretação dos dados existentes, no qual as unidades geotécnicas homogêneas foram classificadas em sete distintas Unidades Geotécnicas, como também foram identificadas as áreas de degradação ambiental. Por fim, foi realizado um diagnóstico da situação atual do sistema juntamente com os seus processos atuantes. A partir da classificação dos solos através do SUCS e dos dados adquiridos da região foi construído um Mapa de Zoneamento Geotécnico Geral indicando as unidades geotécnicas dos solos da região.

Todas essas etapas são importantes para que se conheça o solo e suas propriedades pois o desconhecimento das propriedades do solo, da sua origem e especialmente do seu comportamento, podem resultar em graves danos para a sociedade devido o mau uso e ocupação do mesmo, além do dano ambiental e ecológico.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISES

5.1 Identificação e descrição dos solos estudados

Os sedimentos coletados foram identificados tátil e visualmente “in loco”, onde observou-se grandes variações nos seus aspectos físicos, especialmente na textura e na cor.

Nos Quadros 5.1 a 5.5 a seguir, são mostrados, respectivamente, os dados de campo das amostras das cinco campanhas realizadas. Esses quadros mostram a localização, a descrição tátil-visual realizada no momento de coleta, e a identificação das unidades geológicas e geomorfológicas referentes a cada ponto amostrado. As amostras foram identificadas por duas ou três letras, onde a letra C corresponde a campanha, F corresponde ao furo e A corresponde a amostra.

O mapa de pontos pode ser visualizado na Figura 5.1 que representa o mapa da região estudada com seus respectivos locais de coleta. Nesta figura foram marcados todos os pontos de coleta de sedimentos analisados em laboratório, das cinco campanhas. No total, foram coletadas 105 amostras.

Para chegar até os pontos de amostras coletadas, utilizaram-se rodovias estaduais, federais e algumas estradas vicinais. As rodovias estaduais utilizadas foram a RN-063 que liga a praia de Camurupim à cidade de Nísia Floresta, a RN-052, que liga a BR-101 a Senador Georgino Avelino, a RN-061 que liga a BR-101 a Arês e a RN-003 que liga Goianinha a Tibau do Sul. A única Rodovia Federal utilizada foi a BR-101, no trecho que liga São José do Mipibú a Goianinha.

QUADRO 5.1 - Coleta de amostras em toda a região das lagoas Nísia Floresta-Papeba-Guarairás, na 1ª campanha, em 24 de maio de 2001.

Amostras da Campanha 1	Descrição táctil-visual	Unidade Geomorfológica	Unidade Geológica	ESTE (Latitude)	NORTE (Longitude)
C1A1	Areia fina amarela.	Dunas Recentes	Sedimentos eólicos	265745	9327137
C1A2	Areia fina amarela.	Dunas Recentes		264339	9326452
C1A3	Areia fina amarela.	Dunas Antigas	Sedimentos eólicos	263707	9325313
C1A4	Areia fina vermelha.	Dunas Antigas		264320	9324157
C1A5	Areia fina marrom.	Interface Tabuleiro/ Vales aluviais	Formação Barreiras	262995	9323389
C1A6	Areia argilosa vermelho, amarela e cinza.	Interface Tabuleiro/ Vales aluviais		263733	9323386
C1A7	Areia rósea e branca.	Interface Tabuleiro/ Vales aluviais		260617	9324243
C1A8	Areia amarela, vermelha e branca.	Interface Tabuleiro/ Vales aluviais		258726	9324835
C1A9	Areia fina cinza.	Vales aluviais	Depósitos flúvio-lacustrinos	254437	9326677
C1A 10	Areia cinza escura.	Vales aluviais		252648	9326387
C1A 11	Silte argiloso plástico cinza escuro.	Vales aluviais		252677	9325151
C1A 12	Areia fina amarela.	Vales aluviais		252735	9323978
C1A 13	Areia vermelha.	Interface Tabuleiro/ Vales aluviais	Formação Barreiras	253201	9322812
C1A 14	Areia siltosa amarela e vermelha.	Vales aluviais		Depósitos flúvio-lacustrinos	254589
C1A 15	Areia marrom.	Vales aluviais	254690		9309448
C1A 16	Areia argilosa cinza.	Vales aluviais	256954		9307663
C1A 17	Areia siltosa cinza.	Vales aluviais	258605		9309190
C1A 18	Areia siltosa cinza.	Vales aluviais	259814		9309856
C1A 19	Areia argilosa variegada de vermelho, amarela e cinza.	Interface Tabuleiro/ Vales aluviais	Formação Barreiras		260050
C1A 20	Areia argilosa vermelha.	Interface Tabuleiro/ Vales aluviais		259173	9308778
C1A 21	Areia argilosa vermelha.	Interface Tabuleiro/ Vales aluviais		262489	9310611
C1A 22	Areia argilosa vermelha.	Interface Tabuleiro/ Vales aluviais		265245	9312137
C1A 23	Areia argilosa vermelha.	Interface Tabuleiro/ Vales aluviais		267390	9313952
C1A 24	Areia amarela.	Interface Tabuleiro/ Vales aluviais		Sedimentos eólicos	268315
C1A 25	Areia vermelha.	Interface Tabuleiro/ Vales aluviais	268266		9315707

QUADRO 5.2 - Coleta de amostras com sondagem a trado nos aluviões dos rios Trairi, Ararai e Jacu I e II, na 2ª campanha, em 30 de abril de 2002.

Furo	Amostras da Campanha 2	Descrição táctil-visual	Unidade Geomorfológica	Unidade Geológica	ESTE (Latitude)	NORTE (Longitude)
1	C2F1A1	Argila e areia grossa c/ manchas amarelas. 0-0,5m.	Vales aluviais	Depósitos flúvio-lacustrinos	252678	9327103
	C2F1A 2	Argila com areia grossa amarela. 0,5 – 1,0m.				
	C2F1A 3	Areia com argila cinza. 1,0 – 1,5m.				
	C2F1A 4	Argila variegada de cinza e marrom. 1,5 - 2,0m.				
	C2F1A 5	Silte argiloso cinza. 2,0 – 3,0m.				
2	C2F2A1	Areia siltosa cinza escura. 0 - 0,5m.	Vales aluviais	Depósitos flúvio-lacustrinos	252701	9326374
	C2F2A2	Areia argilosa amarelada. 0,5 – 1,0m.				
	C2F2A3	Areia branca. 1,0 – 1,5m.				
	C2F2A4	Silte branco com manchas escuras. 1,5 - 2,5m. Impenetrável a trado.				
3	C2F3A1	Argila marrom escura micácea. 0 - 0,8m.	Vales aluviais	Depósitos flúvio-lacustrinos	252670	9324792
	C2F3A2	Argila marrom escura micácea. 0,8 – 1,8m.				
	C2F3A3	Silte plástico cinza escuro. 1,8 – 2,5m.				
	C2F3A4	Silte plástico cinza escuro. 2,5 – 3,0m.				
	C2F3A5	Areia fina amarela e cinza. 3,0 – 3,8m. NA = 3,8 m				
4	C2F4A1	Areia siltosa amarela e vermelha.	Vales aluviais	Depósitos flúvio-lacustrinos	252726	9323993
	C2F4A1-A	Areia siltosa amarela e vermelha. 0 - 0,5m.				
	C2F4A2-A	Areia fina amarela e cinza. 0,5 – 1,40m.				
	C2F4A3-A	Areia siltosa cinza escura. 1,40 – 1,50m.				
5	C2F5A1	Silte plástico cinza escuro. Final do furo no Barreiras. 0 - 0,8m. NA = 0,8 m.	Vales aluviais	Depósitos flúvio-lacustrinos	256358	9322357
6	C2F6A1	Areia siltosa cinza escura.	Vales aluviais	Depósitos flúvio-lacustrinos	256109	9323895
7	C2F7A1	Areia marrom. 0 - 0,8m.	Vales aluviais	Depósitos flúvio-lacustrinos	254692	9309636
	C2F7A2	Areia marrom. 0,8 – 2,0m.				
	C2F7A3	Areia siltosa marrom e cinza. 2,0 – 2,5m.				
	C2F7A4	Areia siltosa cinza escura 2,5 – 2,7m. Impenetrável ao trado.				
8	C2F8A1	Areia argilosa cinza. 0 - 0,2m.	Vales aluviais	Depósitos flúvio-lacustrinos	255105	9307854
	C2F8A 2	Areia argilosa cinza. 0,2 – 0,5m.				
	C2F8A 3	Areia argilosa cinza. 0,5 – 0,8m.				
	C2F8A 4	Areia argilosa amarela. 0,8 – 1,3m.				
	C2F8A 5	Areia argilosa amarela. 1,3 - 1,5m.				
	C2F8A 6	Areia siltosa amarela. 1,5 - 1,9m.				
	C2F8A 7	Areia siltosa amarela. 1,9 – 2,2m.				
	C2F8A 8	Areia siltosa fina e amarela. 2,3 – 3,5m.				
	C2F8A 9	Areia siltosa marrom e cinza. 3,5 – 4,0m. NA = 4,0m.				

QUADRO 5.3 - Coleta de amostras em São José do Mipibú, Nísia Floresta e Senador Georgino Avelino, na 3ª campanha, em 03 de maio de 2002.

Furo	Amostras da Campanha 3	Descrição táctil-visual	Unidade Geomorfológica	Unidade Geológica	ESTE (Latitude)	NORTE (Longitude)
1	C3A1	Areia fina amarela avermelhada	Dunas Antigas	Sedimentos eólicos	264212	9324371
2	C3A2	Areia fina e média vermelha	Dunas Antigas		263793	9323619
3	C3A3	Areia cinza escura	Vales aluviais	Depósitos flúvio-lacustrinos	262705	9323456
4	C3A4	Areia vermelha com manchas amarelas	Interface Tabuleiro/ Vales aluviais	Formação Barreiras	262234	9323367
5	C3F5AA	Areia cinza escura. 0,0 – 0,6m.	Dunas Antigas	Sedimentos eólicos	261499	9323666
	C3F5AB	Areia marrom. 0,6 – 1,0m.				
	C3F5AC	Areia amarela e marrom. 1,0 – 1,4m.				
	C3F5AD	Areia argilosa vermelha c/ manchas amarelas. 1,4 – 2,0m.				
	C3F5AE	Argila vermelha com manchas amarelas. 2,0 – 2,5m. NA = 2,5m.				
6	C3A6	Areia branca c/ traços amarelos e vermelhos.	Interface Tabuleiro/ Vales aluviais	Formação Barreiras	260606	9324242
7	C3A7	Areia argilosa variegada de vermelha, amarela, branca e rósea c/ manchas amareladas e seixos .	Interface Tabuleiro/ Vales aluviais		258693	9324805
8	C3A8	Areia argilosa vermelha c/ manchas amarelas	Interface Tabuleiro/ Vales aluviais		254731	9322518
9	C3A9A	Argila variegada c/ manchas vermelhas e amarelas.	Interface Tabuleiro/ Vales aluviais	Formação Barreiras	258963	9321615
	C3A9B	Argila variegada c/ manchas brancas, amarelas e vermelhas..				
	C3A9C	Argila variegada c/ manchas amarelas, vermelhas e marrons.				
10	C3F10AA	Areia cinza escura. 0,0 – 1,5m.	Vales aluviais	Depósitos flúvio-lacustrinos	261696	9321141
	C3F10AB	Areia amarela. 1,5 – 2,5m.				
	C3F10AC	Areia branca. 2,5 – 2,8m.				
	C3F10AD	Areia amarela-avermelhada. 2,8 – 3,0m.				
	C3F10AE	Areia branca c/ pouca argila. 3,0 – 3,2m.				
11	C3A11	Argila variegada c/ manchas amarelas e vermelhas e blocos laterizados imersos na massa de sedimentos.	Interface Tabuleiro/ Vales aluviais	Formação Barreiras	263877	9315570
12	C3F12AA	Areia siltosa amarela e vermelha. 0,0 – 1,0m.	Tabuleiro	Formação Barreiras	253604	9319039
	C3F12AB	Areia siltosa amarela e vermelha. 1,0 – 2,0m.				
	C3F12AC	Areia argilosa vermelha c/ manchas amarelas. 2,0 – 3,0m.				
	C3F12AD	Areia branca c/ traços amarelos e vermelhos. 3,0 – 3,2m.				

QUADRO 5.4 - Coleta de amostras em Arês, Goianinha e Tibau do Sul, na 4ª campanha, em 07 de maio de 2002.

Furo	Amostras da Campanha 4	Descrição táctil-visual	Unidade Geomorfológica	Unidade Geológica	ESTE (Latitude)	NORTE (Longitude)
1	C4F1A1	Argila em tons de amarelo e branco.	Interface Tabuleiro/ Vales aluviais	Formação Barreiras	253139	9323246
	C4F1A2	Argila vermelha-amarelada.	Interface Tabuleiro/ Vales aluviais		252994	9323380
2	C4F2AA	Areia marrom. 0,0 – 1,0m.	Tabuleiro	Formação Barreiras	254692	9311886
	C4F2AB	Areia marrom clara. 1,0 – 2,0m.				
	C4F2AC	Areia marrom avermelhada. 2,0 – 3,0m.				
	C4F2AD	Areia marrom e vermelho intenso. Início da Formação Barreiras. 3,0 – 3,3m.				
	C4F2AE	Areia marrom avermelhada intenso. 3,3 – 4,0m.				
	C4F2AF	Areia marrom avermelhada intenso, porém mais úmida. 4,0 – 4,8m.				
3	C4A3	Argila variegada de vermelho, amarelo e branco.	Interface Tabuleiro/ Vales aluviais	Formação Barreiras	262480	9310614
4	C4A4	Argila variegada de vermelho, amarelo e branco.	Interface Tabuleiro/ Vales aluviais	Formação Barreiras	265201	9312006
5	C4A5	Areia marrom acinzentada.	Interface Tabuleiro/ Vales aluviais	Formação Barreiras	266962	9312678
6	C4A6	Argila bastante consistente variegada de vermelho, amarelo e cinza.	Interface Tabuleiro/ Vales aluviais	Formação Barreiras	268073	9315472
7	C4A7	Argila variegada de vermelho, amarelo e branco c/ pedregulhos.	Interface Tabuleiro/ Vales aluviais	Formação Barreiras	257426	9306896

QUADRO 5.5 - Coleta de amostras na praia de Malembá, na 5ª campanha, em 25 de outubro de 2002.

Amostras da Campanha 5	Descrição táctil-visual	Unidade Geomorfológica	Unidade Geológica	ESTE (Latitude)	NORTE (Longitude)
C5A1	Areia fina amarela	Dunas Recentes	Sedimentos eólicos	267814	9317343
C5A 2	Areia fina amarela	Dunas Recentes	Sedimentos eólicos	267778	9317409
C5A 3	Areia fina amarela	Dunas Recentes	Sedimentos eólicos	267678	9317503
C5A 4	Areia fina amarela	Dunas Recentes	Sedimentos eólicos	267508	9317632
C5A 5	Areia fina amarela	Dunas Recentes	Sedimentos eólicos	267349	9317759
C5A 6	Areia fina amarela	Dunas Recentes	Sedimentos eólicos	267297	9317770
C5A 7	Areia fina amarela	Praia	Sedimentos praiais	268023	9317109
C5A 8	Areia fina amarela	Praia	Sedimentos praiais	268031	9316747
C5A 9	Areia fina amarela	Praia	Sedimentos praiais	268108	9316356
C5A 10	Areia fina amarela	Praia	Sedimentos praiais	268108	9316356

A análise dos Quadros 5.1 a 5.5 mostra que as amostras de Dunas Recentes (sedimentos eólicos) e da Praia (sedimentos praiais) foram descritas como areia fina amarela. As Dunas Antigas são formadas por areia fina vermelha. Os Tabuleiros e as regiões que fazem interface entre os tabuleiros e os Vales Aluviais são formados pelos sedimentos da Formação Barreiras, os quais consistem de areias argilosas com cores variegadas (vermelha, marrom, rósea, amarela, branca e cinza). Os sedimentos dos Vales Aluviais consistem em solos heterogêneos com cores e texturas variadas, sendo as areias cinzas o tipo de sedimento predominante.

