

**Universidade Federal de Santa Catarina
Centro de Filosofia e Ciências Humanas
Programa de Pós-Graduação em Geografia**

**ESTUDO GEOTÉCNICO PARA A AVALIAÇÃO DA APTIDÃO
FÍSICA DE TERRENOS DE PLANÍCIE COSTEIRA À
URBANIZAÇÃO:
TRECHO ITAPIRUBA – LAGUNA, SC.**

João Carlos Rocha Gré

TESE DE DOUTORADO

Florianópolis

2013

João Carlos Rocha Gré

**ESTUDO GEOTÉCNICO PARA A AVALIAÇÃO DA APTIDÃO
FÍSICA DE TERRENOS DE PLANÍCIE COSTEIRA À
URBANIZAÇÃO:
TRECHO ITAPIRUBA – LAGUNA, SC.**

Tese submetida ao Programa de Pós-graduação em Geografia, área de concentração em Utilização e Conservação de Recursos Naturais, do Departamento de Geociências, Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para a obtenção do grau de Doutor em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Edison Ramos Tomazolli

Florianópolis

2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Gré, João Carlos Rocha

Estudo geotécnico para a avaliação da aptidão física de terrenos de planície costeira à urbanização. Trecho Itapiruba - Laguna, SC. [tese] / João Carlos Rocha Gré ; orientador, Edison Ramos Tomazolli - Florianópolis, SC, 2013.

287 p. ; 21cm

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Inclui referências

1. Geografia. 2. Geologia costeira. 3. Geotecnia. I. Tomazolli, Edison Ramos. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

João Carlos Rocha Gré

**ESTUDO GEOTÉCNICO PARA A AVALIAÇÃO DA APTIDÃO
FÍSICA DE TERRENOS DE PLANÍCIE COSTEIRA A
URBANIZAÇÃO.
TRECHO: ITAPIRUBA – LAGUNA, SC.**

Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do Título de “Doutor em Geografia”, e aprovada na sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Geografia.

Florianópolis, 15 de Março de 2013.

Prof. Dra. Ruth Emilia Nogueira
Coordenadora do PPGG/UFSC

Banca examinadora:

Prof. Dr. Edison Ramos Tomazolli (Orientador)

Prof. Dr. Norberto Olmiro Horn Filho

Prof. Dr. Juan Antonio Altamirano Flores

Prof. Dr. Elírio Ernestino Toldo Jr.

Prof. Dr. Nelson Sambaqui Gruber

AGRADECIMENTOS

À UFRGS pelos ensinamentos.

À UFSC pela atividade profissional.

À Deus, por tudo e por todos.

RESUMO

Esta tese apresenta um estudo geotécnico dos ambientes de sedimentação transicionais da região de Laguna/SC, voltado à determinação da favorabilidade à urbanização considerando a construção de prédios residenciais térreos apoiados em fundações rasas. A realização do estudo incluiu trabalhos de geologia e geotecnia com atividades de gabinete, campo e laboratório, que fundamentaram a elaboração de metodologia de valoração geotécnica dos terrenos de planície costeira. A partir do estudo geológico foi possível identificar as características morfológicas e texturais dos solos da planície costeira que, aliado à identificação da posição do nível freático, permitiram a determinação dos geoambientes ligados a eles. Nesses geoambientes, foram avaliados os parâmetros geotécnicos dos solos e a propensão a riscos ambientais naturais, relacionados à ação dos agentes dinâmicos atuais, ou induzidos por intervenções geotécnicas sobre o terreno. Os itens relativos às propriedades geotécnicas dos geoambientes incluíram a textura, permeabilidade, compacidade, coesão que aliados aos agentes dinâmicos e riscos ambientais receberam valoração, expressa em valores numéricos. O somatório da valoração efetuada permitiu identificar o grau de favorabilidade dos geoambientes à urbanização, definida neste trabalho pelo número de obras de infraestrutura necessárias para a preparação do terreno para receber obra civil. Com base nos resultados obtidos, expressos na forma de cartas e tabelas, foram descritos geoambientes adequados, com restrições e ainda impróprios à urbanização, desconsiderando as questões regidas pela legislação ambiental. A aplicação do método proposto permitiu a identificação de áreas adequadas, com restrições moderadas, restrições sérias e impróprias a urbanização. O estudo demonstrou a importância do conhecimento das características geotécnicas dos solos, da ação dos agentes dinâmicos e da propensão a riscos ambientais para a correta ocupação urbana dos terrenos de planície costeira.

Palavras chave: geologia, geotecnia, fácies sedimentares, geoambiente costeiro, favorabilidade a urbanização, Laguna, Santa Catarina.

ABSTRACT

This thesis presents a geotechnical study of sedimentary environments of the transitional region of Laguna/SC, aimed at determining the favorability urbanization considering the construction of residential buildings earthen supported by shallow foundations. The work included the study of geology and geotechnical activities with office, laboratory and field, which motivated the development of methodology for valuation of land geotechnical coastal plain. From the geological survey could identify the morphological and textural soils of the coastal plain that, combined with the identification of the position of the water table, allowed the determination of geoambientes attached to them. In these geoambientes evaluated the geotechnical parameters of soils and natural propensity to environmental risks related to the current action of dynamic agents, or induced geotechnical interventions on the ground. Items relating to the geotechnical properties of geoambientes included texture, permeability, compactness, cohesion allies that the dynamic agents and environmental risk assessment were expressed as numerical values. The sum of the valuation made it possible to identify the degree of favorability of geoambientes urbanization, defined here by the number of infrastructure works needed to prepare the ground to receive civil work. Based on the results obtained, expressed in the form of charts and tables, were described geoambientes appropriate, with further restrictions and unsuitable for urbanization, disregarding the matters governed by environmental legislation. The application of the proposed method allowed the identification of suitable areas with moderate restrictions, restrictions and serious improper urbanization. The study demonstrated the importance of knowledge of the geotechnical characteristics of soils, dynamic agents of action and propensity to correct environmental hazards to urban occupation of the lands of the coastal plain.

Keywords: geology, geotechnics, sedimentary facies, coastal goenvironments, favorability to urbanization, Laguna, Santa Catarina.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1. Mapa de Localização da área de estudo..... | 44 |
| Figura 1.2. Mosaico de fotos aéreas da área..... | 45 |
| Figura 1.3. Mapa geológico regional..... | 48 |

LISTA DE FOTOGRAFIAS

| | |
|--|-----|
| Foto 1.1. Escavação manual em solo coeso..... | 70 |
| Foto 1.2. Escavação mecânica em solo coeso..... | 71 |
| Foto 1.3. Vista de detalhe da fundação do tipo bloco com concreto e ferragem construída em solo de areia com finos..... | 72 |
| Foto 1.4. Implantação de fundação profunda do tipo estaca..... | 73 |
| Foto 2.1. A fácies praial marinha do Pleistoceno cortada por eixo de rodovia. Limitada a oeste pelo terraço lagunar e a leste pela duna atual. Roça Grande e Itapiruba. Escala 1:10.000. (SDS, 2011)..... | 87 |
| Foto 2.2. Vista para nordeste mostrando a morfologia aplainada e com leve ondulação do depósito marinho pleistocênico. Em primeiro plano detalhe da textura arenosa. Roça Grande, Laguna..... | 89 |
| Foto 2.3. Escarpa erosiva na borda do terraço praial marinho..... | 89 |
| Foto 2.4. Vista da fácies praial marinha pleistocênica mostrando o corte com acomodação dos sedimentos. Areia com finos e cor amarronzada. Roça Grande..... | 90 |
| Foto 2.5. Ao fundo, a fácies eólica pleistocênica em contato erosivo com a fácies lagunar holocênica vista em primeiro plano. Ribanceira.... | 93 |
| Foto 2.6. Contato entre a fácies eólica pleistocênica com a fácies praial marinha do holocênica através de escarpa erosiva. Praia do Sol..... | 93 |
| Foto 2.7. Vista para sudeste mostrando a morfologia da fácies eólica do Pleistoceno, onde aparece na forma de elevações dunárias fixadas pela vegetação com altitudes que atingem 25m. Ribanceira..... | 94 |
| Foto 2.8. Vista para norte mostrando a morfologia na forma de crista da fácies eólica. Praia do Sol..... | 94 |
| Foto 2.9. Detalhe da estrutura interna maciça e textura arenosa amarronzada da fácies eólica pleistocênica. Barbacena..... | 95 |
| Foto 2.10. Vista para oeste mostrando as fácies da barreira IV. Observa-se cristas arenosas com orientação N-S..... | 98 |
| Foto 2.11. À esquerda cordão C1, no centro cordão C2 e à direita, lençóis de areia. Barbacena. Escala 1:10.000. (SDS, 2011)..... | 100 |
| Foto 2.12. Vista para norte mostrando o relevo do cordão litorâneo C1. Barbacena..... | 100 |