5.2 Caracterização Geotécnica e Zoneamento Geotécnico

A caracterização das unidades geotécnicas e a elaboração do mapeamento geotécnico regional foram estabelecidas a partir de metodologias de mapeamento geotécnico. Os principais atributos do meio físico utilizados para a construção desse mapeamento foram a geologia, a geomorfologia e a pedologia. Pelo fato de utilizar a pedologia e por ser a área estudada uma região em expansão, percebe-se algumas identificações com a metodologia utilizada na UFRGS. Outras identificações ocorrem com a metodologia utilizada pela EESC/USP, principalmente no se refere aos atributos, onde os mais importantes estão no campo da geologia, e ao mapa interpretativo como resultado final. Devido à estas semelhanças, consideramos, portanto, o produto final como sendo um Mapa de Zoneamento Geotécnico Geral (MZGG). Enfim, não foi escolhida uma metodologia específica para a aplicação na região de estudo, porém, considerou-se nuances das várias metodologias apresentadas no Capítulo 3 para a formação do mapeamento geotécnico final.

As Unidades Geotécnicas e o Mapa de Zoneamento Geotécnico Geral foram definidos a partir da interpretação de mapas existentes de relevo, geológico, geomorfológico e pedológico da região, agregadas às informações e dados de campo e de laboratório. A base fundamental para a classificação dessas unidades geotécnicas foram os dados geomorfológicos da área. O principal mapa utilizado para a construção deste mapeamento foi o Mapa Geológico-Geomorfológico de Amaral (2000) apresentado na Figura 2.4, de onde foram extrapolados os dados geomorfológicos, extrapolação essa que alcançou a Rodovia Federal BR-101 nas proximidades de São José do Mipibú. Esse trabalho faz parte dos relatórios internos do Laboratório de Solos da UFRN.

Na Figura 5.2 apresenta-se o Mapa de Zoneamento Geotécnico Geral, no qual identificam-se as sete Unidades Geotécnicas definidas: Dunas, Planície Costeira, Planície de Deflação, Terraço, Tabuleiro, Vertentes e Aluvião. A atribuição destes nomes para as unidades geotécnicas originou-se, especialmente, das unidades geomorfológicas. A área estudada forma um quadrilátero com área aproximada de 290 Km² ou 29.000 hectares. Este mapa foi elaborado e interpretado com base no conhecimento pré-existente da região e tem por finalidade a caracterização e a classificação dos atributos que compõem o meio físico, para que essas informações sejam utilizadas para fins de engenharia, planejamento territorial e avaliações ambientais.

São apresentadas, a seguir, a classificação e a caracterização de cada Unidade Geotécnica definida.

5.2.1 Unidade Geotécnica 1 – Dunas

A Unidade Geotécnica 1 equivale aos sedimentos de Dunas. Estes sedimentos encontram-se localizados nas Dunas Parabólicas Vegetadas (Dunas Fixas) e nas Dunas Parabólicas Não-Vegetadas (Dunas Móveis), como pode ser observado no Mapa de Zoneamento Geotécnico Geral na Figura 5.2.

Na Tabela 5.1 são apresentados os dados de granulometria, índices de consistência e densidade das amostras desta unidade.

TABELA 5.1 – Tabela-Resumo dos dados de Laboratório da Unidade Geotécnica de Dunas.

Amostra N°	Granulometria (%)					Limites de Consistência		Densidade Real Média (Gs)	Classificação SUCS	
	Argila	Silte	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Pedregulho	LL (%)			IP (%)
C1A1	2,2		90,7	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,636	SP
C1A2	1,9		95,6	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,620	SP
C5A1	2,2		83,5	12,0	2,3	0,0	0,0	0,0	2,645	SP
C5A2	1,1		54,7	41,9	2,3	0,0	0,0	0,0	2,665	SP
C5A3	0,7		51,5	45,6	2,3	0,0	0,0	0,0	2,682	SP
C5A4	0,9		47,5	49,3	2,3	0,0	0,0	0,0	2,660	SP
C5A5	0,7		62,8	34,2	2,3	0,0	0,0	0,0	2,675	SP
C5A6	0,8		91,3	5,6	2,3	0,0	0,0	0,0	2,676	SP

Os solos encontrados foram areias mal-graduadas (SP), de coloração variando de amarelada a esbranquiçada, como pode ser visto na Figura 5.3. Sua geologia é proveniente do Cenozóico Quaternário, compreendendo os Depósitos Arenosos de Dunas Antigas (Qpd) como também os Depósitos Arenosos de Dunas Recentes (Qdm), de acordo com a Figura 2.3.

Esses depósitos de sedimentos de areia mal-graduada estão dispostos no mesmo sentido da direção predominante dos ventos da região, ou seja, ventos provenientes do sudeste. Eles são constituídos basicamente de areias médias e finas, predominando as areias finas com porcentagem variando de 51% a 95%. Não

contêm pedregulhos e o percentual de finos (silte mais argila) não ultrapassa 2%, sendo, portanto, de valor irrisório. A densidade real varia de 2,62 a 2,68.

O vento é o principal agente físico atuante nesses sedimentos, o qual pode provocar, através do transporte de materiais, modificações nas feições morfológicas - causando relevos movimentados e erosões do tipo eólica em partes vulneráveis dessa unidade morfológica.

Dentro da região em estudo, a Unidade Geotécnica 1 – Dunas, faz interface com a Planície Costeira à leste, com o vale flúvio-marinho do Complexo Estuarino-Lagunar à sudoeste, e ao norte é cortada pelo vale abandonado do rio Camurupim.



FIGURA 5.3 – Unidade geotécnica 1 – Dunas.

Em termos de Pedologia, de acordo com a Figura 2.5 do relatório do Projeto RadamBrasil (1981), os sedimentos de dunas são identificados como areias quartzosas marinhas distróficas (Amd6) em um relevo que varia de plano a ondulado, podendo ser também suavemente ondulado.

Geomorfologicamente, esses sedimentos são depósitos eólicos de origem marinha ou continental, remodelados pelo vento, podendo ser fixados pela vegetação, e isto ocorre no caso das dunas antigas, também denominadas dunas fixas. Essas dunas chegam a uma altitude de até 30 metros.

Observa-se da Figura 5.4 que as curvas granulométricas dos sedimentos de Dunas, os quais foram classificados todos como SP, possuem predominância de materiais arenosos finos e acompanham um mesmo padrão de curvatura. O coeficiente de curvatura - CC variou de 0,89 a 1,31, e o coeficiente de não-uniformidade - CNU variou de 1,41 a 2,42, demonstrando uniformidade dos grãos.

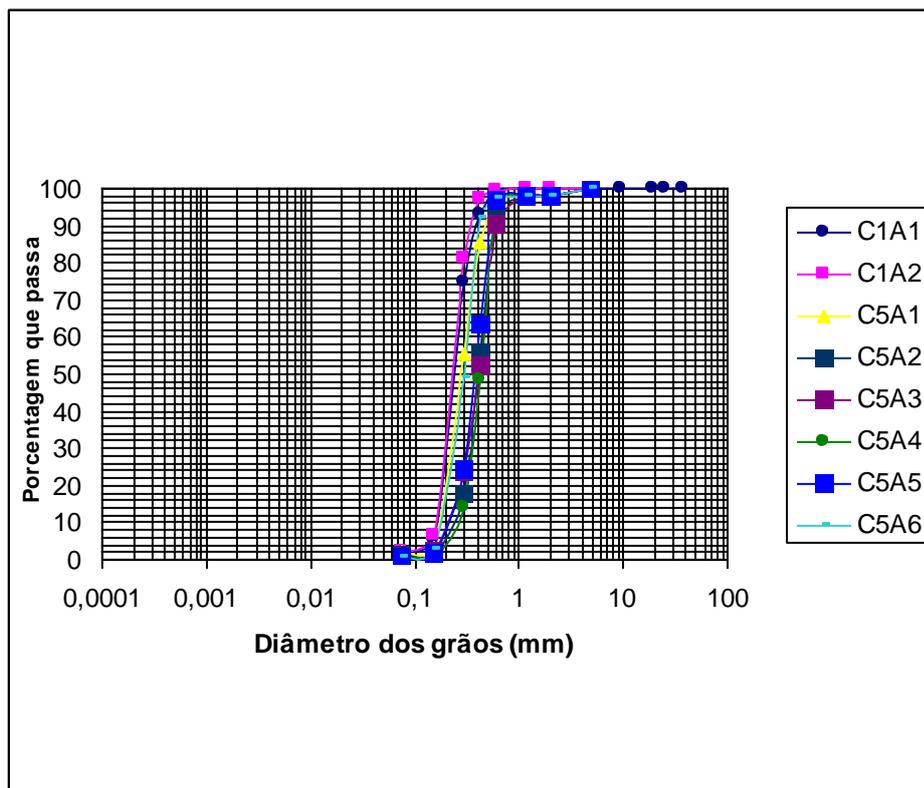


FIGURA 5.4 – Curvas granulométricas da unidade de Dunas.

5.2.2 Unidade Geotécnica 2 – Planície Costeira

A Unidade Geotécnica 2 - Planície Costeira, equivale aos sedimentos de praia, localizados na planície costeira. Faz interface com o Oceano Atlântico, formando uma estreita faixa litorânea também denominada estirâncio.

Apresenta-se na Tabela 5.2 os dados de laboratório das amostras dessa unidade.

TABELA 5.2 – Tabela-Resumo dos dados de Laboratório da Unidade Geotécnica Planície Costeira.

Amostra Nº	Granulometria (%)					Limites de Consistência		Densidade Real Média (Gs)	Classificação SUCS	
	Argila	Silte	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Pedregulho	LL (%)			IP (%)
C5A7	2,6		44,5	50,6	2,3	0,0	0,0	0,0	2,651	SP
C5A8	0,8		44,7	52,2	2,3	0,0	0,0	0,0	2,660	SP
C5A9	0,9		64,2	32,7	2,3	0,0	0,0	0,0	2,660	SP
C5A10	0,8		49,3	47,6	2,3	0,0	0,0	0,0	2,647	SP

Os solos encontrados nessa unidade são de coloração variando de esbranquiçada a amarelada, como pode ser observado na Figura 5.5, os quais foram classificados como areia mal-graduada (SP). Sua granulometria é constituída basicamente por areia média e areia fina, somando 95% do total, não contendo pedregulhos em sua composição. Os finos (argila e silte) chegam até no máximo 3%. Por ser um solo predominantemente arenoso, não foi possível submetê-lo aos ensaios de limites de liquidez e de plasticidade pois os finos presentes no material são inexpressivos. A densidade (Gs) média desse material foi calculada em 2,65.

Do ponto de vista pedológico predominam as areias quartzosas marinhas distróficas (Amd6), apresentando forma de relevo plano.

Estes sedimentos são depósitos eólicos e marinhos. São provenientes do Cenozóico Quaternário e são formados por “Depósitos Arenosos de Dunas Recentes” (Figura 2.3). São também denominados “Arenitos de Praia” conforme descrição no Capítulo 2.

Da mesma maneira que o material de Dunas, os sedimentos da Planície Costeira, que foram classificados como SP, possuem predominância de areias finas e médias. As curvas granulométricas desse material, mostradas no gráfico da Figura 5.6, também possuem curvaturas semelhantes entre elas, com o CNU

calculado em torno de 2 e CC entre 1 e 3. Esse padrão de coeficientes demonstra que o material é uma areia uniforme, porém não é bem graduado. Para que esse material fosse bem graduado, teria que obedecer às duas condições: possuir CNU menor que 6 e CC entre 1 e 3, concomitantemente.



FIGURA 5.5 – Unidade geotécnica 2 – Planície Costeira.

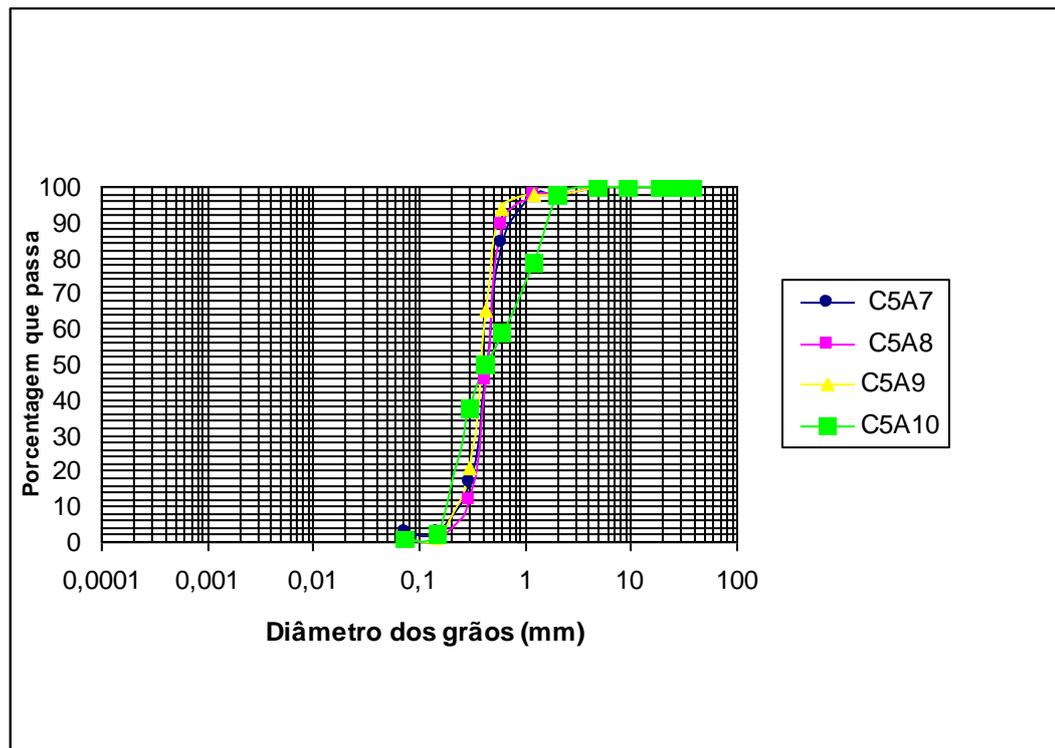


FIGURA 5.6 – Curvas granulométricas da unidade Planície Costeira.

5.2.3 Unidade Geotécnica 3 – Planície de Deflação

A Planície de Deflação, denominada de Unidade Geotécnica 3, restringe-se, na área de estudo, aos sedimentos localizados entre as Dunas e as encostas do aluvião do rio Trairi. Posiciona-se a noroeste na área de trabalho.

Os dados de laboratório das amostras dessa unidade são apresentados na Tabela 5.3.

TABELA 5.3 – Tabela-Resumo dos dados de Laboratório da Unidade Geotécnica Planície de Deflação.

Amostra Nº	Granulometria (%)						Limites de Consistência		Densidade Real Média (Gs)	Classificação SUCS
	Argila	Silte	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Pedregulho	LL (%)	IP(%)		
C1A3	10,0		80,7	8,9	0,3	0,1	0,0	0,0	2,623	SP-SM
C1A4	9,2		81,4	9,4	0,1	0,0	0,0	0,0	2,652	SP-SM
C3A1	2,9	4,1	85,7	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	2,607	SP-SM
C3A2	4,1	6,5	80,8	7,7	0,3	0,6	0,0	0,0	2,668	SP-SM
C3F5AA	4,2	9,0	65,8	20,5	0,5	0,0	0,0	0,0	2,597	SM
C3F5AB	3,0	9,1	66,5	21,0	0,4	0,0	0,0	0,0	2,660	SM
C3F5AC	3,7	10,3	60,1	24,6	1,3	0,1	0,0	0,0	2,578	SM
C3F5AD	19,2	18,2	44,0	18,0	0,6	0,1	20,2	4,6	2,631	SC-SM
C3F5AE	62,3		37,2	0,2	0,3	0,0	32,7	10,4	2,641	CL

Essa planície é composta pelos seguintes sedimentos arenosos, encontrados, na sua maioria, na coloração amarelada e/ou avermelhada:

- areias siltosas mal-graduadas (SP-SM);
- areias siltosas (SM); e,
- areias argilo-siltosas (SC-SM).

Em um dos furos à trado feitos nessa região, foi encontrada uma amostra, retirada a 2,5 metros de profundidade, de um sedimento argiloso, o qual foi classificado como argila de baixa compressibilidade (CL), o que pode indicar o início da Formação Barreiras (Figura 5.7). Mesmo assim, a maior parte dos solos são não-plásticos, conforme pode-se verificar na Tabela 5.3.

Seu substrato rochoso segundo Melo (2000), é formado por sedimentos do Cenozóico Terciário sendo denominados de “*arenoargilosos e argilitos de coloração esbranquiçada e sedimentos arenoargiloso conglomeráticos, de coloração avermelhada e amarelada*”, da Formação Barreiras.