| | |
|---|-----|
| Foto 2.13. Detalhe da camada superficial arenosa do cordão C1..... | 101 |
| Foto 2.14. Vista para leste. Contato do cordão C2 com depósito eólico holocênico, ao fundo..... | 103 |
| Foto 2.15. Vista para o norte mostrando áreas alagadiças do cordão litorâneo C2. Laguna..... | 105 |
| Foto 2.16. Detalhe da camada superficial da crista arenosa ligada ao cordão C2..... | 106 |
| Foto 2.17. Detalhe da textura do sedimento ligado ao terraço intercordão C2. Camada superficial de areia com MO em contato com camada de areia quartzosa..... | 108 |
| Foto 2.18. Vista para SE mostrando a extensão da faixa do estirâncio em momento de maré baixa. Itapirubá..... | 109 |
| Foto 2.19. Detalhe da textura arenosa do estirâncio, mostrando estratificação plano-paralela dos sedimentos e níveis de minerais pesados, mais escuros. Itapirubá..... | 111 |
| Foto 2.20. Duna ativa avançando sobre terraço pleistocênico. Nota-se a presença de estrutura de contenção ao longo da crista da duna. Roça Grande..... | 113 |
| Foto 2.21. Lençóis de areia, com relevo tênue, recobrimdo o cordão litorâneo do Holoceno..... | 113 |
| Foto 2.22. Vista para o norte mostrando o relevo ondulado da duna frontal. Itapiruba..... | 114 |
| Foto 2.23. Vista da duna frontal mostrando estrutura do tipo estratificação cruzada. Marcas do nível da maré alta e marcas de erosão costeira no flanco da duna. Na base, a duna embrionária. Itapirubá..... | 115 |
| Foto 2.24. Campo de dunas ativas barcanóides e lençóis de areia recobrimdo o cordão litorâneo C2. A duna frontal aparece à direita. Praia do Sol. Escala 1:10.000. (SDS, 2011)..... | 115 |
| Foto 2.25. Detalhe da textura arenosa da duna ativa. Itapiruba..... | 117 |
| Foto 2.26. Terraço turfoso em contato erosivo com o terraço arenoso lagunar e marinho pleistocênico, que aparecem na parte central da foto. Perrixil. Escala 1:10.000. (SDS, 2011)..... | 120 |
| Foto 2.27. Vista para o oeste mostrando o terraço lagunar T2 sub-horizontalizado. Ao fundo, a Lagoa do Imarui. Roça Grande..... | 120 |

| | |
|---|-----|
| Foto 2.28. Vista do contato entre o terraço lagunar à direita e a escarpa arenosa do pleistoceno, na margem do complexo. Roça Grande..... | 121 |
| Foto 2.29. Detalhe do terraço lagunar constituído de turfa..... | 122 |
| Foto 3.1. Solo arenoso com argila. Escavação para fundação do tipo bloco. Boa escavabilidade. Profundidade de 1m. Cabeçadas..... | 134 |
| Foto 3.2. Vista para SE do terraço arenoso aplainado. Em primeiro plano aspecto da textura arenosa do solo. Observam-se construções residenciais. Itapiruba..... | 138 |
| Foto 3.3. Escarpa arenosa com desnível de 6m, com vegetação fixadora, em contato com o solo orgânico. Roça Grande..... | 139 |
| Foto 3.4. Detalhe da secção da escarpa arenosa com fundação rasa e pilares. Não houve intervenção geotécnica..... | 140 |
| Foto 3.5. Corte na borda do terraço arenoso em frente de lavra desativada. Notam-se pequenos deslizamentos. Roça Grande..... | 140 |
| Foto 3.6. Morfologia irregular com cristas e depressões das elevações dunárias. Barbacena..... | 142 |
| Foto 3.7. Corte na base da encosta dunária provocando deslizamento. Roça Grande..... | 142 |
| Foto 3.8. Aterro para preenchimento da depressão dunária em terreno destinado a construção civil. Barbacena..... | 143 |
| Foto 3.9. Detalhe do solo de areia quartzosa ligado ao cordão C1. Horizonte B mineral. Barbacena..... | 144 |
| Foto 3.10. Vista para norte mostrando a morfologia do terraço arenoso C1, que alterna cristas e cavas. Barbacena..... | 147 |
| Foto 3.11. Detalhe da textura arenosa do solo ligado ao terraço arenoso C1, situado acima da zona saturada..... | 148 |
| Foto 3.12. Detalhe do solo hidromórfico de areia quartzosa ligado ao terraço intercordões. Horizonte A com matéria orgânica e horizonte C mineral, feição paludial. Praia do Sol. | 150 |
| Foto 3.13. Vista para o norte mostrando a morfologia do terraço intercordões, onde aparecem setores alagadiços..... | 153 |
| Foto 3.14. Vista para sul mostrando o terraço intercordões sendo parcialmente recoberto por lençóis de areia. Mar Grosso..... | 154 |

| | |
|---|-----|
| Foto 3.15. Vista para oeste mostrando o solo orgânico, com relevo aplainado e baixo. Ao fundo o complexo lagunar, Lagoa do Imarui. Roça Grande..... | 155 |
| Foto 3.16. Solo orgânico desenvolvido no terraço lagunar. Solo fofo sujeito a recalque. Roça Grande..... | 156 |
| Foto 3.17. Vista para o oeste mostrando o terraço turfoso..... | 159 |
| Foto 3.18. Detalhe da textura do solo orgânico com espessura de 1m. Na base do trado, o horizonte B de areia fina quartzosa..... | 160 |
| Foto 3.19. Vista para NW mostrando em primeiro plano a duna semifixa e ao fundo duna ativa cercando o terraço intercordões paludial e um corpo lagunar. Roça Grande..... | 161 |
| Foto 3.20. Edificações erigidas sobre a duna frontal. Trabalho de manutenção para evitar soterramento. Itapiruba..... | 164 |
| Foto 3.21. Erosão costeira causada pelo avanço do mar sobre a borda da duna frontal. Trabalhos de manutenção. Itapirubá. | 165 |
| Foto 3.22. Foto aérea mostra a presença de lençóis de areia com forma parabólica. Itapiruba. SDS, 2011..... | 166 |
| Foto 4.1. Detalhe da fundação rasa em alvenaria construída em solo arenoso coeso..... | 184 |
| Foto 4.2. Vista para o sul mostrando o terraço arenoso plano horizontalizado e prédios construídos sem necessidade de trabalhos de infraestrutura. Itapirubá..... | 211 |
| Foto 4.3. Moradia construída na escarpa arenosa com necessidade de corte e terraplenagem. Roça Grande..... | 212 |
| Foto 4.4. Morfologia das elevações dunárias com cristas, encosta e depressão e urbanização na base da encosta dunária..... | 213 |
| Foto 4.5. Vista para sudeste mostrando a morfologia das dunas e a preparação do terreno para receber a obra civil. Ribanceira..... | 214 |
| Foto 4.6. Detalhe do muro de contenção com marcas de fadiga em corte na escarpa dunária..... | 214 |
| Foto 4.7. Imagem aérea mostrando os dois terraços arenosos. No centro, contato por truncamento. À esquerda, o cordão C1 e a direita o C2..... | 216 |
| Foto 4.8. Cordão litorâneo C1 mostrando o relevo levemente ondulado e nível freático pouco profundo. Barbacena, Laguna..... | 217 |

| | |
|---|-----|
| Foto 4.9. Terraço arenoso C2 mostrando relevo aplainado sujeito à alagamento, levando a necessidade de aterro. Itapiruba..... | 220 |
| Foto 4.10. Vista para oeste mostrando o solo orgânico na forma de terraço aplainado. Ponta Rasa,..... | 221 |
| Foto 4.11. Vista do campo de dunas a sotavento. A duna avança sobre o solo hidromórfico. Itapiruba..... | 224 |
| Foto 4.12. Erosão costeira e ação eólica sobre zona frontal da duna frontal. Danos na estrutura construída. Em primeiro plano, limite superior do estirâncio. Itapiruba..... | 225 |
| Foto 4.13. Lençóis de areia recobrimdo o cordão litorâneo C2..... | 227 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 2.1. Coordenadas dos pontos de amostragem da fácies praial marinha..... | 91 |
| Tabela 2.2. Parâmetros estatísticos da fácies praial marinha..... | 91 |
| Tabela 2.3. Percentagens dos grãos da fácies praial marinha..... | 91 |
| Tabela 2.4. Coordenadas dos pontos de amostragem da fácies eólica..... | 96 |
| Tabela 2.5. Parâmetros estatísticos da fácies eólica..... | 96 |
| Tabela 2.6. Percentagem de tamanho de grãos da fácies eólica..... | 96 |
| Tabela 2.7. Coordenadas dos pontos de amostragem do cordão C1..... | 102 |
| Tabela 2.8. Parâmetros estatísticos das amostras do cordão C1..... | 102 |
| Tabela 2.9. Percentagem de tamanho de grãos do cordão C1..... | 102 |
| Tabela 2.10. Coordenadas dos pontos de amostragem do C2..... | 104 |
| Tabela 2.11. Parâmetros estatísticos da fração arenosa do C2..... | 104 |
| Tabela 2.12. Percentagem dos constituintes do sedimento do C2.. | 104 |
| Tabela 2.13. Coordenadas dos pontos de amostragem do terraço C2..... | 107 |
| Tabela 2.14. Parâmetros estatísticos das amostras do terraço intercordões..... | 107 |
| Tabela 2.15. Percentagem dos constituintes do terraço intercordões..... | 107 |
| Tabela 2.16. Coordenadas dos pontos de amostragem do estirâncio..... | 110 |
| Tabela 2.17. Parâmetros estatísticos do estirâncio..... | 110 |
| Tabela 2.18. Percentagem dos constituintes do estirâncio..... | 111 |
| Tabela 2.19. Coordenadas dos pontos de amostragem da fácies eólica..... | 117 |
| Tabela 2.20. Parâmetros estatísticos da fácies eólica..... | 118 |
| Tabela 2.21. Percentagem dos constituintes da fácies eólica..... | 118 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 2.22. Coordenadas dos pontos de amostragem da fácies de fundo lagunar..... | 122 |
| Tabela 2.23. Parâmetros estatísticos da areia da fácies de fundo lagunar..... | 122 |
| Tabela 2.24. Percentagem dos constituintes da fácies de fundo lagunar..... | 122 |
| Tabela 2.25. Coordenadas dos pontos de amostragem da fácies arenosa lagunar..... | 123 |
| Tabela 2.26. Parâmetros estatísticos da areia da fácies arenosa lagunar..... | 123 |
| Tabela 2.27. Percentagem dos constituintes da fácies arenosa lagunar..... | 123 |
| Tabela 3.1. Percentagem dos constituintes do solo arenoso..... | 134 |
| Tabela 3.2. Índice de permeabilidade do solo. Cabeçadas..... | 135 |
| Tabela 3.3. Número de golpes SPT e tensão admissível. Cabeçadas..... | 135 |
| Tabela 3.4. Índice de coesão. Cabeçadas..... | 136 |
| Tabela 3.5. Percentagem dos constituintes do solo C1..... | 144 |
| Tabela 3.6. Índice de permeabilidade do solo C1. Barbacena..... | 145 |
| Tabela 3.7. Número de golpes SPT e tensão admissível Barbacena..... | 145 |
| Tabela 3.8. Índice de coesão..... | 146 |
| Tabela 3.9. Percentagem dos constituintes do solo C2..... | 150 |
| Tabela 3.10. Índice de permeabilidade do solo. Praia do Sol..... | 151 |
| Tabela 3.11. Número de golpes SPT e tensão admissível. Praia do Sol..... | 151 |
| Tabela 3.12. Índice de coesão..... | 152 |
| Tabela 3.13. Percentagem dos constituintes do solo orgânico..... | 157 |
| Tabela 3.14. Índice de permeabilidade do solo..... | 157 |
| Tabela 3.15. Número de golpes e penetração. Roça Grande..... | 157 |
| Tabela 3.16. Índice de coesão..... | 158 |
| Tabela 3.17. Percentagem dos constituintes da duna..... | 162 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 3.18. Índice de permeabilidade da duna..... | 162 |
| Tabela 3.19. Número de golpes e penetração. Itapiruba..... | 162 |
| Tabela 3.20. Índice de coesão. Itapiruba..... | 163 |
| Tabela 3.21. Percentagem dos constituintes dos solos..... | 168 |
| Tabela 4.1. Valoração do geoambiente pela morfologia..... | 188 |
| Tabela 4.2. Valoração do geoambiente pela posição do nível freático..... | 190 |
| Tabela 4.3. Valoração do geoambiente pela textura e constituintes..... | 192 |
| Tabela 4.4. Valoração do geoambiente pela permeabilidade..... | 194 |
| Tabela 4.5. Valoração pela coesão..... | 195 |
| Tabela 4.6. Valoração pela compacidade..... | 196 |
| Tabela 4.7. Valoração dos agentes dinâmicos..... | 199 |
| Tabela 4.8. Valoração pela extensão do impacto..... | 202 |
| Tabela 4.9. Valoração pela duração do impacto..... | 203 |
| Tabela 4.10. Valoração pela periodicidade do impacto..... | 203 |
| Tabela 4.11. Valoração do tipo de impacto pelo risco ambiental – soterramento..... | 204 |
| Tabela 4.12. Valoração do tipo de impacto pelo risco ambiental – deslizamento..... | 204 |
| Tabela 4.13. Valoração do tipo de impacto pelo risco ambiental – alagamento..... | 205 |
| Tabela 4.14. Valoração do tipo de impacto pelo risco ambiental – erosão costeira..... | 205 |
| Tabela 4.15. Valoração do tipo de impacto pelo risco ambiental – erosão geotécnica..... | 206 |
| Tabela 4.16. Valoração dos riscos ambientais..... | 206 |
| Tabela 4.17. Valoração dos geoambientes do solo arenoso..... | 215 |
| Tabela 4.18. Valoração dos geoambientes do solo de areia quartzosa..... | 218 |
| Tabela 4.19. Valoração do geoambiente do solo hidromórfico..... | 219 |
| Tabela 4.20. Valoração do geoambiente do solo orgânico..... | 222 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 4.21. Valoração dos geoambientes das dunas..... | 226 |
| Tabela 4.22. Valoração das unidades de favorabilidade à urbanização..... | 230 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|-----|
| Quadro 1.1. Dados meteorológicos para a Estação de Imbituba..... | 46 |
| Quadro 1.2. Direção e intensidade dos ventos da região para a estação de Imbituba. 8º Distrito de meteorologia. INMET..... | 46 |
| Quadro 1.3. Classificação dos solos para a área de estudo | 58 |
| Quadro 2.1 Sistemas Depositionais presentes na área de estudo..... | 85 |
| Quadro 3.1. Índice de permeabilidade dos solos..... | 169 |
| Quadro 3.2. Compacidade dos solos..... | 170 |
| Quadro 3.3. Coesão dos solos..... | 170 |
| Quadro 3.4. Características físicas das unidades geotécnicas..... | 173 |
| Quadro 3.5. Riscos ambientais..... | 176 |
| Quadro 4.1. Quadro geral de valoração dos geoambientes..... | 232 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|---|-----|
| ANEXO 1. Mapa geológico..... | 249 |
| ANEXO 2. Mapa geomorfológico..... | 253 |
| ANEXO 3. Mapa de solos..... | 257 |
| ANEXO 4. Mapa textural..... | 261 |
| ANEXO 5. Mapa de permeabilidade..... | 265 |
| ANEXO 6. Mapa de compacidade..... | 269 |
| ANEXO 7. Mapa de coesão..... | 273 |
| ANEXO 8. Carta de riscos ambientais..... | 277 |
| ANEXO 9. Carta geotécnica..... | 281 |
| ANEXO 10. Carta de favorabilidade..... | 285 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| PARTE 1: INTRODUÇÃO | 35 |
| INTRODUÇÃO | 37 |
| 1.1. PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA | 39 |
| 1.2. OBJETIVOS..... | 41 |
| 1.2.1. Objetivo geral | 41 |
| 1.2.2. Objetivos específicos..... | 41 |
| 1.3. APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO..... | 43 |
| 1.3.1. Localização geográfica da área de estudo | 43 |
| 1.3.2. Aspectos físicos..... | 45 |
| 1.3.2.1. Clima | 46 |
| 1.3.2.2. Geologia regional | 47 |
| 1.3.2.2.1. O escudo catarinense | 47 |
| 1.3.2.2.2. Sedimentos cenozóicos..... | 47 |
| 1.3.2.2.3. Geologia marinha | 49 |
| 1.3.2.2.4. Tectônica | 49 |
| 1.3.2.3. Aspectos geomorfológicos | 49 |
| 1.3.2.4. Pedologia..... | 50 |
| 1.3.3. Uso do solo..... | 51 |
| 1.3.4. Aspectos bióticos..... | 51 |
| 1.3.4.1. Vegetação..... | 52 |
| 1.3.5. Aspectos socioeconômicos e ambientais | 52 |
| 1.4. METODOLOGIA | 55 |
| 1.4.1. Metodologia aplicada ao estudo geológico | 55 |
| 1.4.1.1. Trabalhos preliminares | 55 |
| 1.4.1.2. Trabalhos de campo..... | 56 |
| 1.4.1.3. Atividades de laboratório | 56 |
| 1.4.1.4. Trabalhos de gabinete..... | 56 |
| 1.4.2. Metodologia aplicada ao estudo geotécnico..... | 57 |
| 1.4.2.1. Trabalhos preliminares | 57 |
| 1.4.2.2. Trabalhos de campo..... | 58 |
| 1.4.2.3. Trabalhos de gabinete..... | 59 |
| 1.4.3. Metodologia aplicada ao estudo da aptidão física dos geoambientes a urbanização | 60 |
| 1.5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 61 |
| 1.5.1. Fatores responsáveis pela formação dos ambientes de sedimentação e riscos ambientais..... | 61 |
| 1.5.1.1. Clima | 61 |
| 1.5.1.2. Oceanografia | 62 |