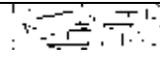
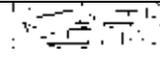
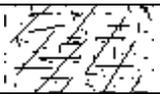
COTA	AMOSTRA	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
0,0 m		SM – Areia siltosa na coloração amarela.
0,6 m		SM – Areia siltosa na coloração marrom.
1,0 m		SM – Areia siltosa na coloração amarela-amarronzada.
1,4 m		SC-SM – Areia argilo-siltosa na coloração vermelha com manchas amarelas.
2,0m		CL – Argila de baixa compressibilidade na coloração vermelha com manchas amarelas.
2,5 m		

FIGURA 5.7 – Perfil do furo 5 da unidade geotécnica Planície de Deflação.

Suas feições são claramente identificadas como duna antiga, pela sua cor avermelhada. Ocorre também em sua coloração tons de marrom e cinza escuro. As variações encontradas foram de sedimentos amarelos, vermelhos, amarelo-avermelhados, amarelo-amarronzados, vermelho com manchas amarelas, marrons e cinzas escuros.

A maioria dos tipos de solos encontrados são não-plásticos, por ter pouca presença de argilo-minerais na sua composição granulométrica.

A Unidade Planície de Deflação apresenta três padrões de curvas granulométricas distintos: um para o material SP-SM, outro para o material SM e outro para os materiais SC-SM e CL. O CNU do material SP-SM encontra-se entre 2 e 4 e o seu CC encontra-se entre 1 e 2. O CNU do material SM encontra-se no patamar de 2,5 com seu respectivo CC em torno de 1,3. O CNU e o CC dos materiais mais finos (CL e SC-SM) não puderam ser determinados pois não foi possível realizar a sedimentação e definir o d10 para o cálculo. As areias dessa

unidade são consideradas mal graduadas. As curvas dessa unidade são apresentadas na Figura 5.8.

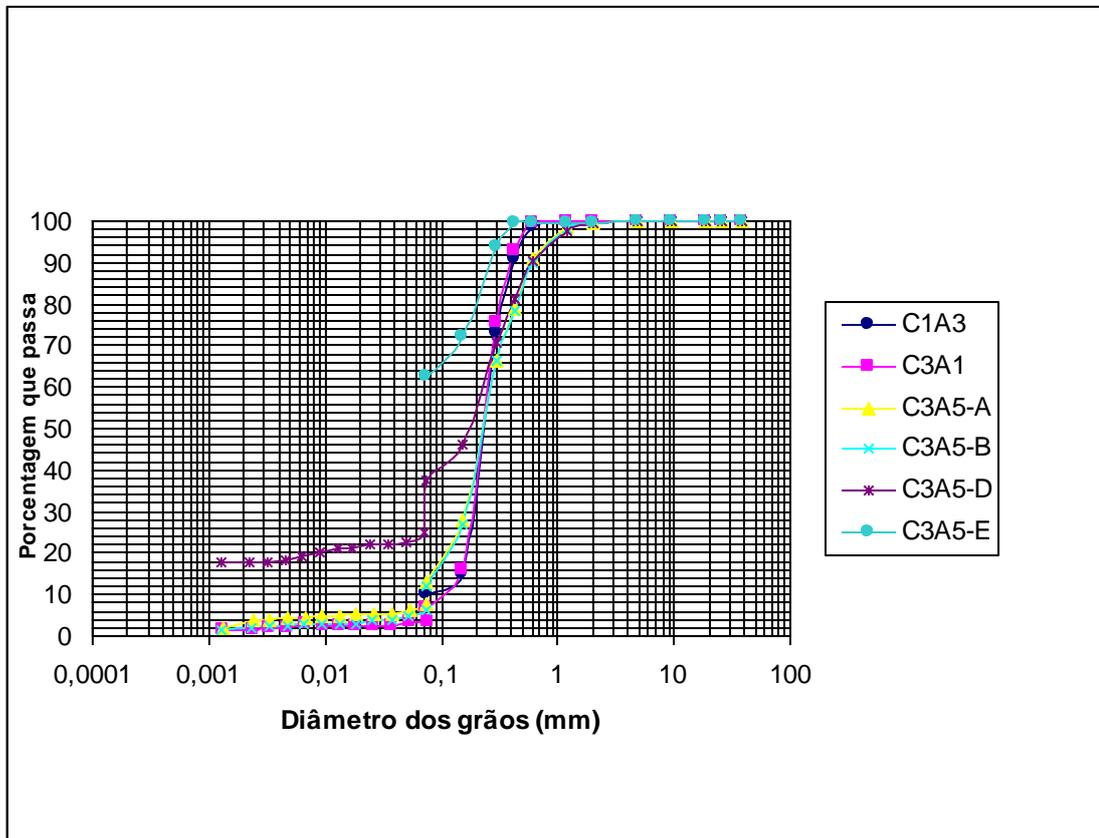


FIGURA 5.8 – Curvas granulométricas da unidade Planície de Deflação.

5.2.4 Unidade Geotécnica 4 – Terraço

A Unidade Geotécnica 4 – Terraço, é uma unidade sui-generis dentro da região do complexo estuarino-lagunar estudado. Ela encontra-se numa cota intermediária entre os aluviões de grande porte da região e os tabuleiros.

Neste terraço encontra-se o rio Baldum. Os dados de sua análise granulométrica e dos ensaios de laboratório são mostrados na Tabela 5.4. Os sedimentos dessa unidade são basicamente siltosos:

- areias siltosas mal-graduadas (SP-SM);
- areias siltosas (SM); e,
- siltes de baixa compressibilidade (ML).

TABELA 5.4 – Tabela-Resumo dos dados de Laboratório da Unidade Geotécnica de Terraço.

Amostra Nº	Granulometria (%)						Limites de Consistência		Densidade Real Média (Gs)	Classificação SUCS
	Argila	Silte	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Pedregulho	LL (%)	IP (%)		
C3F10AA	7,4		69,8	22,6	0,3	0,0	0,0	0,0	2,654	SP-SM
C3F10AB	3,0	95,9	0,0	0,0	1,0	0,1	0,0	0,0	2,640	-
C3F10AC	21,0		59,4	18,7	0,9	0,0	0,0	0,0	2,651	SM
C3F10AD	12,8		85,3	0,9	0,9	0,1	0,0	0,0	2,658	SM
C3F10AE	8,9		66,6	23,3	1,2	0,1	0,0	0,0	2,682	SP-SM

Sua coloração possui variações desde branca e cinza até amarela e vermelha.

A amostra C3F10AB, desta unidade não foi classificada pois foi considerado que a mesma tenha ficado descaracterizada. Provavelmente, houve um maior destorroamento no momento antecedente aos ensaios de caracterização, permanecendo a amostra com muitos finos, ficando diferente das outras amostras de sua unidade geotécnica.

Em termos de geologia, os seus sedimentos são aluvionares, provenientes do Cenozóico Quaternário. O substrato rochoso desses sedimentos é constituído pela Formação Barreiras com intercalações sílticas.

Na literatura pesquisada, essa área encontra-se inserida na unidade geomorfológica de tabuleiros. Porém, conforme dito anteriormente, ela encontra-se num nível mais baixo do que os tabuleiros, não tendo, portanto, característica e feição típica de tabuleiro.

Nos estudos pedológicos do Projeto Radambrasil (1981), os solos dessa unidade são identificados como podzólicos vermelho-amarelos distróficos (PVd18), solos aluviais, com argila de baixa atividade abrupto, em relevo desde ondulado a suavemente ondulado.

As curvas granulométricas da Unidade de Terraço possuem dois padrões distintos, um para os materiais arenosos e outro para os materiais siltsos, como pode ser observado no gráfico da Figura 5.9. Os materiais arenosos possuem CNU menor que 6 e CC entre 1 e 3, possuindo continuidade e curvatura suave.

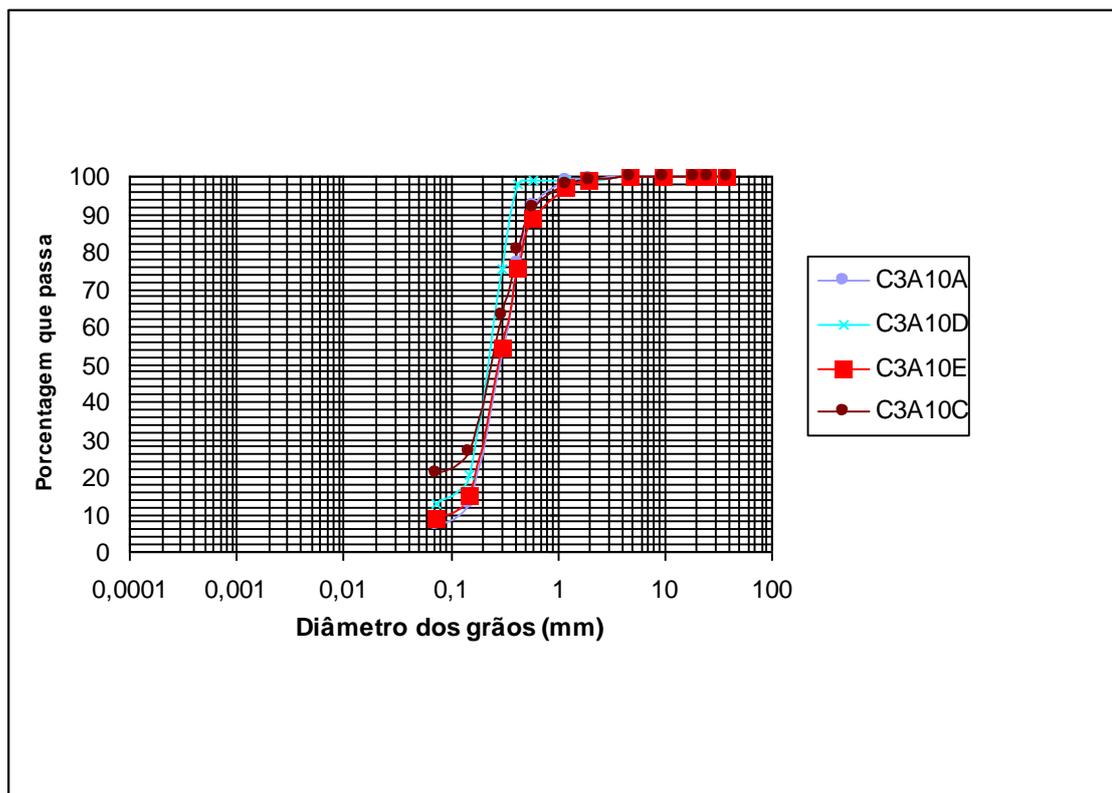


FIGURA 5.9 – Curvas granulométricas da unidade de Terraço.

5.2.5 Unidade Geotécnica 5 – Tabuleiro

A Unidade Geotécnica 5, identificada como Tabuleiro, é a unidade predominante na região em estudo.

De acordo com estudos geológicos realizados na região, o substrato rochoso dessa unidade é formado por sedimentos terciários da Formação Barreiras.

Na descrição tátil-visual observou-se que a coloração desses sedimentos possui tons de marrom em todas as amostras coletadas, variando de marrom claro a marrom-avermelhado. Esses sedimentos foram retirados de furos feitos em topos dessa unidade, os quais foram claramente identificados como da Formação Barreiras pela coloração das suas camadas e pela consistência do material. Os tabuleiros formam a porção mais alta da área estudada, podendo alcançar 80 metros de altitude.

Os dados de granulometria, de densidade e limites de consistência da unidade de Tabuleiro são apresentados na Tabela 5.5 a seguir.

TABELA 5.5 – Tabela-Resumo dos dados de Laboratório da Unidade Geotécnica de Tabuleiro.

Amostra Nº	Granulometria (%)						Limites de Consistência		Densidade Real Média (Gs)	Classificação SUCS
	Argila	Silte	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Pedregulho	LL (%)	IP (%)		
C3F12AA	3,1	96,6	0,0	0,0	0,3	0,0	NL	NP	2,583	ML
C3F12AB	3,0	96,7	0,0	0,0	0,3	0,0	NL	NP	2,676	ML
C3F12AC	25,7		45,1	29,0	0,2	0,0	20,3	5,6	2,655	SC-SM
C3F12AD	18,9	20,9	35,1	24,4	0,8	0,0	23,4	7,9	2,590	SC
C4F2AA	4,0		56,1	39,2	0,7	0,0	0,0	0,0	2,581	SP
C4F2AB	26,2	71,1	0,0	0,0	2,7	0,0	NL	NP	2,665	ML
C4F2AC	0,5	97,3	0,0	0,0	2,3	0,0	-	-	2,669	-
C4F2AD	0,4	94,6	0,0	0,0	4,8	0,1	-	-	2,649	-
C4F2AE	28,0	67,6	0,0	0,0	4,3	0,0	23,8	7,7	2,681	CL
C4F2AF	33,7		35,2	28,8	2,3	0,0	0,0	0,0	2,522	SM

Os materiais encontrados foram bastante heterogêneos: areias, siltes e argilas. As ocorrências de areias foram as mais diversificadas, porém menos freqüentes: areia mal-graduada (SP), areia siltosa (SM), areia argilosa (SC) e areia argilo-siltosa (SC-SM).

Nesta unidade geotécnica, ocorreram erros em duas amostras: a C4F2AC e a C4F2AD. Neste caso, não foram realizados os ensaios de limites de liquidez e de plasticidade, não sendo possível classificá-las adequadamente.

A areia mal-graduada foi encontrada bem na superfície do tabuleiro. A areia siltosa foi encontrada a 4 metros de profundidade, sob uma camada de silte de baixa compressibilidade (ML) e duas camadas de argila, uma de alta compressibilidade (CH) e outra de baixa compressibilidade (CL), como pode ser verificado no perfil da Figura 5.10. Curiosamente, em outro furo, as areias argilo-siltosas (SC-SM) e argilosas (SC) foram encontradas a partir de 2 metros de profundidade, sob uma camada de silte de baixa permeabilidade (ML).

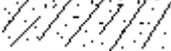
COTA	AMOSTRA	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
0,0 m		ML – Silte de baixa compressibilidade na coloração amarela-avermelhada.
1,0 m		ML – Silte de baixa compressibilidade na coloração amarela-avermelhada.
2,0 m		SC-SM – Areia argilo-siltosa na coloração vermelha com manchas amarelas.
3,0 m		SC – Areia argilosa branca com traços amarelos e vermelhos.
3,2 m		

FIGURA 5.10 – Perfil do furo 10 da unidade geotécnica de Tabuleiro.

Do ponto de vista pedológico, ocorrem nessa unidade três tipos de solos: areias quartzosas distróficas (AQd3), podzólicos vermelho-amarelos distróficos (PVd18) e latossolos amarelos distróficos (LAd7), como pode ser observado no

Mapa Pedológico do Radambrasil (1981) na Figura 2.5. Em relação a este mapeamento, o qual foi feito numa escala de 1:1.000.000, interpreta-se que os tipos de solos presentes nessa unidade são provavelmente apenas os podzólicos (PVd18) e os latossolos (LAd7), pois entende-se que as areias quartzosas estão mais presentes em um tipo de unidade como a Planície de Deflação e Dunas, por possuírem uma composição bem mais arenosa do que na presente unidade.

Morfologicamente, os tabuleiros da área são relevos de topo plano separados por vales de fundo plano, com vertentes bastante inclinadas. São também denominados Tabuleiros Costeiros ou Tabuleiros Litorâneos.

Em relação aos sedimentos coletados e visualizados dessa unidade concorda-se com a literatura sobre a região de que os mesmos são materiais areno-argilosos, com intercalações sílticas, compondo camadas da Formação Barreiras, de espessuras variadas e cores variegadas.

Os solos que apresentaram valores não-nulos em relação aos índices de consistência foram as areias argilo-siltosas, as argilosas e as argilas de baixa e de alta compressibilidade. Os altos índices de plasticidade são atribuídos às argilas compressíveis.

As amostras coletadas na Unidade de Tabuleiro demonstram que os solos dessa unidade são bastante heterogêneos. Os materiais finos – siltes e argilas - são mal-graduados pois não possuem partículas de areia média e fina no seu conteúdo.

As areias apresentam CNU maior que 2, sugerindo não-uniformidade das amostras arenosas dessa unidade.

5.2.6 Unidade Geotécnica 6 – Vertentes

A Unidade Geotécnica 6 ou Vertentes é formada pelas encostas entre os Tabuleiros e os Aluviões, ou melhor, entre a superfície plana dos tabuleiros e as planícies aluvionares. Essas encostas podem ser taludes naturais ou artificiais.