| | |
|---|----|
| 1.5.1.2.1. Ondas | 63 |
| 1.5.1.2.2. Marés..... | 63 |
| 1.5.1.2.3. Correntes de deriva | 64 |
| 1.5.1.3. Bases para o entendimento da evolução paleogeográfica da planície costeira | 65 |
| 1.5.1.3.1. Oscilações do nível relativo do mar no Quaternário | 65 |
| 1.5.1.3.2. Modelo evolutivo da planície costeira | 66 |
| 1.5.2. Geotecnia | 67 |
| 1.5.2.1. Pedologia..... | 68 |
| 1.5.2.2. Escavações | 69 |
| 1.5.2.3. Fundações | 71 |
| 1.5.2.3.1. Classificação das fundações..... | 71 |
| 1.5.2.4. Risco ambiental..... | 74 |
| 1.5.2.4.1. Conceitos fundamentais | 74 |
| 1.5.2.5. Cartas de geologia de engenharia..... | 75 |
| 1.5.2.6. Favorabilidade à urbanização..... | 76 |

PARTE 2: ESTUDO GEOLÓGICO 79

INTRODUÇÃO 81

| | |
|--|-----|
| 2.1. GEOLOGIA LOCAL..... | 83 |
| 2.1.1. Sistemas deposicionais transicionais..... | 84 |
| 2.1.1.1. Sistema deposicional laguna – barreira III..... | 85 |
| 2.1.1.1.1. Fácies da barreira III | 86 |
| 2.1.1.1.1.1. Fácies praias marinhas | 86 |
| 2.1.1.1.1.2. Fácies eólica..... | 91 |
| 2.1.1.2. Sistema deposicional laguna – barreira IV..... | 96 |
| 2.1.1.2.1. Fácies da barreira IV | 97 |
| 2.1.1.2.1.1. Fácies praias marinhas | 98 |
| 2.1.1.2.1.2. Fácies eólica..... | 111 |
| 2.1.1.2.2. Fácies da laguna IV..... | 118 |
| 2.2. EVOLUÇÃO PALEOGEOLÓGICA DA PLANÍCIE COSTEIRA | 125 |
| 2.3. COMENTÁRIOS..... | 127 |

PARTE 3: ESTUDO GEOTÉCNICO 129

INTRODUÇÃO 131

3.1. SOLOS 133

3.1.1. Solo arenoso 133

3.1.1.1. Unidades geoambientais ligadas ao solo arenoso 136

3.1.1.1.1. Terraço arenoso 137

3.1.1.1.2. Escarpa arenosa 138

3.1.1.1.3. Elevações dunárias 141

3.1.2. Solo de areia quartzosa 143

3.1.2.1. Unidades geoambientais ligadas ao solo de areia quartzosa .. 146

3.1.2.1.1. Terraço arenoso C1 146

3.1.2.1.2. Terraço arenoso lagunar 148

3.1.3. Solo hidromorfo de areia quartzosa 149

3.1.3.1. Unidade geoambiental ligada ao solo hidromorfo de areia quartzosa 152

3.1.3.1.1. Terraço arenoso C2 153

3.1.4. Solo orgânico 155

3.1.4.1. Unidades geoambientais ligadas ao solo orgânico 158

3.1.4.1.1. Terraço turfoso 158

3.1.5. Dunas atuais 160

3.1.5.1. Unidades geoambientais ligadas às dunas 163

3.1.5.1.1. Elevações dunárias (D1) 163

3.1.5.1.2. Lençóis de areia (D2) 165

3.1.6. 165

3.2. ANÁLISE DOS PARÂMETROS GEOTÉCNICOS 167

3.2.1. A textura dos sedimentos 167

3.2.2. A permeabilidade dos solos 168

3.2.3. A compactidade dos solos 169

3.2.4. A coesão dos solos 170

3.3. ANÁLISE GEOTÉCNICA 171

3.4. ANÁLISE DOS RISCOS AMBIENTAIS 175

3.5. COMENTÁRIOS 177

PARTE 4: ESTUDO DE APTIDÃO FÍSICA 181

INTRODUÇÃO 183

4.1. VALORAÇÃO DOS PARÂMETROS GEOTÉCNICOS 187

4.1.1. Valoração dos geoambientes pela morfologia 187

4.1.2. Valoração do geoambiente pelo nível freático 189

4.1.3. Características geotécnicas do solo 190

4.1.3.1. Valoração do geoambiente pela textura e constituintes 190

| | |
|---|-----|
| 4.1.3.2. Valoração do geoambiente pela permeabilidade..... | 192 |
| 4.1.3.3. Valoração do geoambiente pela coesão | 194 |
| 4.1.3.4. Valoração do geoambiente pela compactidade | 195 |
| 4.2. VALORAÇÃO DOS AGENTES DINÂMICOS | 197 |
| 4.2.1. Agentes meteorológicos..... | 197 |
| 4.2.1.1. Pluviosidade (PL)..... | 197 |
| 4.2.1.2. Ventos (VE)..... | 198 |
| 4.2.2. Agentes oceanográficos | 198 |
| 4.3. VALORAÇÃO DOS RISCOS AMBIENTAIS | 201 |
| 4.3.1. Caracterização dos impactos..... | 201 |
| 4.3.2. Valoração do tipo de impacto pelo risco ambiental | 204 |
| 4.4. ESTABELECIMENTO DAS UNIDADES DE FAVORABILIDADE À URBANIZAÇÃO | 207 |
| 4.4.1. Áreas adequadas (AD) | 207 |
| 4.4.2. Áreas com restrições moderadas (RM)..... | 207 |
| 4.4.3. Áreas com restrições sérias (RS)..... | 207 |
| 4.4.4. Áreas impróprias (IM) | 208 |
| 4.5. VALORAÇÃO DOS GEOAMBIENTES MAPEADOS..... | 209 |
| 4.5.1. Solo arenoso..... | 209 |
| 4.5.1.1. Terraço arenoso (PMT)..... | 210 |
| 4.5.1.2. Escarpa arenosa (PME)..... | 211 |
| 4.5.1.3. Elevações dunárias (PED)..... | 212 |
| 4.5.2. Solo de areia quartzosa | 215 |
| 4.5.2.1. Terraço arenoso C1 | 216 |
| 4.5.2.2. Terraço arenoso lagunar..... | 217 |
| 4.5.3. Solo hidromórfico de areia quartzosa | 218 |
| 4.5.3.1. Terraço arenoso C2 | 219 |
| 4.5.4. Solo orgânico | 221 |
| 4.5.4.1. Terraço turfoso..... | 222 |
| 4.5.5. Dunas | 223 |
| 4.5.5.1. Elevações dunárias (D1) | 223 |
| 4.5.5.2. Lençóis de areia (D2)..... | 225 |
| 4.5.5.3. Praia atual..... | 227 |
| 4.6. VALORAÇÃO DAS UNIDADES DE FAVORABILIDADE À URBANIZAÇÃO | 229 |
| 4.7. ANÁLISE DA FAVORABILIDADE..... | 231 |
| 4.8. COMENTÁRIOS..... | 235 |

| | |
|---|------------|
| PARTE 5 :CONCLUSÕES GERAIS E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 239 |
| 5.1. CONCLUSÕES GERAIS | 241 |
| 5.2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 243 |

PARTE 1
INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

A costa catarinense tem sido nos últimos anos, alvo de extensa especulação imobiliária com vistas a construção civil. Essa tendência que teve início nas últimas décadas quando ocupou primeiramente áreas adequadas a urbanização, evoluindo para domínios com restrições e/ou inadequados à ocupação urbana.

A ocupação desse espaço costeiro, sem planejamento adequado, tendo em vista as características dos diferentes terrenos geológicos, tem gerado problemas diversos. Entre eles está a falta de obras preliminares, quando necessárias, para a preparação do solo que vai receber a obra, o que leva a ocorrência de acidentes ambientais com necessidade de trabalhos de remediação.

Com isso foram surgindo os problemas ligados a construção civil envolvendo, sobretudo questões geotécnicas no que se refere as características físicas dos solos, propensão a riscos ambientais, seja por causas naturais ou induzidas e ainda a ação de agentes dinâmicos.

Na tarefa de promover a ocupação do solo de forma adequada a própria legislação impõe a apresentação de diagnóstico ambiental considerando parâmetros multidisciplinares que envolvem também informações geológicas.

Ocorre, no entanto, que os parâmetros geotécnicos não têm sido utilizados de forma completa e adequada nos estudos visando o planejamento urbano, dentro das propostas dos planos diretores dos municípios, quando existentes. Por esse motivo são observadas áreas ocupadas pela urbanização com problemas geotécnicos que comprometem a estrutura das edificações e a qualidade de vida das pessoas que lá habitam.

O atual estágio de ocupação dos terrenos de planície costeira no município de Laguna ainda permite o planejamento da ocupação urbana a partir de informações geológicas e geotécnicas. Essas informações deverão permitir a identificação da capacidade de suporte dos diferentes solos da planície costeira e ainda identificar áreas sujeitas a riscos ambientais à implantação de projetos imobiliários voltados à construção de prédios unifamiliares o que se traduz em ocupação de baixa densidade.

Numa primeira abordagem percebe-se que a região costeira se apresenta com características físicas distintas, ditadas pelos diferentes ambientes de sedimentação que as compõem. Dessa forma, ocorrem solos com parâmetros geotécnicos, morfologia e altitudes distintas.

Em função disso, os terrenos da planície costeira mostram diferentes índices de aptidão física a ocupação urbana que variam de adequados até impróprios a urbanização.

Neste trabalho procurou-se determinar as diferentes características topomorfológicas e sedimentológicas, chamadas aqui de geoambientes, e através de sua valoração e integração determinar o grau de favorabilidade do terreno a ser ocupado nesse espaço costeiro representado pela planície costeira, considerando obras de infraestrutura na preparação do solo para receber a obra civil.

A criação de unidades mostrando diferentes graus de favorabilidade à ocupação urbana em planície costeira, utilizando informações geológicas, a partir do exemplo do município de Laguna na costa sul catarinense deverá permitir o adequado planejamento para a ocupação do território voltado a construção civil.

1.1. PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA

A faixa costeira catarinense é formada por depósitos de sedimentos terrígenos inconsolidados de diferentes origens e idades influenciadas pelas oscilações do nível marinho e do trabalho dos ventos durante o Quaternário. Esses terrenos se diferenciam por apresentarem características geotécnicas e dinâmicas distintas.

O desenvolvimento do turismo balneário e o crescimento do município de Laguna têm incrementado o processo de urbanização local. Esse processo leva a construção de prédios residenciais unifamiliares, instalados sobre fundações rasas, muitas vezes, sem avaliação geotécnica prévia.

Essa prática, em função do tipo de terreno geológico, pode levar a colapso das estruturas instaladas e acidentes geotécnicos, chamando a atenção para a necessidade de zoneamento geotécnico do solo na região, buscando-se áreas adequadas a urbanização.

Frente a isso se faz necessária a ocupação do espaço costeiro, voltada a construção civil, utilizando a informação geotécnica como primeiro passo na elaboração de projetos voltados a urbanização.

Com essas informações é possível estabelecer a avaliação da favorabilidade à urbanização com base na identificação e valoração dos parâmetros geotécnicos ligados aos solos e seus geoambientes.

O estudo geotécnico de onde são retirados os parâmetros físicos do solo fornecerá elementos para a determinação das características físicas dos solos e seus geoambientes. Daí serão identificadas as áreas estáveis e aquelas que necessitam obras de infraestrutura para a preparação do terreno que receberá a obra civil.

Para o estudo da aptidão física à construção de prédios residenciais serão criadas unidades de favorabilidade com base na avaliação dos parâmetros geotécnicos, ação dos agentes dinâmicos e dos riscos ambientais. Essas informações técnicas aplicadas aos geoambientes definirão as áreas adequadas, áreas com restrições e áreas impróprias a urbanização.

A seleção dos parâmetros geotécnicos, agentes dinâmicos e riscos ambientais, e sua valoração com base no número de operações de infraestrutura, ditadas pela engenharia civil, que evite a possibilidade do geoambiente causar danos às obras construídas poderão ser expressos através de valores numéricos.

A valoração de cada item geotécnico obtido nesse estudo e sua integração, considerando os diferentes geoambientes, permitirá estabelecer

uma pontuação onde os geoambientes com diferentes graus de favorabilidade poderão ser identificados previamente em gabinete. Através da consulta de tabelas e mapa.

Por hipótese, a aplicação desse procedimento permitirá que na elaboração de projetos imobiliários, sejam previstos trabalhos de infraestrutura, quando necessários, para que os prédios se mantenham com estrutura íntegra e os acidentes ambientais, geológicos e hidrológicos, sejam evitados.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo geral

Apresentar o grau de favorabilidade à ocupação urbana das diferentes unidades morfogeológicas da Planície Costeira no município de Laguna, SC, através da aplicação de metodologia desenvolvida neste trabalho, com base na identificação, avaliação e valoração de parâmetros geológicos e geotécnicos.

1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar estudo geológico voltado a delimitação, caracterização e evolução das fácies sedimentares presentes na área de estudo com ênfase na descrição dos parâmetros geomorfológicos e sedimentológicos.

- Realizar estudo geotécnico visando a identificação dos parâmetros físicos dos solos. Identificar os agentes dinâmicos atuantes na região e a determinação dos riscos ambientais naturais e induzidos a que estão sujeitos os geoambientes ligados aos solos mapeados.

- Realizar estudo da favorabilidade a ocupação urbana com base no estabelecimento de critérios para a valoração dos parâmetros geotécnicos, da ação dos agentes dinâmicos e grau dos impactos gerados pelos riscos ambientais naturais e induzidos a que possam ser susceptíveis os geoambientes.

- Criar unidades mostrando diferentes níveis de aptidão física à urbanização com base na valoração e integração dos parâmetros geotécnicos, ação dos agentes dinâmicos e riscos ambientais ligados aos geoambientes.

- Apontar a aptidão física para a urbanização dos geoambientes com base na valoração e integração dos parâmetros geológicos e geotécnicos, obtido do número de operações ligadas a engenharia civil para preparar o terreno a urbanização.

- Apresentar zoneamento geotécnico voltado à urbanização com base no nível de aptidão física determinadas para os geoambientes presentes na

área estudada com base na integração da morfologia, posição do nível freático, parâmetros geotécnicos, agentes dinâmicos e riscos ambientais.