Essa unidade possui suas camadas compostas por sedimentos da Formação Barreiras ou por sedimentos eólicos. Ela é percebida mais facilmente quando fica desprovida de vegetação em locais de empréstimo de material ou em cortes feitos para abertura de estradas, ou ainda, na interface com as lagoas, em especial a de Guaraíras, e na interface com o mar onde são denominadas de falésias. Uma encosta descoberta pode ser vista na Figura 5.11.

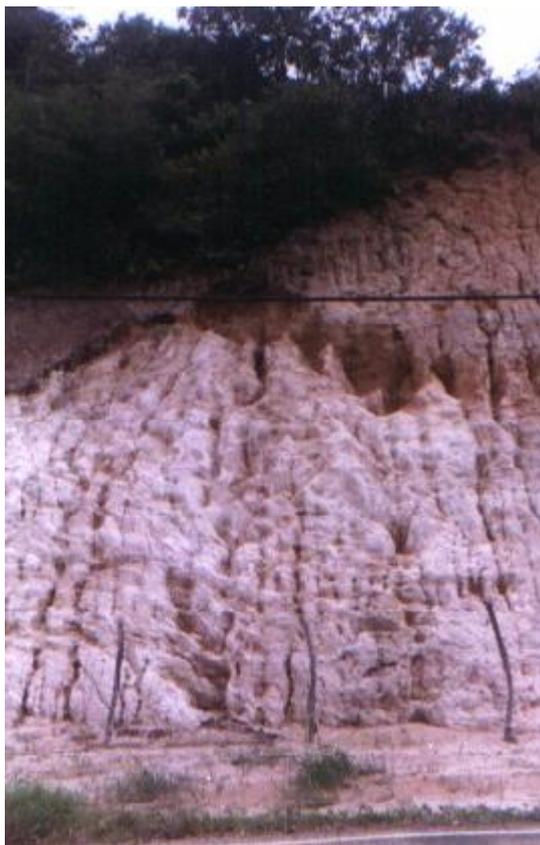


FIGURA 5.11 – Unidade geotécnica 6 – Vertentes.

Trata-se da unidade mais vulnerável da área de estudo, devido à sua posição topográfica extremamente desconfortável, passível de diversos tipos de erosões e movimentos de massa. Devido a sua fragilidade, há nessa unidade ocorrências de deslizamentos e de instabilidades em taludes, formando áreas de risco. A Unidade Geotécnica de Vertentes é a que exige um maior cuidado no seu uso e manuseio.

Suas amostras foram coletadas em encostas descobertas de vegetação, principalmente em perfis próximos às estradas.

As informações de laboratório sobre as amostras coletadas da unidade de Vertentes são dadas em maiores detalhes na Tabela 5.6.

TABELA 5.6 – Tabela-Resumo dos dados de Laboratório da Unidade Geotécnica de Vertentes.

Amostra Nº	Granulometria (%)						Limites de Consistência		Densidade Real Média (Gs)	Classificação SUCS
	Argila	Silte	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Pedregulho	LL (%)	IP (%)		
C1A5	18,0		72,6	9,4	0,1	0,0	0,0	0,0	2,628	SM
C1A6	42,8		48,0	8,8	0,4	0,1	25,6	4,5	2,619	SC-SM
C1A7	20,0		58,6	21,3	0,2	0,0	22,6	0,8	2,618	SM
C1A8	25,1		52,1	22,6	0,2	0,0	0,0	0,0	2,607	SM
C1A13	40,0		31,2	22,5	5,9	0,4	21,1	3,4	2,627	SM
C1A19	40,9		33,3	22,3	2,8	0,8	26,2	5,6	2,620	SC-SM
C1A20	24,7		13,0	55,3	6,1	0,9	44,5	14,1	2,597	SM
C1A21	44,8		17,3	30,1	5,4	2,5	37,7	8,0	2,611	SM
C1A22	46,7		31,8	19,9	1,3	0,4	39,2	11,6	2,662	SM
C1A23	35,8		17,7	34,1	7,3	5,0	34,9	10,0	2,619	SM
C1A24	3,9		87,2	8,9	0,0	0,0	0,0	0,0	2,633	SP
C1A25	17,1		73,4	9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,629	SM
C3A4	27,4	13,7	51,1	7,5	0,3	0,0	28,5	9,5	2,614	SC
C3A6	12,2	10,4	55,5	21,7	0,1	0,0	25,1	8,9	2,643	SC
C3A7	17,1	10,5	42,4	29,4	0,7	0,0	39,9	20,3	2,637	SC
C3A8	27,1	67,9	0,0	0,0	3,5	1,6	37,8	13,3	2,613	ML
C3A9A	27,3	72,6	0,0	0,0	0,1	0,0	32,3	12,2	2,623	CL
C3A9B	27,1	71,8	0,0	0,0	1,2	0,0	28,1	9,2	2,602	CL
C3A9C	3,6	95,0	0,0	0,0	1,3	0,0	29,0	10,5	2,667	CL
C3A11	3,7	95,7	0,0	0,0	0,5	0,1	28,1	8,7	2,611	CL
C4F1A1	27,1	72,7	0,0	0,0	0,2	0,0	24,8	7,2	2,630	CL
C4F1A2	26,1	69,6	0,0	0,0	2,8	1,5	21,0	7,7	2,614	CL
C4A3	24,5	64,4	0,0	0,0	6,1	5,0	28,5	6,8	2,627	CL-ML
C4A4	26,0	69,4	0,0	0,0	3,4	1,2	20,5	4,5	2,640	CL-ML
C4A5	2,5		52,5	44,5	0,6	0,0	0,0	0,0	2,599	SP
C4A6	0,3	72,1	0,0	0,0	19,6	8,0	30,3	10,3	2,726	CL
C4A7	27,1	70,4	0,0	0,0	0,6	2,0	33,9	11,1	2,590	CL

Os sedimentos encontrados nessa unidade foram também bem diversificados, variando de arenosos a argilosos, como podemos observar a seguir:

- areia mal-graduada (SP), onde predominam os sedimentos eólicos;
- areia siltosa (SM), onde ocorrem tanto sedimentos eólicos como da Formação Barreiras;
- areia argilo-siltosa (SC-SM), predominando sedimentos da Formação Barreiras;
- areia argilosa (SC), também predominando sedimentos da Formação Barreiras nas proximidades da Planície de Deflação e do aluvião do rio Ararai;
- silte de baixa compressibilidade (ML);
- argila de baixa compressibilidade (CL).

As areias mal-graduadas são, como de praxe, de cor amarela. As areias siltosas ocorrem na coloração marrom, vermelha, variegada de rósea-branca e variegada de amarela-vermelha-branca. As areias argilo-siltosas ocorrem em cores variegadas e de consistência argilosa. As areias argilosas ocorrem na coloração variegada vermelha com manchas amarelas, igualmente ao silte de baixa compressibilidade. As argilas de baixa compressibilidade ocorreram em um material variegado com colorações vermelhas, amarelas, brancas ou marrons, sendo as cores predominantes amarela e vermelha, podendo ocorrer blocos laterizados, ou seja, com concentração de ferro ou concreções ferruginosas. Na Figura 5.12 encontra-se um dos locais de coleta de amostra dessa unidade.

Os sedimentos desta unidade constituem-se nos afloramentos da formação Barreiras provenientes do Cenozóico Terciário.

As Vertentes estão caracterizadas em termos pedológicos como Solos podzólicos vermelho-amarelos distróficos – PVd18, conforme pode ser visto na Figura 2.5.



FIGURA 5.12 – Local de coleta de amostra da unidade de Vertentes.

Nessa unidade predominam os solos plásticos. Os solos que apresentaram valores não-nulos em relação aos índices de consistência foram as areias argilo-siltosas, as argilosas e as argilas de baixa e de alta compressibilidade, além das areias siltosas e dos siltes de baixa compressibilidade. Os maiores índices de plasticidade são atribuídos aos materiais argilosos: argilas compressíveis e areias argilosas.

Os solos desta Unidade de Vertentes são, na maior parte, argilosos e siltosos. Os materiais CL e ML possuem uma característica em comum que é a ausência de areias finas e médias. O CNU só pôde ser determinado no caso do material SP, no

qual foram classificadas como areias mal-graduadas pois possuem CNU menor que 6.

5.2.7 Unidade Geotécnica 7 – Aluvião

A Unidade Geotécnica 7 equivale aos sedimentos aluvionares. Esses sedimentos são solos transportados resultantes do carreamento pelas águas e deposição nos canais fluviais. Existem três planícies aluvionares na região em estudo: a do rio Trairi e rio Ararai, a do rio Jacu e a do rio Baldum. Nessas planícies, somente um rio não possui grande expressividade, que é o Baldum. Os aluviões de grande porte são os dos rios Trairi e Ararai e do rio Jacu (também denominado de Jacu I e Jacu II).

Os aluviões dos rios Trairi e Ararai formam apenas um aluvião. Os dados de caracterização dessa unidade são contemplados na Tabela 5.7.

O material sedimentar do aluvião do rio Baldum foi contemplado na Unidade Geotécnica 4 – Terraço. Em relação aos outros aluviões, verifica-se singularidades ao analisar cada um de “per si”.

No aluvião do rio Jacu foram encontrados sedimentos arenosos, com presença de finos. Esses sedimentos aluvionares foram os seguintes:

- areia siltosa (SM);

- areia argilo-siltosa (SC-SM);

- areia argilosa (SC); e,

- argila de baixa compressibilidade (CL). Neste aluvião, a coloração das areias siltosas tenderam para amarelada e amarronzada, enquanto que para as areias argilosas tenderam para amareladas e acinzentadas.

TABELA 5.7 – Tabela-Resumo dos dados de Laboratório da Unidade Geotécnica de Aluvião.

Amostra N°	Granulometria (%)						Limites de consistência		Densidade Real Média (Gs)	Classificação SUCS
	Argila	Silte	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Pedregulho	LL (%)	IP (%)		
C1A9	15,4		53,0	28,6	3,0	0,0	0,0	0,0	2,596	SM
C1A10	35,1		42,6	20,4	1,6	0,3	31,5	13,5	-	SC
C1A11	61,5		27,6	10,4	0,5	0,1	37,9	7,7	-	ML
C1A12	0,0		91,4	8,5	0,1	0,0	0,0	0,0	2,622	SP
C1A14	10,8		58,6	29,5	1,1	0,0	0,0	0,0	2,593	SP-SM
C1A15	20,5		54,0	24,8	0,7	0,1	0,0	0,0	2,549	SM
C1A16	59,7		29,9	8,8	1,5	0,1	28,2	10,1	-	CL
C1A17	19,5		46,2	33,6	0,7	0,0	0,0	0,0	2,558	SM
C1A18	16,2		57,2	25,9	0,6	0,0	0,0	0,0	-	SM
C2F1A1	30,7	16,2	29,7	20,7	2,5	0,2	-	-	2,625	-
C2F1A2	27,1	22,9	33,2	14,8	1,5	0,5	46,7	32,0	2,629	CL
C2F1A3	20,4	18,6	46,3	13,5	0,9	0,3	-	-	2,632	-
C2F1A4	31,5	43,9	22,8	1,9	0,0	0,0	43,2	22,3	2,742	CL
C2F1A5	36,1	39,4	23,1	1,4	0,0	0,0	43,8	21,3	2,771	CL
C2F2A1	10,0	20,2	53,8	15,7	0,3	0,0	0,0	0,0	2,595	SM
C2F2A2	33,2	23,7	23,7	17,3	1,9	0,3	59,1	36,2	2,567	CH
C2F2A3	23,7	19,7	34,6	20,2	1,3	0,5	29,3	13,2	2,731	SC
C2F2A4	57,1	17,3	15,0	8,9	1,7	0,1	52,5	7,9	2,725	MH
C2F3A1	33,5	57,9	6,5	2,1	0,0	0,0	38,1	15,2	2,724	CL
C2F3A2	31,2	29,8	27,7	11,3	0,0	0,0	43,4	19,3	2,654	CL
C2F3A3	62,2	32,5	3,0	2,3	0,0	0,0	43,4	1,5	2,812	ML
C2F3A4	64,0	34,5	0,9	0,6	0,0	0,0	84,0	41,7	2,806	MH
C2F4A1	3,0	0,3	91,3	5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	2,634	SP
C2F4A1-A	2,7	5,0	70,7	20,9	0,7	0,0	84,0	41,7	2,614	SP-SM
C2F4A2-A	2,2	4,7	58,6	32,7	1,5	0,4	0,0	0,0	2,589	SP-SM
C2F4A3-A	2,6	0,1	52,0	41,2	3,6	0,6	0,0	0,0	2,614	SP
C2F5A1	5,3	17,8	48,6	24,9	3,2	0,3	-	-	2,597	-
C2F6A1	32,6	55,9	8,8	2,7	0,0	0,0	47,7	8,5	2,281	ML
C2F7A1	6,2	11,3	36,2	41,3	5,0	0,1	0,0	0,0	2,721	SM
C2F7A2	10,1	10,6	36,7	39,3	3,2	0,1	-	-	2,593	-
C2F7A3	8,4	13,1	33,2	40,6	4,4	0,3	0,0	0,0	2,596	SM
C2F7A4	18,8	19,9	24,3	11,1	13,7	12,2	24,7	6,7	2,594	SC-SM
C2F8A1	8,1	27,1	49,5	15,0	0,3	0,0	37,7	21,0	2,553	SM
C2F8A2	12,2	7,6	31,3	48,2	0,7	0,0	37,7	21,0	2,631	SC
C2F8A3	35,8	27,3	27,3	9,4	0,1	0,0	48,2	26,9	2,549	CL
C2F8A4	18,8	22,7	43,7	14,1	0,5	0,2	24,9	9,3	2,608	SC
C2F8A5	20,7	26,6	36,4	15,5	0,7	0,1	23,0	10,0	2,519	SC
C2F8A6	21,2	24,9	42,0	11,7	0,1	0,0	22,5	11,4	2,628	SC
C2F8A7	21,6	8,8	59,2	10,4	0,0	0,0	36,6	25,5	2,618	SM
C2F8A8	7,7	5,3	58,5	28,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,603	SM
C2F8A9	10,5	7,0	36,0	42,0	4,1	0,4	27,6	5,8	2,645	SC-SM
C3A3	0,9	8,6	79,0	11,3	0,2	0,0	0,0	0,0	2,647	SP-SM

O aluvião do rio Ararai possui sedimentos arenosos tendentes a siltosos. No aluvião do Ararai foram encontradas areias mal-graduadas (SP), areias siltosas mal-graduadas (SP-SM) e areias siltosas. A Figura 5.13 mostra o rio Ararai e suas margens com seus solos areno-siltosos.

Entre os rios Ararai e Trairi foi feito um furo, no qual foram coletadas amostras siltosas e argilosas. Esses sedimentos foram classificados como argila de baixa compressibilidade (CL) de coloração marrom escura e com presença de mica; silte de baixa compressibilidade (ML) e silte de alta compressibilidade (MH).



FIGURA 5.13 – Sedimentos aluvionares do rio Ararai.

O aluvião do rio Trairi, dentre todos da região, mostra-se como o mais diversificado em termos de sedimentos, pois eles são bastante heterogêneos, conforme pode-se verificar no Quadro 5.6 abaixo.

QUADRO 5.6 – Características dos sedimentos aluvionares do rio Trairi.

Classificação		Descrição Tátil-Visual
Areia Siltosa Mal-Graduada	SP-SM	Cinza-escuro arenoso
Areia Siltosa	SM	Cinza fino arenoso Cinza argiloso com areia grossa Cinza-escuro
Areia Argilosa	SC	Cinza-escuro Esbranquiçada
Silte de Baixa Compressibilidade	ML	Cinza-escuro plástico
Silte de Alta Compressibilidade	MH	Esbranquiçado com manchas escuras
Argila de Baixa Compressibilidade	CL	Amarelo arenoso Cinza siltoso
Argila de Alta Compressibilidade	CH	Amarelo arenoso

Praticamente todas as amostras dessa unidade foram coletadas por sondagem à trado, ou seja, foram escavados furos e deles foram retirados os sedimentos.