1.3. APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está situada no município de Laguna, no litoral centro-sul do Estado de Santa Catarina. Com base na compartimentação da costa brasileira fundamentada em critérios geológicos, a área de estudo, segundo Villwock (1994), se insere na Costa Sudeste. Quanto à geomorfologia, conforme compartimentação geomorfológica do litoral catarinense proposta por Diehl & Horn Filho (1996), a área compreende o setor V.

Segundo esses autores a Costa Sudeste se estende desde Cabo Frio (RJ) até Cabo de Santa Marta (SC) e apresenta com principal feição a Unidade Geomorfológica Serra do Mar que a sul é denominada Serras do Leste Catarinense (GAPLAN, 1986). Esse conjunto de montanhas é constituído por rochas do substrato cristalino, composto, sobretudo, por rochas cristalinas de origem magmática e metamórfica.

No litoral essas rochas ocorrem na forma de promontórios rochosos e costões que se alternam com reentrâncias, cuja direção obedece a controle estrutural.

As terras baixas, sedimentares, compõem planícies costeiras de pouca extensão em área ocupando os espaços situados entre a serra e o oceano. As feições sedimentares incluem lagunas costeiras, barreiras arenosas, dunas, praias e desembocaduras fluviais.

Situado no extremo sul desse setor do litoral catarinense, o município de Laguna marca o limite sul da costa brasileira onde ocorrem os manguezais, instalados em planícies de maré.

1.3.1. Localização geográfica da área de estudo

A área de estudo está situada entre as coordenadas geográficas de 28°11'30'', 28°32'41'' de latitude sul; e 48°35'29'', 48°53'56'' de longitude oeste e que tem como pontos limitantes as localidades de Itapirubá ao norte, e o canal de ligação lagunar na cidade de Laguna ao sul do município (Figura 1.1). A oeste e sul é limitada pelo complexo lagunar Imarui-Mirim-Santo Antônio e a leste pelo Oceano Atlântico, como pode ser observado na figura 1.2, que mostra o mosaico de fotografias aéreas da área de estudo e localidades geográficas. A área de estudo compreende 72 km² e 16 km de linha de costa, se estendendo ao longo de uma faixa constituída de terrenos baixos de origem transicional e idade quaternária, ancorados em costões cristalinos de composição granítica. Apresenta altitudes variáveis nos terrenos baixos e sedimentares, podendo atingir 25m nas elevações dunárias.

O acesso a área se dá pela rodovia BR 101, no trecho do sul do Estado de Santa Catarina, que corta a área num eixo norte – sul, entre os quilômetros 292 e 310 da rodovia.

Na área de estudo são observados núcleos urbanos que incluem a sede do município, comunidades nativas com atividades ligadas à pesca artesanal e áreas voltadas ao turismo balneário.

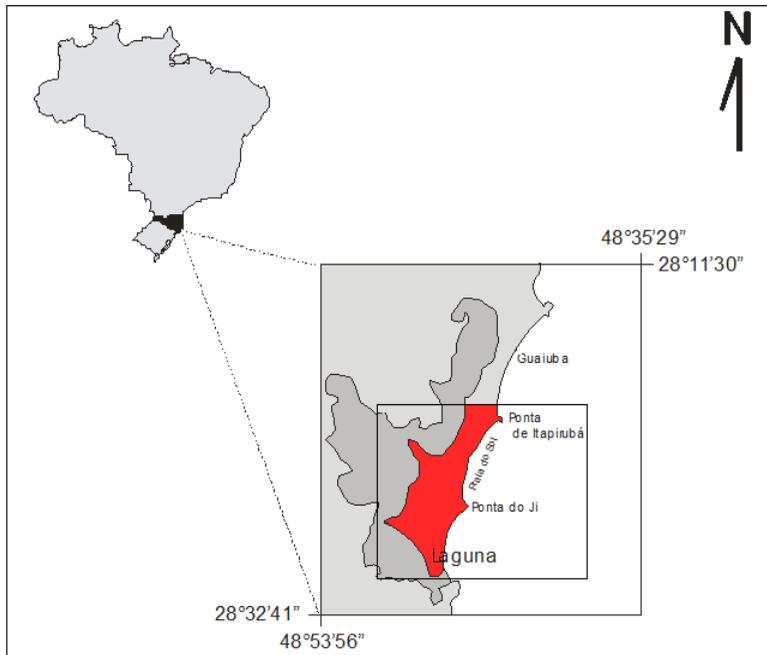


Figura 1.1. Mapa de Localização da área de estudo.



Figura 1.2. Mosaico de fotos aéreas da área de estudo. (SDS, 2011).

1.3.2. Aspectos físicos

A apresentação deste item visa fornecer informações básicas para a melhor compreensão do ambiente no qual está inserida a área de estudo. Aqui são apresentados os aspectos físicos onde se inclui informações relativas ao clima, à geomorfologia e geologia e à pedologia que, no seu conjunto, permitem criar um quadro ambiental da área eleita para o estudo da favorabilidade a urbanização em terrenos de planície costeira.

1.3.2.1. Clima

A região apresenta um clima classificado como Cfa (KOPPEN, 1948), caracterizado como mesotérmico sempre úmido com verões quentes. Os quadros 1.1 e 1.2 mostram dados da estação meteorológica de Imbituba, pertencente ao 8º Distrito de Meteorologia, indicando, para a área de estudo, uma temperatura média mensal de 18,1°C e distribuição regular de chuvas ao longo do ano, com média anual de 1.234,8mm e ventos predominando do quadrante nordeste ao longo de um ciclo anual.

Quadro 1.1. Dados meteorológicos para a Estação de Imbituba. 8º Distrito de meteorologia - INMET.

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| Temperatura média mensal | 18,1°C |
| Precipitação média anual | 1.234,8mm |
| Umidade relativa do ar média | 80% |
| Evapotranspiração potencial anual | 841 mm |

Quadro 1.2. Direção e intensidade dos ventos da região para a Estação de Imbituba. 8º Distrito de meteorologia - INMET.

| Direção do vento | Frequência (%) |
|-----------------------|----------------|
| Nordeste | 37,60 |
| Sul | 15,60 |
| Sudeste | 13,20 |
| Outros (SW, E, N, NW) | 33,60 |

Devido às características do clima na região sul do Brasil, os ventos sopram de diferentes quadrantes e a pluviosidade é regular ao longo de todas as estações do ano. A ação desses agentes dinâmicos é responsável pela evolução das fácies sedimentares transicionais como os campos de dunas, e a manutenção do caudal dos corpos lagunares e terraços paludiais. São responsáveis também pelos eventos ambientais tais como soterramentos, alagamentos, deslizamentos e erosão.

1.3.2.2. Geologia regional

Com base nos trabalhos de mapeamento geológico realizados por diferentes autores, tais como Guerra (1950), Pimienta (1958), Gré (1983), DNPM (1986), GAPLAN (1986), Caruso Jr (1995), Horn Filho & Diehl (1994) para a província costeira da região sudeste do Estado de Santa Catarina, na qual se inclui a área de estudo, é apresentada abaixo uma síntese das principais unidades geológicas presentes em superfície e que influenciam na formação e evolução das feições sedimentares que compõem os ambientes de sedimentação costeiros.

Tendo por base o mapa geológico regional da figura 2.1 (DNPM, 1986) é possível observar as unidades que compõem a cobertura do sudeste catarinense.

1.3.2.2.1. O Escudo catarinense

O Escudo catarinense é formado por rochas cristalinas datadas do Arqueano, Proterozóico inferior a médio, onde são observados granitóides sintectônicos porfiríticos grosseiros pertencentes a Suite Intrusiva Pedras Grandes, relacionados ao ciclo Brasileiro.

Aparecem a oeste da área na forma de maciço cristalino e na região costeira na forma de inselbergs e costões rochosos, que ancoram os sedimentos litorâneos e configuram a orientação da linha de costa.

Os representantes dessa Suite Intrusiva são cortados por falhamento de direção NE, dentro das quais se encaixam intrusões de corpos graníticos e básicos, esses últimos ligados a Formação Serra Geral, datada do Mesozóico.