Essa unidade é bem definida tanto em termos geológico-geomorfológico como em termos pedológicos. Os seus sedimentos são aluvionares, provenientes do Cenozóico Quaternário. O seu relevo é identificado como uma área plana resultante de acumulação fluvial, ou, simplesmente, planície fluvial. Em relação a pedologia, os solos presentes nessa unidade são os solos aluviais eutróficos (Ae2 e Ae8), com argila de alta atividade, textura indiscriminada, solos aluviais, moderado, em relevo plano. Nos solos aluviais Ae8 há presença de lodo.

Essa unidade possui solos plásticos e não-plásticos. Os solos que apresentaram valores não-nulos em relação aos índices de consistência foram as areias argilo-siltosas, as argilosas e as argilas de baixa e de alta compressibilidade, além das areias siltosas e dos siltes de baixa e de alta compressibilidade. Estes

materiais possuem oscilações de plasticidade dependendo do percentual de partículas argilosas no seu meio.

Nessa unidade de Aluvião ocorreu erro na amostra C2F1A1, devido à falta de realização dos ensaios de limites de liquidez e de plasticidade, não sendo possível classificá-la adequadamente. Além disso, nas amostras C2F1A3, C2F5A1 e C2F7A2 faltou ser feito o ensaio de limite de plasticidade, impossibilitando também a classificação destas amostras.

Após a análise de cada Unidade Geotécnica pode-se dizer, em relação aos sedimentos coletados, que foram encontrados na região estudada solos de granulometria grossa e de granulometria fina, além de solos limítrofes, de acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS). A classificação dos solos também contribuiu para a análise do comportamento dos vários tipos de solos em cada Unidade Geotécnica.

No cômputo geral, das cento e cinco (105) amostras coletadas, foi possível classificar noventa e nove (99).

5.3 Identificação de áreas de degradação ambiental

As áreas de degradação ambiental foram identificadas a partir das observações de campo, as quais foram registradas através de fotos. Existem

ocorrências de áreas degradadas no meio urbano e no meio rural. A identificação dessas áreas consiste em uma avaliação ambiental preliminar com o objetivo de alertar o poder público para os prejuízos que o ambiente pode sofrer e, dessa forma, fornecer parâmetros para reduzir os impactos ambientais nos municípios.

Verificou-se na região pontos de fragilidades e vulnerabilidades como erosões em vertentes, desmatamentos, devastação da mata ciliar, movimentos de massas em encostas, modificação da drenagem dos rios e das bordas das lagoas.

Em relação às áreas em degradação ou passivos ambientais, foram investigadas principalmente as áreas de encostas com erosão ou escorregamento em evolução. Os movimentos de transporte ou gravitacional que provocam instabilização de taludes nestas encostas ocorrem basicamente por três motivos: a retirada de material para empréstimo, a declividade do terreno relacionada à ocorrência de chuvas e à falta de vegetação e as sobrecargas na parte superior do talude.

Primeiramente foi analisada uma encosta à margem da BR-101, localizada logo após a rótula de entrada para a RN-52, que se dirige ao município de Senador Georgino Avelino. Suas coordenadas são dadas pela latitude 253139 e longitude 9323246. Na Figura 5.2 ela encontra-se denominada de Passivo Ambiental 1. Essa encosta consiste em uma área de empréstimo antiga. Provavelmente seu material foi utilizado na construção da Rodovia BR-101.

Há ocorrências de vários tipos de erosões nessa área: erosões lineares em sulcos, ravinas e voçorocas. As ravinas e voçorocas são mostradas na Figura 5.14. O descalçamento de material foi uma instabilização percebida nos taludes, provavelmente causado pela ausência da cobertura vegetal e pela inexistência de drenagem superficial. A evolução desses movimentos de massa e das erosões pode oferecer perigo ao tráfego de veículos na BR-101, especialmente no período chuvoso na região, que ocorre entre os meses de março a agosto de cada ano.



FIGURA 5.14 – Ravinas e voçorocas na encosta da BR-101.

As amostras 1 e 2 da campanha 4 foram retiradas dessa área e suas características podem ser observadas no Quadro 5.4. Essas amostras foram

classificadas também como CL – argila de baixa compressibilidade e encontram-se inseridas na unidade geotécnica 6 de Vertentes.

A segunda encosta abordada trata-se de uma área de empréstimo localizada nas proximidades da RN-52, estrada para a cidade de Senador Georgino Avelino. Sua latitude é 259001 e sua longitude é 9321623, como pode ser visto nas Figuras 5.1 e 5.2, na qual é denominada de passivo ambiental 2.

Essa encosta possui uma altura aproximada de 25 metros e largura de 300 metros. A mesma foi escavada por retroescavadeiras e caminhões para retirada de material para empréstimo, e, devido a esta atividade, encontra-se com problemas graves de erosão, inclusive ravinas e voçorocas, como pode ser percebido na Figura 5.15.



FIGURA 5.15 – Local de empréstimo de material com instabilizações.

Essa encosta é constituída de quatro camadas: a camada superior consiste numa capa de solo; a segunda consiste em uma camada ferruginosa preta; a terceira é uma camada de cores variegadas vermelha-amarelada e a quarta e última consiste em uma camada vermelha com manchas esbranquiçadas. Esse aspecto das camadas é apresentado na Figura 5.16.



FIGURA 5.16 – Aspecto da encosta com suas camadas de solos.

As amostras 9-A, 9-B e 9-C da campanha 3 foram retiradas das camadas dessa encosta e suas características podem ser observadas no Quadro 5.3. Essas amostras foram classificadas como CL – argila de baixa compressibilidade e encontram-se inseridas na unidade geotécnica 6 – Vertentes.

A terceira área observada foi uma encosta urbana na cidade de Senador Georgino Avelino, que possui uma altura aproximada de 10 metros e largura de 50 metros. Nas Figuras 5.1 e 5.2 pode-se encontrá-la na latitude 264975 e longitude 9318411, denominada de passivo ambiental 3.

Um dos aspectos de gravidade dessa encosta é que a evolução dos processos erosivos na mesma oferece perigo à população, justamente por ter interferência com lindeiros, e em especial com uma creche logo à jusante. Essa área consiste em uma área de risco por estar localizada dentro do espaço urbano. Seu aspecto pode ser visto na Figura 5.17.

A descrição das principais características dessa encosta é apresentada abaixo:

- constituída por sedimentos da Formação Barreiras: ocorrência de pequenos seixos rolados, arredondados;
- coloração variegada amarela e vermelha, ocorrendo na parte inferior material nas cores vermelho-escuro e branco;
- vegetação de pequeno à médio porte, inclusive árvores e fruteiras no topo;
- deslizamento ocorrido no mês de abril/2002 devido chuvas ocorridas, causando carreamento de sedimentos e destruição da pavimentação com paralelepípedos;
- queda de material na vertical, inclusive com plantas e raízes.



FIGURA 5.17 – Aspecto da encosta da creche na cidade de Sen. Georgino Avelino.

As principais instabilizações observadas foram deslizamentos e quedas de bloco. As causas associadas a esse tipo de movimento estão relacionadas com a deficiência de cobertura vegetal, a inexistência de drenagem superficial, e a inclinação acentuada da encosta. Pode-se perceber na Figura 5.18 estruturas residuais na base da encosta como pedregulhos, pedras e blocos.

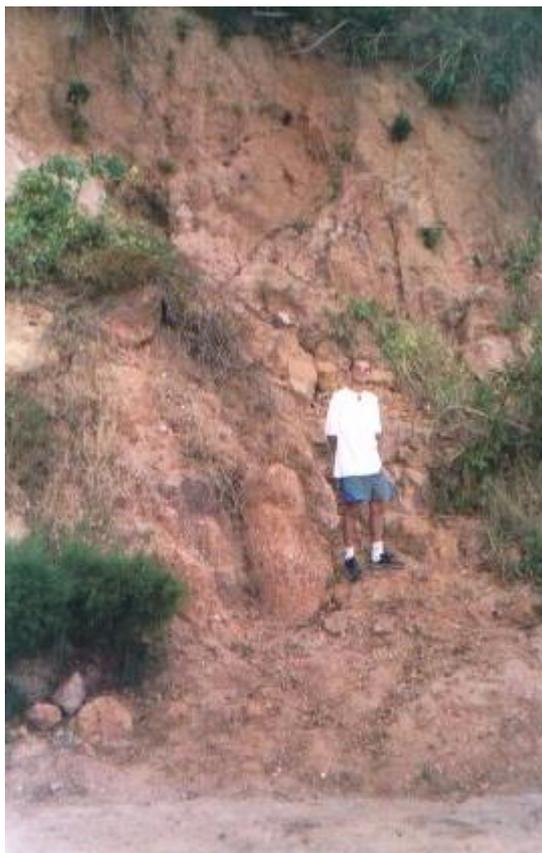


FIGURA 5.18 – Estruturas residuais na base da encosta em Sen. Georgino Avelino.

Também foram encontradas áreas de desmatamento da mata ciliar nas margens das lagunas, como pode ser visualizado na Figura 5.19. Provavelmente, esse fenômeno de ressecamento da mata ciliar é resultante da alta salinidade que vem apresentando todo o sistema estuarino-lagunar. A implantação de viveiros para criação e cultura de camarão nesse local demonstra que o aporte de água salgada trazido pelas marés tem sido mais influente do que o aporte de água doce proveniente dos rios.



FIGURA 5.19 - Desmatamento nas proximidades de viveiros de camarão.

Outras áreas que estão sendo modificadas pela intervenção humana na região são taludes de empréstimo de material e viveiros de camarão nas bordas das lagunas. Essas áreas são mostradas nas Figuras 5.20, 5.21, 5.22 e 5.23.



FIGURA 5.20 - Área de corte para empréstimo de solos, próxima a RN-52.



FIGURA 5.21 - Área de corte para empréstimo de solos, próxima a Goianinha.



FIGURA 5.22 – Borda modificada da laguna de Nísia Floresta.



FIGURA 5.23 – Borda modificada da laguna de Guaraíras.

Na Figura 3.3 pode ser vista uma área de empréstimo formando erosões em sulcos, nas proximidades das margens da laguna de Nísia Floresta.

Nas Figuras 5.24 e 5.25 são mostradas algumas ocorrências urbanas de degradação do ambiente: voçoroca em Tibau do Sul causada por ausência de rede de drenagem e falésias na laguna de Guaraíras (área da embocadura) nas proximidades de um hotel em Tibau do Sul.



FIGURA 5.24 – Voçoroca nas proximidades da cidade de Tibau do Sul.



FIGURA 5.25 – Descalçamento de falésia nas proximidades do Hotel Marina.

5.4 Diagnóstico da situação atual do sistema

A região em estudo caracteriza-se por uma área de feições morfológicas heterogêneas inseridas em um complexo sistema hidrológico modificado por ações humanas e reações naturais.

Com base na investigação realizada avaliou-se e detectou-se vários tipos de processos atuantes na região, os quais podem ser diferenciados da seguinte forma: os processos naturais que são os processos continentais e os costeiros, e os processos antrópicos que são resultantes das intervenções humanas.

Nos processos continentais estão inclusas todas as formas de erosões além dos tipos de escorregamentos, os quais consistem nos movimentos gravitacionais de massas. Nos processos costeiros inclui-se a ação das marés no sistema flúvio-lacustre, provocando erosão costeira, transferência de sedimentos e aumento da salinidade no estuário. Em relação aos processos antrópicos insere-se a modificação da rede de drenagem, o empréstimo de material dos taludes além da ocupação do meio físico causando o que pode se chamar de erosão antrópica.

As erosões e os escorregamentos ocorrem tipicamente nas Vertentes. Um dos fatores importantes para o surgimento desses processos é a ausência ou a insuficiência de vegetação nos taludes, tanto nos naturais quanto nos artificiais. Foi observado que as encostas quando encontram-se descobertas de vegetação tornam-se áreas susceptíveis à degradação, devido à inconsistência dos sedimentos

terciários da Formação Barreiras os quais são materiais inconsolidados e foram classificados geotecnicamente como CL. Em especial, as instabilizações na unidade de Vertentes ocorrem no período de chuvas que acontece entre os meses de março a agosto de cada ano. A cobertura vegetal possui uma interferência extremamente positiva na sustentação dos grãos, propiciando proteção aos terrenos.

A dinâmica da erosão ocorre a partir do carreamento dos sedimentos que, em parte, movimentam-se dos Tabuleiros em direção às Vertentes devido às precipitações pluviométricas, as quais provocam o início dos processos erosivos laminares e lineares. Um percentual desses sedimentos atinge os fundos dos vales fluviais colaborando para o assoreamento dos cursos d'água. Portanto, percebe-se que o desmatamento e a devastação da vegetação, aliados ao regime pluviométrico, contribuem de maneira expressiva para a origem e evolução dos processos erosivos e dos movimentos de massa na área estudada.

O clima tropical quente e úmido presente na região facilita a atuação dos processos erosivos e dos gravitacionais. Além do calor e da umidade, há os movimentos atmosféricos que também contribuem para o transporte, a distribuição e a deposição de partículas de solos, podendo inclusive, contribuir para o assoreamento das lagunas e canais fluviais. Efetivamente, isto tem ocorrido no rio Camurupim. O que aumenta também a carga sedimentar nos rios é a retirada da mata ciliar, presente nas margens dos mesmos, que serve de sustentação daqueles solos.

Os processos costeiros e hidrológicos atuantes no sistema referem-se à

erosão costeira e fluvial, os quais causam descalçamento na base das falésias e, conseqüentemente, aumento na desembocadura da laguna de Guarairas. Esses processos são responsáveis pelo transporte de sedimentos por todo o complexo, ajudado fortemente pela dinâmica das marés. A movimentação desses sedimentos no ambiente flúvio-lacustrino podem ter interferência no aparecimento de terraços marinhos na Planície Costeira.

Um outro processo costeiro influente é a atuação da cunha salina a qual entra no continente através do estuário modificando a salinidade no sistema estuarino-lagunar. É provável que nos últimos anos tenha havido um aumento na salinidade do sistema, devido à estiagem ocorrida nesse período. A diminuição da quantidade de chuva, tanto nos canais fluviais quanto no próprio sistema lagunar, provoca a diminuição de águas doces em todo o complexo, tornando o ambiente flúvio-lacustre mais salgado. Deduz-se, então, que esse ambiente influenciado majoritariamente pelas marés, esteja sendo propício o suficiente para a implementação do grande número de viveiros de camarões na área.

Em relação aos processos antrópicos, observou-se que a atuação humana é responsável por diversas mudanças na região em estudo por causa das suas atividades econômicas. A principal modificação tem ocorrido na rede de drenagem e nas vertentes. A construção dos viveiros de camarões tem provocado dois prejuízos distintos para a ambiente: o primeiro é a retirada do material sedimentar das encostas deixando-as susceptíveis às intempéries e o outro é a transferência desse material para a construção dos diques dos viveiros nas margens das lagunas. As conseqüências dessas intervenções na natureza podem ser drásticas, pois as

bordas das lagunas juntamente com a rede de drenagem têm sofrido modificações significativas. A presença desses sedimentos dentro das lagunas é mais um agravante para o assoreamento de todo o sistema lagunar.

A ocupação do meio físico é um outro aspecto que merece ser analisado. A urbanização implica em construção de casas, prédios públicos, hotéis, e toda uma infra-estrutura adequada como pavimentação de ruas, áreas para aterro sanitário, saneamento, rede de drenagem, portos etc. Não obstante, a urbanização das cidades da região do Complexo Estuarino-Lagunar Nísia Floresta-Papeba-Guaraíras encontram-se, em um desenvolvimento desordenado. Isto foi constatado a partir da observação de escorregamentos na zona urbana, erosões em sulcos - tanto ravinas quanto voçorocas, seja por ausência de rede de drenagem como por deposição de lixo nas encostas.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusões

Pela observação feita na região do Complexo Estuarino-Lagunar Nísia Floresta-Papeba-Guarairas percebeu-se que a mesma trata-se de uma área privilegiada tanto por seus recursos naturais quanto por sua posição geográfica. São vários os fatores naturais que contribuem para isso: o clima ameno, as reservas vegetais da Mata Atlântica e dos manguezais, a hidrologia do local com seus rios, lagunas e estuário, a zona costeira com as praias, dunas e falésias, enfim, toda a paisagem natural que caracteriza e embeleza toda a região. Em relação à posição geográfica a região é bem posicionada por estar às margens da Rodovia BR-101, a qual faz a ligação com todos os estados brasileiros que compreendem o litoral oriental do Brasil, e também pela proximidade de Natal, a capital do estado, assim como pela proximidade dos estados da Paraíba e Pernambuco.

O trabalho realizado caracterizou em termos geotécnicos os solos adjacentes ao complexo estuarino-lagunar e classificou-os em Unidades Geotécnicas formando um zoneamento geotécnico da região. Além disso, foram identificadas as áreas submetidas à degradação ambiental através da análise dos processos atuantes no

sistema, tanto os naturais quanto os antrópicos, fazendo isto através de um diagnóstico da situação atual.

Foram definidas sete unidades geotécnicas: Dunas, Planície Costeira, Planície de Deflação, Terraço, Tabuleiro, Vertentes e Aluvião. Foram constatadas as seguintes características em cada uma dessas unidades:

1. Dunas: Equivale aos sedimentos de Dunas, localizados nas Dunas Fixas e nas Dunas Móveis. Os solos encontrados foram areias mal-graduadas (SP), de coloração variando de amarela a branca, constituídos basicamente de areias médias e finas, predominando as areias finas com porcentagem variando de 51% a 95%. Não contêm pedregulhos e o percentual de finos não ultrapassam 2%. A densidade real varia de 2,62 a 2,68. O coeficiente de não-uniformidade - CNU variou de 1,41 a 2,42 e o coeficiente de curvatura - CC variou de 0,89 a 1,31 demonstrando uniformidade dos grãos.
2. Planície Costeira: Equivale aos sedimentos de praia e faz interface com o Oceano Atlântico. Os solos encontrados nessa unidade são de coloração variando de branca a amarela, classificados como areia mal-graduada (SP). Sua granulometria é constituída basicamente por areia média e areia fina, somando 95% do total. A densidade Gs média desse material foi calculada em 2,65. Os finos presentes nestes solos são inexpressivos, não sendo possível submetê-los aos ensaios de limites de liquidez e de plasticidade. O

CNU foi calculado em torno de 2 e o CC entre 1 e 3. Esse padrão de coeficientes demonstra que o material é uma areia uniforme.

3. Planície de Deflação: Localiza-se entre as Dunas e as encostas do aluvião do rio Trairi. Essa planície é composta por areias siltosas mal-graduadas (SP-SM), areias siltosas (SM) e areias argilo-siltosas (SC-SM) encontradas, na sua maioria, na coloração amarela e/ou vermelha. Suas feições são identificadas como Duna Antiga, pela sua cor avermelhada. A maioria dos tipos de solos encontrados são não-plásticos, por ter pouca presença de argilo-minerais na sua composição granulométrica.
4. Terraço: Ela encontra-se numa cota intermediária entre os aluviões de grande porte da região e os tabuleiros. Neste terraço encontra-se o rio Baldum. Os sedimentos dessa unidade são basicamente siltosos: areias siltosas mal-graduadas (SP-SM), areias siltosas (SM) e siltes de baixa compressibilidade (ML). Sua coloração possui variações desde branca e amarela até vermelha e cinza. Os materiais arenosos possuem CNU menor que 6 e CC entre 1 e 3, possuindo continuidade e curvatura suave. O material siltoso possui mais de 98% de finos e não possui grãos de areia fina e média, sendo, portanto, um material mal-graduado.
5. Tabuleiro: É a unidade predominante na região em estudo. Esta unidade possui suas camadas compostas por sedimentos da Formação Barreiras. A coloração desses sedimentos possui tons de marrom em todas as amostras coletadas, variando de marrom claro a marrom-avermelhado. Os materiais encontrados foram bastante

heterogêneos: areias, siltes e argilas. As ocorrências de areias foram as mais diversificadas, porém menos freqüentes: areia mal-graduada (SP), areia siltosa (SM), areia argilosa (SC) e areia argilo-siltosa (SC-SM). Os solos que apresentaram valores não-nulos em relação aos índices de consistência foram as areias Argilo-Siltosas, as argilosas e as argilas de baixa e de alta compressibilidade. Os altos índices de plasticidade são atribuídos às argilas compressíveis. As amostras coletadas na Unidade de Tabuleiro demonstram que os solos dessa unidade são bastante heterogêneos. Os materiais finos – siltes e argilas - são mal-graduados pois não possuem partículas de areia média e fina no seu conteúdo. As areias apresentam CNU maior que 2, sugerindo não-uniformidade das amostras arenosas dessa unidade.

6. Vertentes: É formada pelas encostas entre os Tabuleiros e os Aluviões. Possui suas camadas compostas por sedimentos da Formação Barreiras ou por sedimentos eólicos. Trata-se de uma área bastante vulnerável, passível de diversos tipos de erosões e movimentos de massa. Devido a sua fragilidade, há nessa unidade ocorrências de deslizamentos e de instabilidades em taludes, formando áreas de risco. Os sedimentos encontrados nessa unidade foram bem diversificados, variando de arenosos a argilosos: areia mal-graduada (SP), onde predominam os sedimentos eólicos; areia siltosa (SM), onde ocorrem tanto sedimentos eólicos como da Formação Barreiras; areia argilo-siltosa (SC-SM) e areia argilosa (SC), predominando sedimentos da Formação Barreiras; silte de

baixa compressibilidade (ML); e, argila de baixa compressibilidade (CL). As areias mal-graduadas são, como de praxe, de cor amarela. As areias siltsosas ocorrem na coloração marrom, vermelha, variegada de rósea-branca e variegada de amarela-vermelha-branca. As areias argilo-siltsosas ocorrem em cores variegadas e de consistência argilosa. As areias argilosas ocorrem na coloração variegada vermelha com manchas amarelas, igualmente ao silte de baixa compressibilidade. As argilas de baixa compressibilidade ocorreram em um material variegado com colorações vermelhas, amarelas, brancas ou marrons, sendo as cores predominantes amarela e vermelha, podendo ocorrer blocos laterizados, ou seja, com concentração de ferro ou concreções ferruginosas. Nessa unidade predominam os solos plásticos. Os maiores índices de plasticidade são atribuídos aos materiais argilosos: argilas compressíveis e areias argilosas. Os materiais CL e ML possuem uma característica em comum que é a ausência de areias finas e médias. O CNU só pôde ser determinado no caso do material SP, no qual foram classificadas como areias mal-graduadas pois possuem CNU menor que 6.

7. Aluvião: Equivale aos sedimentos aluvionares. Existem três aluviões importantes na região: Jacu, Ararai e Trairi. No aluvião do rio Jacu foram encontrados sedimentos arenosos, com presença de finos. Esses sedimentos aluvionares foram os seguintes: areia siltosa (SM), areia argilo-siltosa (SC-SM), areia argilosa (SC), e, argila de baixa compressibilidade (CL). Neste aluvião, a coloração da areias

siltosas tenderam de amarela a marrom, enquanto que para as areias argilosas tenderam de amarelas a cinzentas. O aluvião do rio Ararai possui sedimentos arenosos tendentes a siltosos. Foram encontradas areias mal-graduadas (SP), areias siltosas mal-graduadas (SP-SM) e areias siltosas. O aluvião do rio Trairi, dentre todos da região, mostra-se como o mais diversificado em termos de sedimentos, pois eles são bastante heterogêneos, Essa unidade possui solos plásticos e não-plásticos. Os solos que apresentaram valores não-nulos em relação aos índices de consistência foram as areias argilo-siltosas, as argilosas e as argilas de baixa e de alta compressibilidade, além das areias siltosas e dos siltes de baixa e de alta compressibilidade. Esses materiais possuem oscilações de plasticidade dependendo do percentual de partículas argilosas no seu meio.

Com base nos estudos geotécnicos realizados para esta região, pelos resultados obtidos e pelas análises realizadas, verificou-se que as Unidades Geotécnicas possuem características físicas distintas, sendo algumas bastante homogêneas, predominando um mesmo tipo de solo, como é o caso da Unidade de Dunas e da Unidade Planície Costeira. Outras unidades apresentaram-se bem heterogêneas, tanto em relação aos tipos de solos quanto em relação à coloração e textura dos mesmos.

Verificou-se também na região pontos de fragilidades e vulnerabilidades como erosões e movimentos de massas em encostas, devastação

da mata ciliar, modificação da rede drenagem tanto nos rios quanto nas bordas das lagunas.

Considerando, portanto, a definição das unidades geotécnicas, a identificação realizada das áreas vulneráveis e em degradação existentes, e ainda considerando que a área do complexo estuarino-lagunar estudada trata-se de uma área de preservação ambiental, protegida por Lei Estadual e Federal, percebeu-se que os principais vetores de impacto sobre a reserva natural do complexo são basicamente de origem antrópica:

- ocupação de encostas de forma desordenada;
- mineração sem recuperação das áreas degradadas;
- intervenções nas unidades geotécnicas de Dunas e Vertentes, e nos ecossistemas de manguezais e lagunas, devido à especulação imobiliária ligada à atividade turística, e devido à atividade pesqueira industrial com vistas à exportação;
- desmatamento na área litorânea de dunas e devastação da mata ciliar e manguezais;
- monocultura em áreas de preservação da Mata Atlântica, matas ciliares, encostas e dunas.

Em relação à unidade de Vertentes, que é a unidade mais vulnerável da região estudada, observou-se que as encostas naturais com sua cobertura vegetal própria não possuem problemas de instabilização.

A intervenção do homem no meio ambiente deve ser feita de maneira racional, de forma que a natureza não seja destruída e nem degradada, e se mantenha de maneira saudável a relação de interdependência existente entre o Homem e a natureza.

6.2 Recomendações para Futuras Pesquisas

As recomendações registradas neste capítulo emanam da experiência da pesquisa e possui não só a finalidade de direcionar futuras pesquisas como também o propósito de orientar um melhor uso e ocupação da região estudada.

Em relação às áreas de degradação ambiental deve-se dar continuidade aos estudos regionais, de forma que seja incluído um relatório ou uma avaliação completa de impacto ambiental.

Estudos para dar continuidade à pesquisa:

1. O estudo e a caracterização sedimentológica dos sedimentos das lagunas ou depósitos flúvio-lacustres;
2. o estudo e a caracterização geotécnica detalhada das áreas de degradação na região;
3. monitoramento e acompanhamento do aumento da desembocadura e do recuo das falésias e da erosão costeira, fluvial e nas encostas;
4. verificação da salinidade do complexo, dos canais fluviais e lagunas, em vários pontos;
5. medição das vazões dos rios existentes e verificação dos dados climatológicos referente ao período mais recente de chuvas.

Recomendações com vistas à Gestão Ambiental

1. Incentivo à atividades econômicas que sejam compatíveis com um desenvolvimento sustentável para a região, contribuindo para a formulação da Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável do Ministério do Meio Ambiente;
2. incentivo e promoção do Ecoturismo como forma de preservação ambiental;
3. solicitação ao Governo Estadual da regulamentação e publicação do Zoneamento Ecológico-Econômico de acordo com o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro (Lei Nº 6.950, de 20 de agosto de 1996);
4. solicitação ao órgão público competente da elaboração e publicação do Macrozoneamento e Plano de Manejo da APA Bonfim/Guaraira, de acordo com o Artigo 4º da Decreto Nº 14.369, de 22 de março de 1999;
5. fomento ao desenvolvimento de tecnologias de preservação e proteção do meio ambiente que visem a redução de impactos ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDAD, J. Alterações fluviais e erosão costeira. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 1, p. 5-13, jan./jun. 1997.

ALCÂNTARA, M. A. T. de; VILAR, O. M. **Aplicação de métodos de análise para a avaliação da erodibilidade de alguns solos do Estado de São Paulo**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO. 6. 1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABGE, 1998. Versão em cd-room.

AMARAL, R. F. **Contribuição ao estudo da evolução morfodinâmica do litoral oriental sul do Rio Grande do Norte, entre Ponta de Búzios e Baía Formosa**. 2000. Tese (Doutorado em Geociências). Porto Alegre: UFRGS, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6502: solos e rochas. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6508: grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm – determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: solo – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

BAGNOLI, E; FARIAS, P. R. C. **Evolução, em tempos históricos, da morfologia da “Lagoa” de Guarairas, litoral sul do estado do Rio Grande do Norte**. In: SIMPÓSIO SOBRE PROCESSOS SEDIMENTARES E PROBLEMAS AMBIENTAIS NA ZONA COSTEIRA NORDESTE DO BRASIL. n. ... 1995, Recife. **Anais...** Recife: editora, 1995. p. 45-48.

BASTOS, C. A. B; DIAS, R. D. Unidades Geotécnicas de Solos de Porto Alegre. **Revista do Instituto Geológico**. Volume Especial, p. 85-89. 1995.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Projeto Radambrasil. **Mapa Exploratório de Solos, Escala 1:1.000.000, Folha Jaguaribe-Natal**. Secretaria-Geral do Ministério das Minas e Energia. Levantamento de Recursos Naturais. Mapa realizado para o Programa de Integração Nacional. Brasília: 1981. v. 23.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Projeto Radambrasil. **Mapa Geomorfológico, Escala 1:1.000.000, Folha Jaguaribe-Natal**. Secretaria-Geral do Ministério das Minas e Energia. Levantamento de Recursos Naturais. Mapa realizado para o Programa de Integração Nacional. Brasília: 1981. v. 23.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Os Ecossistemas Brasileiros e os Principais Macrovetores de Desenvolvimento: Subsídios ao Planejamento da Gestão Ambiental/** Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, Secretaria de Coordenação dos Assuntos do Meio Ambiente, Programa Nacional do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 1995.

BROLLO, M. J. et al. **Da carta geotécnica à gestão territorial: o diagnóstico do meio físico na porção média da bacia do rio Piracicaba, SP**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA. 2. 1996, São Carlos. **Anais...** São Carlos: ABGE, 1996. p. 119-128.

CARVALHO, S. M. G. C. de. **Sedimentos da Lagoa de Guaraíras**. 1978. 89f. Tese (Mestrado em Geociências). Recife: UFPE 1978.

CARVALHO, M. F. **Sedimentos da Lagoa de Nísia Floresta**. 1982. 92f. Dissertação (Mestrado em Geociências). Recife: UFPE, 1982.

CARVALHO, E. T. de. **Geologia Urbana para Todos: uma Visão de Belo Horizonte**. Belo Horizonte: [s n], 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1974.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

CUNHA, M. A. (Coordenador). **Ocupação de encostas**. São Paulo: IPT, 1991.

DAEE/IPT. **Controle de Erosão: Bases Conceituais e Técnicas; Diretrizes para o Planejamento Urbano e Regional; Orientações para o Controle de Boçorocas Urbanas**. São Paulo: Departamento de Águas e Energia Elétrica/ Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1989.

DIAS, R. D. et al. **Mapeamento Geotécnico da Região Metropolitana de Porto Alegre**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA. 2. 1996, São Carlos. **Anais...** São Carlos: ABGE, 1996. p. 71-78.

DINIZ, N. C; FREITAS, C. G. L. de; ORTIZ, M. J. O. **Mapa dos condicionantes físico-ambientais da bacia do rio Paraíba do Sul**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA. 2. 1996, São Carlos. **Anais...** São Carlos: ABGE, 1996. p. 201-209.

DINIZ, R. F. et al. **Assoreamento da Laguna de Nísia Floresta**. Parecer Técnico. Natal: CEFETRN/EMPARN, 2000.

GRUBER, G. A. G; RODRIGUES, J. R. Carta de erodibilidade da folha de Cosmópolis, São Paulo: Auxílio ao gerenciamento do meio físico. **Revista do Instituto Geológico**. Volume Especial, p. 57-64. 1995.

GUIDICINI, G; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo: Edgard Blücher, 1983.

IDEMA/RN. **Informativos Municipais**. Municípios de São José do Mipibú, Nísia Floresta, Senador Georgino Avelino, Arês, Goianinha e Tibau do Sul. Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte, 2000.

IWASA, O. Y; FENDRICH, R. Controle da Erosão Urbana. In: OLIVEIRA, A. M. dos S; BRITO, S. N. A. de. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998.

KERTZMAN, F. F. et al. Mapa de erosão do Estado de São Paulo. **Revista do Instituto Geológico**. Volume Especial, p. 31-36. 1995.

LOLLO, J. A; ZUQUETTE, L. V. **Utilização da técnica de avaliação do terreno em cartografia geotécnica: sistemática proposta e resultados obtidos para a**

quadrícula de Campinas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA. 2. 1996, São Carlos. **Anais...** São Carlos: ABGE, 1996. p. 3-12.

MELO, F. T. L. **Mapeamento geológico, geomorfológico e geoambiental da região de Goianinha/Tibau do Sul (Complexo estuarino-lagunar Jacú-Guaráiras).** Natal: UFRN, 1997. Relatório de Graduação.