1.3.2.2.2. Sedimentos Cenozóicos

Os sedimentos cenozóicos estão ligados aos períodos Terciário e Quaternário, Pleistoceno Superior e Holoceno, e são de origem continental, marinho e transicional. Nos sedimentos continentais terrígenos, onde predominam as argilas do Terciário/Quaternário, foram gerados em ambientes de sedimentação fluvial e de leques aluviais que que cavam e preenchem os vales nas rochas cristalinas.

Já, os ambientes costeiros são compostos por sedimentos predominantemente terrígenos, do Quaternário. São agrupados em sistemas deposicionais deltácos e do tipo Laguna-Barreira de origem transicional e marinha, onde são encontradas as fácies lagunar, eólica e praial marinha.

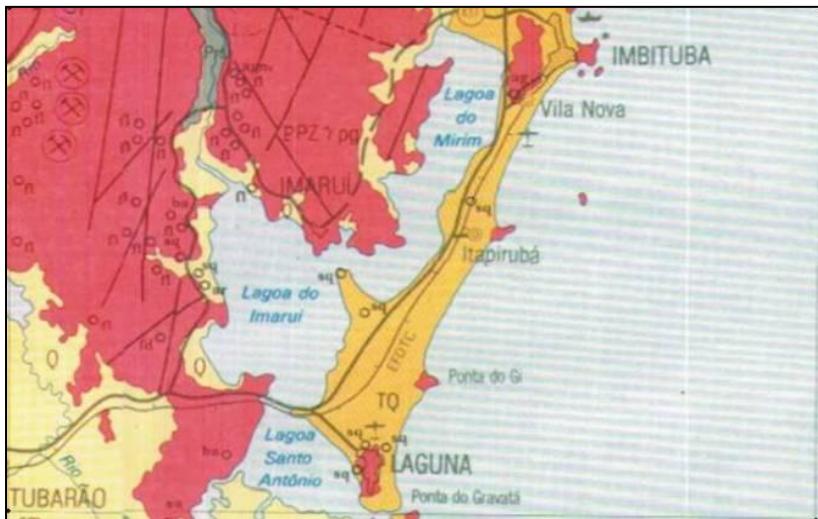


Figura 1.3. Mapa geológico regional modificado de DNPM, 1986.

COLUNA ESTRATIGRÁFICA

| Unidades Cronogeológicas | Unidades Litoestratigráficas | |
|--------------------------|------------------------------------|---------|
| Cenozóico - Quaternário | Sedimentos marinhos e continentais | Q |
| Cenozóico - Terciário | Sedimentos continentais | TQ |
| Eo-Paleozóico Cambriano | Suíte intrusiva Pedras Grandes | PPZγ,pg |

1.3.2.2.3. Geologia marinha

Na porção marinha situam-se as bacias da margem continental representadas pelas bacias de Santos e a de Pelotas (KOWSMANN ET AL. 1974), ambas de idade cenozóica e preenchidas por sedimentos de origem terrígena e química. A cobertura dessas duas bacias marginais é formada por sedimentos de plataforma continental (GRÉ, 1983), com prolongamento até a planície costeira. Os sedimentos da plataforma continental são relíquias e têm composição predominantemente terrígena, constituídos de areia e lama. Os processos deposicionais associados estão ligados a episódio transgressivo que retrabalhou antigos sedimentos de planície costeira de idade pleistocênica e cuja gênese é entendida como marinha e transicional (KOWSMANN ET AL., 1977).

1.3.2.2.4. Tectônica

Cortando as rochas e sedimentos paleozóicos aparecem lineações de várias gerações com orientações N-S, NW, NNE (ZALAN, 1990). As lineações de NW encaixam intrusões ácidas e básicas do Eopaleozóico, enquanto que as lineações com direção NNE encaixam intrusões de diabásio relacionados ao magmatismo cretáceo.

As lineações NNE são importantes, já que alinham as rochas do Escudo Cristalino e, com isso, são responsáveis pela configuração da atual linha de costa.

1.3.2.3. Aspectos geomorfológicos

Segundo a bibliografia consultada (SANTA CATARINA, 1986) a região do sudeste catarinense mostra a ocorrência de dois domínios morfoestruturais maiores, representados pelas rochas cristalinas do Embasamento Cristalino que integram a Unidade Geomorfológica Serras do Leste Catarinense e por depósitos sedimentares de origem predominantemente costeira, que definem a Unidade Geomorfológica Planícies Litorâneas.

Na área de estudo, as Serras do Leste Catarinense estão representadas pela Serra do Tabuleiro, que se estendem até o litoral, onde formam costões e promontórios graníticos.

O maciço rochoso apresenta cristas que atingem altitudes de até 1.000m, com encostas íngremes e vales alongados na direção NE – SW, E – W, NW – SE, controlados por falhamentos e que são também responsáveis pela orientação geral da linha de costa, já que as praias atuais estão ancoradas nessas rochas.

A planície costeira representa o prolongamento da plataforma continental em direção a parte terrestre (GRÉ, 1983). Essa unidade agrega as terras baixas, onde se desenvolvem feições do tipo terraços, cristas praias e dunas, formadas em ambiente transicional. Essa unidade geomorfológica abriga diversas feições fisiográficas tais como pontais arenosos, lagunas, dunas, praias oceânicas, lagunares e deltas, que têm suas origens ligadas a eventos tectônicos, às oscilações do nível marinho durante o Quaternário e ao trabalho eólico.

Já, no lado oceânico estão presentes sedimentos terrígenos da Plataforma Continental que recobrem as bacias marginais de Pelotas e Santos.

1.3.2.4. Pedologia

Segundo dados do GAPLAN (1986) são encontrados na região três diferentes tipos de solos apresentados abaixo.

Os solos da classe **podzólico vermelho - amarelo álico** que se caracterizam por serem solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural, boa diferenciação entre os horizontes e derivados da alteração de rochas do Pré - Cambriano Superior. São encontrados ao longo de todo embasamento cristalino que ocorre na área.

Os solos da **classe areias quartzosas distróficas** se caracterizam por apresentarem pouco desenvolvimento, podendo ser hidromórficos, profundos, porosos, drenados, de textura arenosa, de boa permeabilidade, podendo conter argilas de atividade baixa. São encontrados ao longo de toda área, correspondendo aos depósitos pleistocênicos e holocênicos formados pelos processos de regressão e transgressão marinhas.

Os solos da classe **glei húmico eutrófico** se caracterizam por serem hidromórficos e com elevado teor de matéria orgânica no horizonte superficial, quando húmico, e horizonte glei em subsuperfície. São encontrados na área de estudo, a oeste, representando o terraço lagunar holocênico.

Para a área de estudo foi adotada a classificação da ABGE (1998) modificada para a área de estudo (anexo 3), estando presentes o **solo arenoso**, solo de areia quartzosa, **solo hidromórfico de areia quartzosa**,

que correspondem aos solos da classe areias quartzosas distróficas e o **solo orgânico** que corresponde aos solos glei e as **dunas**, tratadas como terrenos.

1.3.3. Uso do solo

O trecho onde está inserida a área de estudo tem diferentes usos, tais como a silvicultura, cultura agrícola, carcinicultura, mineração, áreas edificadas, além de cobertura vegetal e corpos de água naturais e artificiais.

A silvicultura está voltada tanto para uso industrial, quanto para suprimento de combustível. A agricultura, de subsistência, é representada por culturas diversas. O desenvolvimento da carcinicultura garante a criação e comercialização de camarão. A atividade de mineração abrange a extração de substâncias primárias como areia, para atender à construção civil.

As áreas edificadas incluem o núcleo urbano tradicional relativo à sede municipal e a construção, na atualidade, de novos núcleos urbanos, com apelo balneário.

1.3.4. Aspectos bióticos

Aqui é dada atenção à cobertura vegetal instalada sobre os diferentes solos encontrados na área de estudo. Segundo o GAPLAN (1986) a cobertura vegetal ocorre associada principalmente aos terrenos quaternários, recobrindo dunas, baixadas litorâneas e terraços arenosos.

1.3.4.1. Vegetação

Na área de estudo ocorrem rochas do embasamento cristalino que formam as terras altas, onde predominam rochas de composição granítica, e sedimentos terrígenos inconsolidados de planície costeira que ocupam as terras baixas.

De acordo com Klein (1978), a vegetação predominante que recobre as rochas do embasamento cristalino faz parte integrante da formação florística da Floresta Ombrófila Densa, onde aparece o Ipê e a Canela.