MELO, F. T. L. **Aspectos morfo-dinâmicos do complexo lagunar Nísia Floresta-Papeba-Guaráiras, região costeira sul oriental do RN.** 2000. 75f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica). Natal: UFRN, 2000.

PEJON, O. J; ZUQUETTE, L. V. Mapeamento Geotécnico Regional na escala 1:100.000 – Considerações Metodológicas. **Revista do Instituto Geológico.** Volume Especial, p. 23-29. 1995.

PEREIRA, R. et al. **Carta geotécnica do Município de Nísia Floresta – RN.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA. 2. 1996, São Carlos. **Anais...** São Carlos: ABGE, 1996. p. 233-239.

PINHEIRO, R. J. B; DIAS, R. D. Mapeamento geotécnico da Formação Rosário do Sul na região metropolitana de Porto Alegre. **Revista do Instituto Geológico.** Volume Especial, p. 77-83. 1995.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas.** São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

PIRES NETO, A. G; YOSHINAGA, S. O planejamento territorial no Instituto Geológico: revisão e avaliação da experiência. **Revista do Instituto Geológico.** Volume Especial, p. 37-43. 1995.

RIO GRANDE DO NORTE. Decreto n. 14.369, de 22 de março de 1999. Cria a Área de Proteção Ambiental (APA) Bonfim/Guaráira nos Municípios de Nísia Floresta, São José do Mipibú, Senador Georgino Avelino, Goianinha, Ares, Tibau do Sul, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**, Natal, ano 66, n. 9.469, 23 mar. 1999.

RIO GRANDE DO NORTE. Lei n.6.950, de 20 de agosto de 1996. Dispõe sobre o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**, Natal, 20 ag. 1996.

SANTOS Jr, O. F. dos. **Estudo Experimental do Comportamento de um Solo Residual Submetido a Variações de Poro-pressão**. 1996. 215f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil/Geotecnia). Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1996.

SANTOS JR, et al. **Caracterização geoambiental da região de Guarairas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. 9. 1999. São Paulo: ABGE, 1999. Versão em cd-room.

SANTOS JR., O. F. et al. **Erosão e assoreamento de lagunas no litoral leste do Rio Grande do Norte**. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS. 3. 2001. Rio de Janeiro: ABMS, 2001.

SCUDELARI, A. C. et al. **Diagnóstico ambiental preliminar do sistema Jacú-Trairi-Guarairas: meio-físico**. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE. 4. 1998, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: ABRH, 1998. Versão em cd-room.

SCUDELARI, A. C. et al. **Identificação dos impactos ambientais suportados pela Lagoa de Guarairas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 13. 1999, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABRH, 1999. Versão em cd-room.

SCUDELARI, A. C; MEDEIROS, R. C. F. de. **Inventário Geoambiental da Lagoa de Guarairas**. Natal, 1999. Estado da Arte, Relatório de Pesquisa apresentado a PPPG-UFRN, 1999.

SCUDELARI, A. C. SANTOS JR, O. F. AMARAL, R. F. do. **Caracterização preliminar do meio físico do sistema estuarino lagunar Nísia Floresta-Papeba-Guarairas**. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE. 5. 2000, Natal. **Anais...** Natal: ABRH, 2000. Versão em cd-room.

SCUDELARI, A. C. et al. **Indicação dos impactos ambientais no sistema estuarino lagunar Nísia Floresta-Papeba-Guarairas/RN**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 14. 2001, Aracaju. **Anais...** Aracaju: ABRH, 2001a. Versão em cd-room.

SCUDELARI, A. C. et al. **Processos erosivos na embocadura da laguna de Guarairas – RN**. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO. 6. 2001, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ABGE, 2001b. Versão em cd-room.

SILVEIRA, I. M. **Aspectos Sedimentológicos da Lagoa de Papeba**. 1981. 56f. Natal: UFRN, 1981. Monografia de Graduação.

STANCATI, G; NOGUEIRA. J. B; VILAR, O. M. **Ensaio de Laboratório em Mecânica dos Solos**. São Carlos: EESC/USP, 1981.

SUDENE. **Projeto C7 – Fôlha SB.25-Y-A-II – São José Do Mipibú e Fôlha SB.25-Y-A-III, índice das fotografias 1:70.000**. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - Departamento de Recursos Naturais (DRN) - Divisão de Cartografia, 1971.

ZUQUETTE, L. V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras**. 1987. 3v. Tese de Doutorado. São Carlos: EESC/USP, 1987.

ZUQUETTE, L. V; NAKAZAWA, V. A. Cartas de Geologia de Engenharia. In: OLIVEIRA, A. M. dos S; BRITO, S. N. A. de. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998.

APÊNDICE A

APÊNDICE A

O ensaio de Análise Granulométrica consiste basicamente na análise das dimensões dos grãos objetivando determinar uma curva granulométrica. Para a realização desse ensaio, as amostras de material são submetidas a um peneiramento em uma série-padrão de peneiras de acordo com as Normas Brasileiras – NBR. Posteriormente, determina-se a massa de material retido em cada peneira, e os resultados são plotados em um gráfico. Este ensaio é normatizado pela NBR 7181 – Análise Granulométrica dos Solos, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

O ensaio de Limite de Liquidez dos Solos tem por objetivo determinar o limite de liquidez (LL) de um solo. O procedimento para a realização deste ensaio é objeto de descrição da NBR 6459 da ABNT. Seu processo de execução consiste em várias etapas. Primeiramente calibra-se o aparelho de Casagrande. Depois separa-se cinco cápsulas de alumínio e anota-se seus respectivos números assim como seus respectivos pesos. Coloca-se cerca de 100g de amostra destorroada que passa na peneira nº 40, numa cápsula e pesa-se. Coloca-se, em seguida, essa amostra numa cápsula de porcelana, adicionando-se água destilada aos poucos e homogeneizando-a, até formar uma massa plástica. Transfere-se parte dessa massa para a concha do aparelho de Casagrande moldando-a de tal forma que a espessura da parte central seja de aproximadamente 1 cm. Com um dos cinzéis

divide-se a massa de solo da concha em duas partes, abrindo uma canelura em seu centro. Em seguida, aciona-se a manivela do aparelho aplicando 2 golpes por segundo na concha contra a sua base, até que as bordas internas da canelura se unam no comprimento de 1 cm. Registra-se o número de golpes, quando ocorrer a união da canelura. Retira-se um pedaço da amostra, com aproximadamente 6g no local onde a canelura se uniu e coloca-se em uma das cápsulas de alumínio. Pesa-se e registra-se esse valor. Coloca-se, na seqüência, a amostra numa estufa a 105°C – 110°C, durante doze horas. Coloca-se os restos do material que está na concha de volta na cápsula de porcelana e limpa-se o cinzel e a concha do aparelho. Repete-se esses passos para as outras quatro amostras. Por fim, retira-se as cápsulas da estufa, pesa-se e registra-se os dados dos pesos secos das amostras.

A determinação do limite de liquidez é obtida a partir de três índices físicos:

- Peso da água – a diferença entre o peso bruto úmido e peso bruto seco;
- Peso do solo seco – a diferença entre o peso bruto seco e a tara da cápsula; e,
- Umidade – a razão entre o peso da água e o peso do solo seco, vezes 100.

Para se construir o gráfico do limite de liquidez é necessário indicar o número de golpes nas abscissas (em escala logarítmica) contra os teores de umidade nas ordenadas. Os pontos obtidos devem se aproximar de uma reta, de forma que se faz o ajuste para a reta que melhor se adequar a estes pontos. Obtém-se o limite de

liquidez, expresso pelo teor de umidade correspondente a abscissa relativa a 25 golpes.

Em suma, de acordo com Stancati et al (1981), o ensaio para determinação dos limites de liquidez é realizado no Aparelho de Casagrande e consta do destorroamento e da homogeneização de uma amostra de solo, determinando-se sua umidade “w”. Depois de todo o procedimento realizado, conforme descrito anteriormente, os resultados são plotados, determinando-se, assim, o valor do Limite de Liquidez correspondente a 25 golpes.

O ensaio de Limite de Plasticidade dos Solos tem como objetivo determinar o limite de plasticidade (LP) e o índice de plasticidade (IP) de um solo. Seu processo de execução consiste em várias etapas. Primeiramente separam-se cinco cápsulas de alumínio e anota-se seus respectivos números assim como seus respectivos pesos. Coloca-se cerca de 50g de amostra destorroada que passa na peneira nº 40, numa cápsula e pesa-se. Coloca-se, em seguida, essa amostra numa cápsula de porcelana, adicionando-se água destilada aos poucos e homogeneizando-a, até formar uma massa plástica. Com as mãos, faz-se uma pequena bola utilizando parte da massa. Rola-se esta bola sobre uma placa de vidro esmerilhada, com pressão suficiente da mão até que esta tome a forma de um cilindro de 3 mm de diâmetro. Quando o cilindro atingir este diâmetro, deverá apresentar pequenas fissuras. A verificação do diâmetro efetua-se utilizando o cilindro de comparação. Após a apresentação das fissuras quebra-se o cilindro em três ou quatro pedaços e transfere-se o material para uma cápsula de alumínio. Pesa-se e registra-se o seu peso. Na seqüência, coloca-se a amostra numa estufa a 105°C – 110°C, durante

doze horas. Coloca-se os restos do material que está na concha de volta na cápsula de porcelana. Repete-se esses passos de forma a obter no mínimo três amostras. Por fim, retira-se as cápsulas da estufa, pesa-se e registra-se os dados dos pesos secos das amostras.

A determinação do limite de plasticidade é obtida a partir dos seguintes índices físicos:

- Peso da água – a diferença entre o peso bruto úmido e peso bruto seco;
- Peso do solo seco – a diferença entre o peso bruto seco e a tara da cápsula; e,
- Umidade – a razão entre o peso da água e o peso do solo seco, vezes 100.

O limite de plasticidade será dado pela média aritmética dos valores das umidades encontrados anteriormente.

Calcula-se o índice de plasticidade, através da seguinte fórmula:

$$IP = LL - LP$$

Onde:

- IP – Índice de plasticidade
- LL – Limite de liquidez

- LP – Limite de plasticidade

O procedimento para a realização do ensaio de Limite de Plasticidade dos Solos é padronizado pelo Método NBR 7180 da ABNT.

O ensaio para determinação do peso específico dos sólidos possui duas partes distintas: a primeira é a realização da calibração do picnômetro e a segunda é a realização do ensaio propriamente dito. O peso específico dos sólidos consiste na relação entre o peso das partículas sólidas e o seu volume. O procedimento do ensaio difere, em parte, dependendo do tipo de solo a ser ensaiado, se argiloso ou arenoso. Pinto (2000) descreve resumidamente este procedimento da seguinte forma: um peso seco conhecido do solo é colocado em um picnômetro e, completando-se com água, determina-se o peso total. O peso do picnômetro completado só com água, mais o peso do solo, menos o peso do picnômetro com solo e água, resulta no peso da água que foi substituída pelo solo. Deste peso, calcula-se o volume de água que foi substituído pelo solo e que é o volume do solo. Com o peso e o volume do solo determina-se o peso específico dos grãos. O peso dos sólidos é obtido no final do ensaio, após a secagem do material utilizado. A norma NBR 6508 da ABNT é a que padroniza o ensaio de determinação da massa específica para grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm.

APÊNDICE B

APÊNDICE B

O Sistema Unificado para Classificação dos Solos (SUCS) baseia-se na identificação dos solos, de acordo com sua textura e plasticidade, e no grupamento dos solos, de acordo com seu comportamento sob a ação das cargas e das intempéries. Através dessa classificação, as características dos solos indicam qual será o seu comportamento como material de construção. Essas propriedades podem ser verificadas com certa exatidão através de ensaios simples: percentagens de pedregulho, areia e finos; análise granulométrica; e características de plasticidade e compressibilidade.

O objetivo das classificações dos solos, e em especial do SUCS, é descrever detalhadamente os vários grupos de solos, e seus métodos de identificação, de modo que todos possam classificá-los com uniformidade. Para isso, é necessário se fazer ensaios padronizados de laboratório, além dos exames básicos visuais. Na maioria dos casos, o exame visual e ensaios simples são suficientes para situar os solos numa das três grandes divisões do sistema unificado: solos de granulometria grossa, solos de granulometria fina e solos altamente orgânicos. No Quadro B.1 abaixo encontra-se o esquema utilizado para a classificação dos solos pelo SUCS.

QUADRO B.1 - Esquema para classificação pelo Sistema Unificado (Pinto, 2000).

% P#200 < 50	G > S : G		% P#200 < 5	GW CNU > 4 e 1 < CC < 3	
				GP CNU < 4 ou 1 > CC > 3	
			% P#200 > 12	GC	
		GM			
			5 < #200 < 12	GW-GC, GP-GM, etc.	
	S > G : S		% P#200 < 5	SW CNU > 6 e 1 < CC < 3	
			SP CNU < 6 ou 1 > CC > 3		
% P#200 > 12			SC		
	SM				
		5 < #200 < 12	SW-SC, SP-SC, etc.		
% P#200 > 50	C	CL			
		CH			
	M	ML			
		MH			
	O	OL			
		OH			

Legenda:

G – Pedregulho

W – Bem graduado

S – Areia

P – Mal graduado

C – Argila

H – Alta compressibilidade

M – Silte

L – Baixa compressibilidade

O – Material orgânico

A classificação dos solos através do Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) contribuiu para a análise do comportamento dos vários tipos de solos em cada Unidade Geotécnica. Os principais tipos de sedimentos encontrados e suas respectivas características estão descritos a seguir:

Solos de granulometria grossa -

- SP (Areia Mal-graduada): Solos mal graduados contendo areia, sem muitos finos (menos de 5% passando na peneira nº 200). Esse material pode ser classificado como areias uniformes.
- SM (Areia Siltosa): Compreendem areias com uma maior quantidade de finos (mais de 12% passando na peneira nº 200). O índice de plasticidade e o limite de liquidez da fração desses solos que passa na peneira nº 40 devem identificar, no gráfico de plasticidade um ponto abaixo da linha "A". Algumas areias podem conter um cimento natural de boa liga, sendo insignificantes as propriedades de expansão e de contração do material. A resistência desses materiais secos decorre de pequena quantidade de solo-aglutinante, de cimentação de material de óxido de ferro.
- SC (Areia Argilosa): Solos arenosos, com finos (mais de 12% passando na peneira nº 200) cuja plasticidade pode ser alta ou baixa. O índice de plasticidade e o limite de liquidez devem identificar pontos acima da linha "A" no gráfico de plasticidade. Nesse tipo de solo a plasticidade da fração aglomerante influi mais

no seu comportamento do que na sua composição granulométrica, independente de ser bem ou mal graduado. Os finos são argilosos.

Solos de granulometria fina

- ML (Silte de Baixa Compressibilidade): Esses solos são siltes arenosos ou argilosos, sem matéria orgânica, com plasticidade e limite de liquidez relativamente baixos.
- MH (Silte de Alta Compressibilidade): São siltes arenosos ou argilosos, também sem matéria orgânica, plásticos, com limite de liquidez alto acima de 50%.
- CL (Argila de Baixa Compressibilidade): Também representam limite de liquidez baixo. São essencialmente argilas sem matéria orgânica. As de baixa plasticidade são em geral magras, arenosas ou siltosas.
- CH (Argila de Alta Compressibilidade): São argilas de média ou alta compressibilidade, com limite de liquidez acima de 50%. Consistem em materiais bastante plásticos.

Solos limítrofes

- SP-SM (Areia Siltosa Mal-Graduada): São areias que possuem entre 5% a 12% de finos passando na peneira nº 200. Os solos contendo entre 5% e 12% de finos passando na peneira nº 200 são considerados limítrofes, e possuem características de ambos os solos que o compõem.

- SC-SM (Areia Argilo-Siltosa): É um tipo de solo considerado como limítrofe, pois não se enquadra na classificação de solos de granulometria grossa nem de solos de granulometria fina. Possui mais de 12% passando na peneira n° 200.

A granulometria que foi utilizada para os ensaios de análise granulométrica, e para a classificação das amostras de sedimentos é mostrada no Quadro B.2.

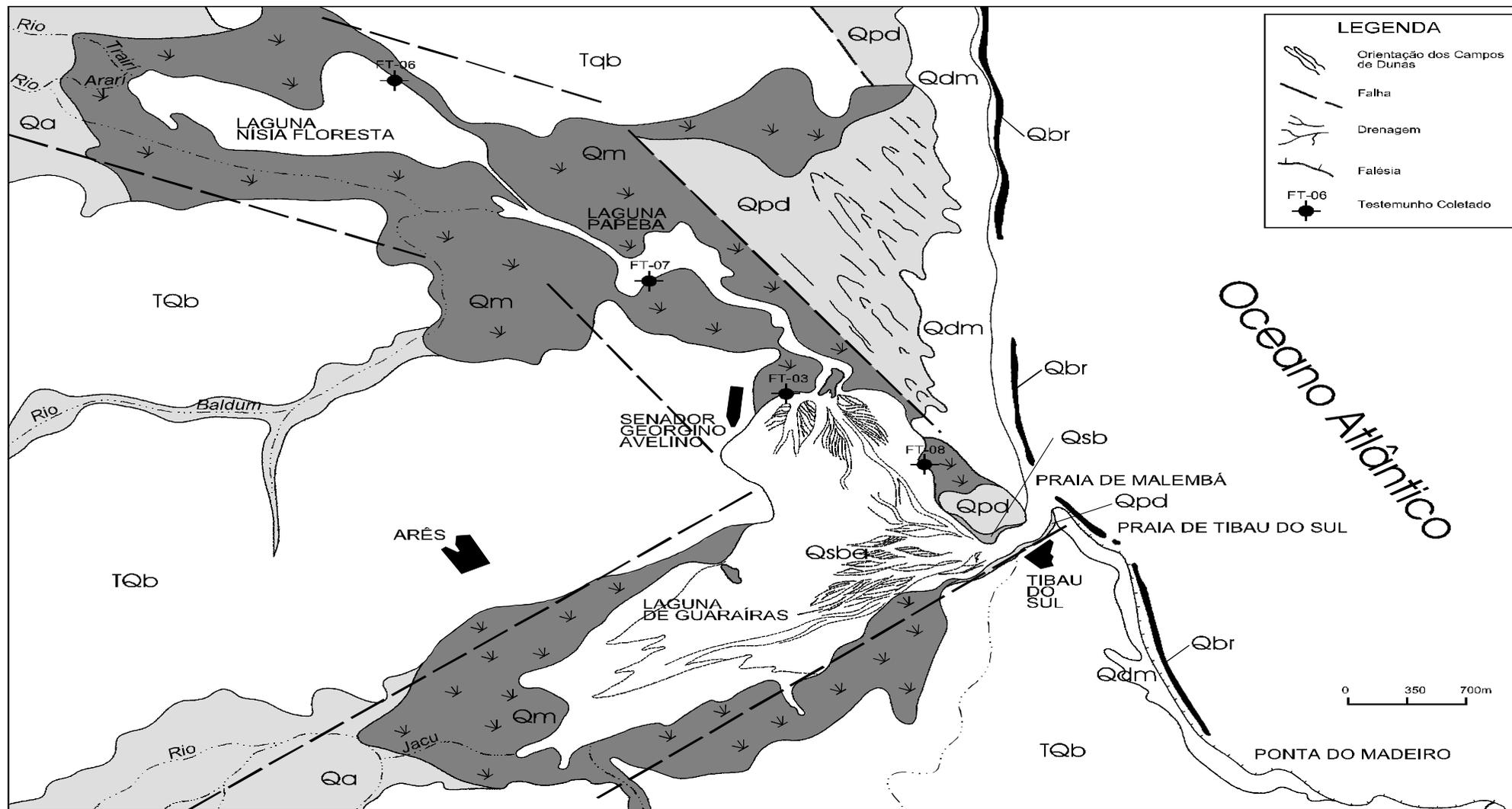
QUADRO B.2 – Granulometria dos solos utilizada nos ensaios e na classificação (Pinto, 2000).

Granulometria do material	Dimensões
Matacão	De 25 cm a 1m
Pedra	De 7,6cm a 25cm
Pedregulho (G)	De 4,8mm a 7,6cm
Areia grossa (S)	De 2,0mcm a 4,8mm
Areia média (S)	De 0,42mm a 2,0mm
Areia fina (S)	De 0,074mm a 0,42mm
Silte (M)	De 0,002mm a 0,074mm
Argila (C)	Inferior a 0,002mm

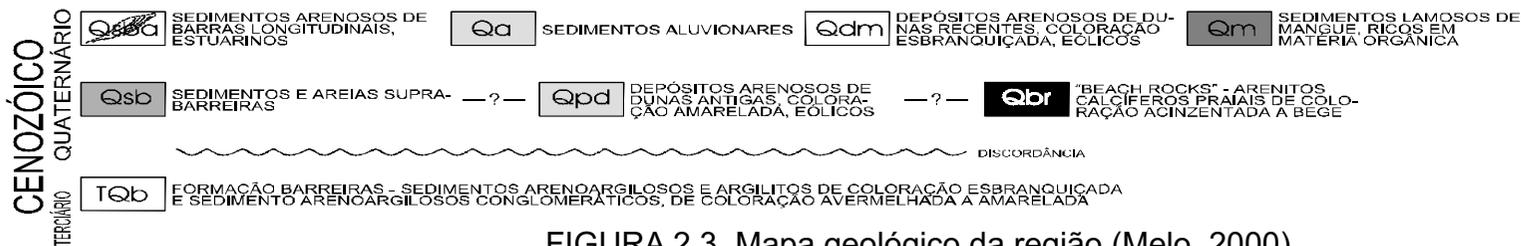
MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO DO COMPLEXO LAGUNAR NÍSIA FLORESTA - PAPEBA - GUARAÍRAS/RN

35°12'40"

35°04'42"
06°06'11"



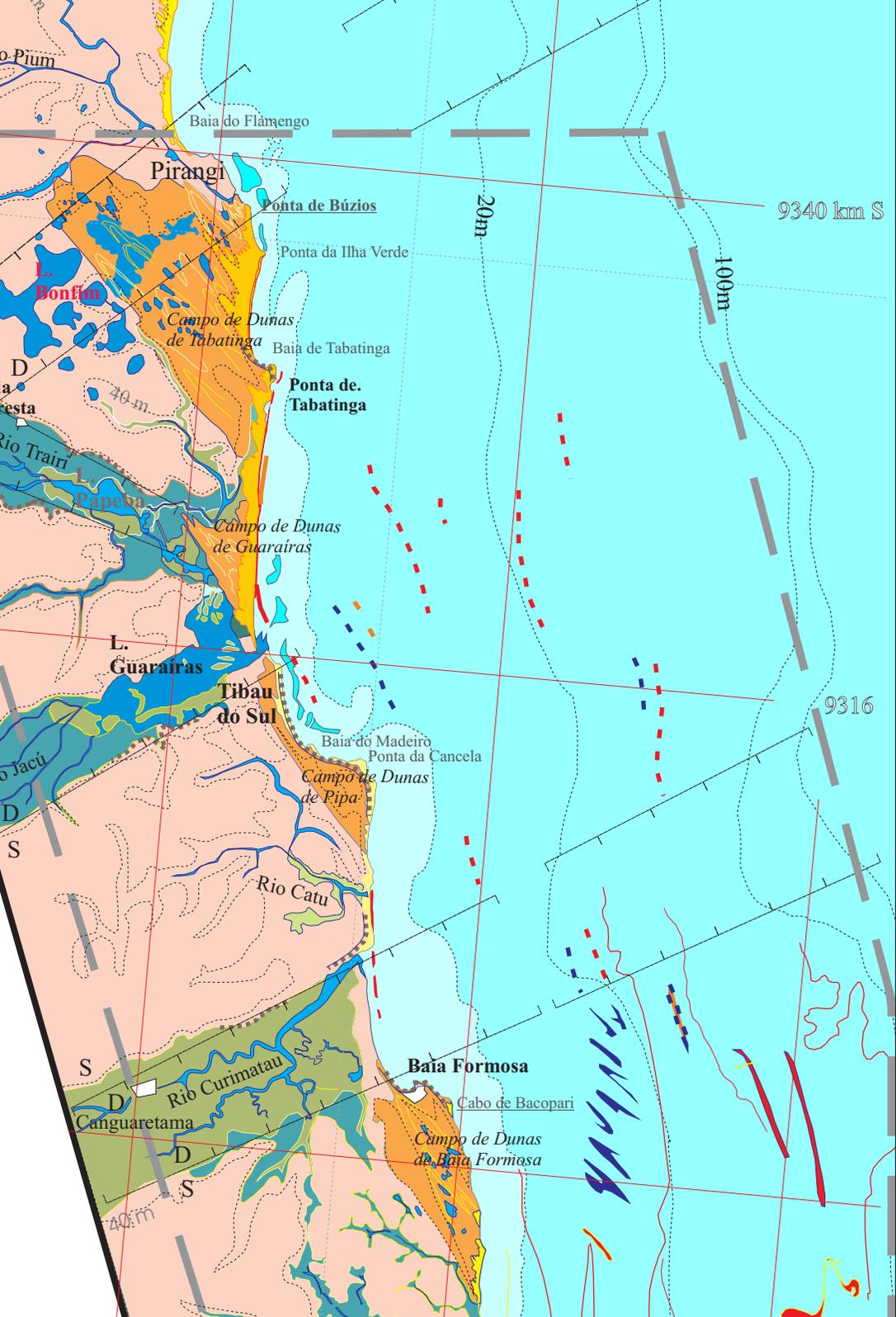
COLUNA LITOESTRATIGRÁFICA



MAPA DE LOCALIZAÇÃO



FIGURA 2.3 Mapa geológico da região (Melo, 2000).



Convenções

Limites da área estudada

Geomorfologia

Formas estruturais

- Falésias e outras superfícies escarpadas
- Grabens emersos (Bonfim, Canguaretama e Trairi) e continuações submersas inferidas.
- Hemi Graben Jacu/Guarairas e continuação submersa inferida

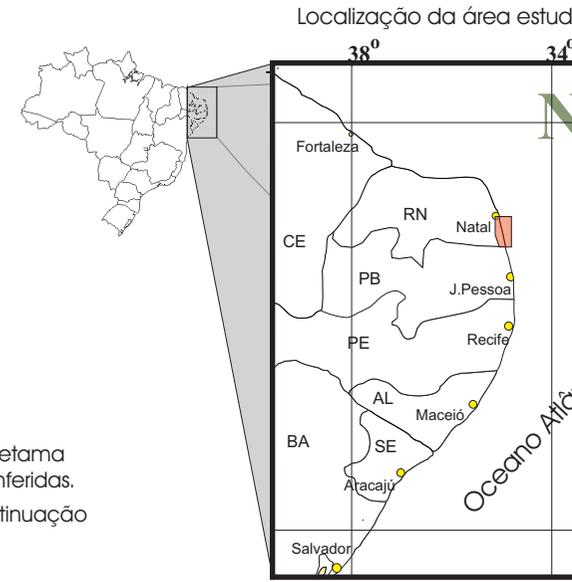
Formas de relevo

- Terraço fluvio/lacustrino
- Rios e riachos
- Lagos e Lagunas
- Corpos de arenito submersos inferidos
- Relevos positivos e negativos na plataforma continental
- Dunas ou campos de dunas parabólicas vegetadas
- Dunas ou campos de dunas parabólicas não vegetadas (em "blowout")
- Dunas primárias litorâneas
- Dunas subaquosass
- Superfície dos tabuleiros

Convenções cartográficas

- Topografia / Batimetria
- Curvas de nível
 - Curvas batimétricas
 - Cidade, vila ou povoado

Imagens de sensores remotos utilizadas:
 SPOT - XS (na área emersa)
 imagem de agosto de 1994



Geologia

- Sedimentos de praia modernos - areias finas a médias com cascalhos subord.
- Sedimentos eólicos - areias quartzosas bem selecionadas.
- Sedimentos fluvio-marinhos - areias a c. variado de matéria orgânica.
- Sedimentos dos Tabuleiros - areias a ar. óxido de ferro e níveis de cascalho.
- Sedimentos submersos indiscriminados nos a argilosos e carbonatos biogén.

Projeção UTM
 Meridiano central 33 graus
 Carta base:
 Folha topográfica São José do Mipibu (SUDENE, 1971) - Escala 1.100.000

Outras cartas consultadas:
 Carta náutica n. 800 (DHN, 1972) - Escala aprox. 1: 315.000

Mapa Geológico e Geomorfológico do Litoral Oriental do RN. (FONSECA *et al.* 1997) - Escala 1:250.000

Maiores detalhes sobre cada uma das feições representadas, serão obtidos ao longo do texto. Este mapa é parte constituinte da Tese: "Evolução geológica e geomorfológica do litoral oriental do RN".



FIGURA 5.1 Mapa da região com os pontos de coleta de amostras.

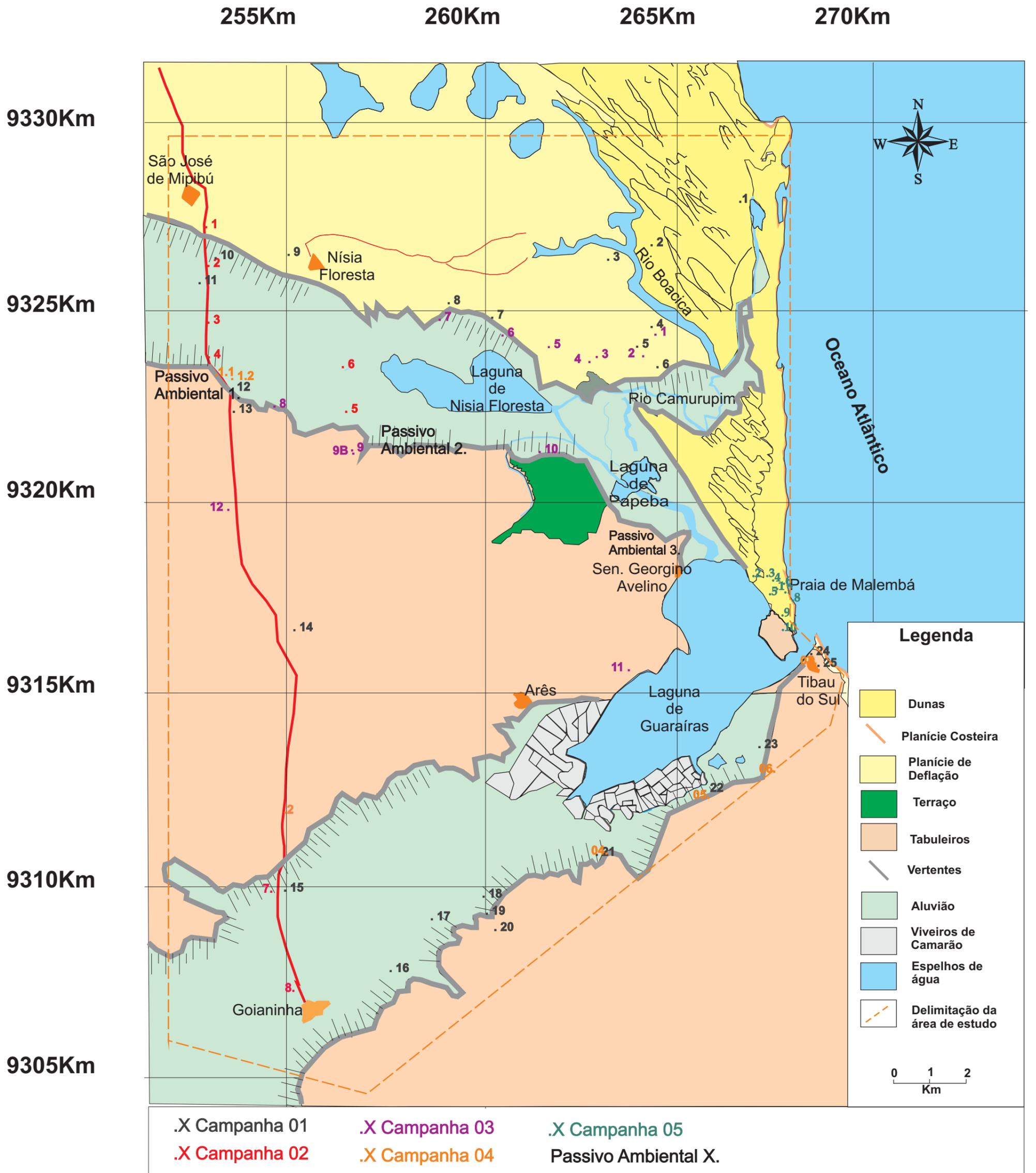


FIGURA 5.2 Mapa de Zoneamento Geotécnico Geral da região.