Os solos e dunas que representam as terras baixas sedimentares são recobertos por diferentes comunidades florísticas, genericamente denominadas de restinga, e distinguidas em função do tipo de depósito sedimentar sobre o qual a vegetação se assenta.

A faixa arenosa localizada entre a zona intermarés e a duna frontal, que sofrem influência da água salgada, dos ventos e do constante soterramento pela areia é colonizada por espécies herbáceas halófitas e psamófitas.

Na duna semifixa localizada após a duna frontal, encontra-se a *Spartina ciliata*, uma gramínea com estolões. A duna fixa é coberta por extensos gramados entremeados de capões, butiazais, lagoas e perizais, integrantes dos campos litorâneos.

A duna fixa é coberta por gramados com capões e butiazais integrantes dos campos litorâneos.

Nas baixadas litorâneas, onde a umidade superficial é elevada, pela posição superficial do nível freático, já são observadas comunidades arbóreas desenvolvidas e uniformes. Na margem das lagoas, situadas mais para o interior, a cobertura vegetal é formada por indivíduos arbóreos característicos dos estágios de recuperação adiantados.

1.3.5. Aspectos socioeconômicos e ambientais

Segundo informações oficiais do Governo do Estado de Santa Catarina (SANTA CATARINA, 2012) a cidade de Laguna foi fundada em 1676, e é a terceira cidade mais antiga de Santa Catarina, tendo desempenhado papel de destaque na história da região sul do país. Colonizado principalmente por açorianos, o município de Laguna, com 50.452 habitantes (IBGE, 2010), está entre os de maior população no litoral sul do estado.

A economia do município baseia-se principalmente na pesca, com alta produção de camarão e siri em suas lagoas e de pescados na costa do Atlântico Sul. A pecuária e a agricultura de subsistência, onde se destaca a cultura do milho e da mandioca, são desenvolvidas principalmente no interior. Outros fatores econômicos são a atividade portuária, o comércio, a mineração, a silvicultura e o turismo, com destaque para o turismo balneário, que aparece como grande fonte de renda, especialmente durante o verão.

O uso e ocupação do solo e exploração dos recursos naturais no município de Laguna são fontes de problemas ambientais diversos que afetam a flora, fauna, os recursos hídricos e solos. São decorrentes, entre outros do turismo balneário, com o incremento da ocupação imobiliária de terrenos de planície costeira sem critérios ambientais definidos.

A instalação de núcleos urbanos para fins balneários sem planejamento que leve em conta as características geotécnicas e riscos ambientais inerentes aos terrenos de planície costeira, favorece os problemas ambientais nessas áreas. Tais problemas estão relacionados, entre outros, à ocorrência de inundações, alagamentos, soterramentos de construções e infraestrutura viária, além de riscos de contaminação do lençol freático.

1.4. METODOLOGIA

O trabalho de pesquisa para a identificação da aptidão física das feições geológicas de planície costeira foi desenvolvido em três etapas traduzidas pelos estudos da geologia, geotécnico e favorabilidade à urbanização.

1.4.1. Metodologia aplicada ao estudo geológico

O estudo geológico constou da identificação e caracterização das fácies sedimentares da planície costeira quanto à gênese e evolução paleogeográfica. Contou basicamente da análise geomorfológica e sedimentológica dos terrenos, com vistas à aplicação dessas informações ao estudo geotécnico.

1.4.1.1. Trabalhos preliminares

Os procedimentos metodológicos preliminares que fundamentaram o estudo geológico incluíram:

- Levantamento de material bibliográfico e cartográfico relacionado à geologia, geomorfologia, geotecnia, existente sobre a área;
- Aerofotointerpretação da área de estudo, com base em fotografias aéreas em escala 1:25.000 (IBGE, 1976) e geração de overlay na mesma escala, onde consta a delimitação e morfologia das fácies sedimentares existentes na área de estudo;
- Aerofotointerpretação utilizando fotografias aéreas em escala 1:10.000 do ano de 2011 (SDS, 2011), com geração de overlay na mesma escala, onde consta a delimitação das fácies sedimentares existentes na área de estudo;

O mapa base para o geoprocessamento dos dados foi construído a partir de levantamento aerofotogramétrico do governo do estado (SDS, 2011) com o auxílio do software ArcGis 10;

- Locação de 2 perfis topogeológicos na direção NW – SE, posicionados de modo que sejam representativos da geologia da área de estudo, a serem ocupados nos trabalhos de campo, voltados ao levantamento geológico e trabalhos de amostragem de sedimentos;
- Estabelecimento de malha de amostragem para análises sedimentológicas, para a coleta de duas amostras a profundidade de 0,80m de cada depósito identificado.

1.4.1.2. Trabalhos de campo

A coleta de dados de campo foi efetuada através da realização dos seguintes procedimentos:

- Sondagens a trado até a profundidade de 2 m para a identificação da homogeneidade do pacote de sedimentos, com descrição dos furos e amostragem nas seções representativas das diferentes fácies sedimentares presentes na área;

- Coleta de amostras de sedimentos obtidos na sondagem, a profundidade de 0,80m para análises sedimentológicas, num total de 21 amostras representativas dos depósitos sedimentares ao longo dos perfis determinados nos trabalhos preliminares;

- Determinação das coordenadas dos pontos de amostragens e dos pontos de controle para o mapeamento geológico.

1.4.1.3. Atividades de laboratório

O tratamento em laboratório das amostras de sedimentos coletadas inclui:

- a realização de análises granulométricas para a determinação dos parâmetros estatísticos e das percentagens de tamanho de grão. As amostras foram peneiradas em jogo de peneiras com $\frac{1}{2} \Phi$ utilizando a escala granulométrica de Wentworth (1922) e os parâmetros estatísticos foram determinados com a aplicação das fórmulas de Folk & Ward (1957);

- a determinação do teor de matéria orgânica presente nos sedimentos. Essa análise foi feita por queima em forno a temperatura de 400° C por um período de 4 horas.

1.4.1.4. Trabalhos de gabinete

Os trabalhos de gabinete contemplaram os seguintes procedimentos:

- Elaboração de mapa geológico em escala de 1:10.000, mostrando a disposição das fácies sedimentares de ocorrência na área de estudo;

- Elaboração de mapa geomorfológico em escala 1:10.000, mostrando as feições ligadas aos diferentes depósitos geológicos mapeados;

- Elaboração de mapa textural em escala 1:10.000, mostrando as classes granulométricas e MO ligadas aos diferentes depósitos sedimentares mapeados;

- Caracterização geológica das fácies sedimentares levando em conta sua origem, idade, morfologia e textura.
- Apresentação de quadro mostrando as percentagens de tamanho de grãos e seus constituintes.

1.4.2. Metodologia aplicada ao estudo geotécnico

Na construção civil, as fundações constituem a base para a solidez de uma edificação de qualquer porte. Em função disso, se faz necessário o levantamento dos parâmetros geotécnicos dos solos que incluem a textura, permeabilidade, compacidade, e coesão. Também se deve proceder a avaliação da ação dos agentes dinâmicos e dos riscos ambientais a que são susceptíveis cada geoambiente estudado. A integração dessas informações permite identificar áreas estáveis e aquelas com propensão a riscos ambientais naturais ou induzidos pelas intervenções geotécnicas sobre o terreno.

1.4.2.1. Trabalhos Preliminares

Os procedimentos metodológicos preliminares que fundamentaram o estudo geotécnico incluíram:

- Revisão bibliográfica e cartográfica voltada à temática e àqueles trabalhos realizados na área de pesquisa;
- Aerofotointerpretação, utilizando fotografias aéreas em escala 1:10.000 (SDS, 2011) com geração de overlay na mesma escala com vistas a:
 - Elaboração de mapa de solos gerado a partir do mapa geológico. Aqui é utilizada classificação dos solos para geotecnia modificado de ABGE(1998) e mostrado no quadro 1.3;
 - Elaboração de mapa de riscos ambientais;
 - Elaboração de carta geotécnica na escala 1:10.000;
 - Elaboração de carta geotécnica com base em informações obtidas do mapa de solos, parâmetros geotécnicos, geomorfológicos, agentes dinâmicos e riscos ambientais;
 - Locação dos pontos para a realização dos ensaios geotécnicos de permeabilidade com identificação da posição do nível freático, compacidade e coesão dos solos.

Quadro 1.3. Classificação dos solos para a área de estudo. (modificado de ABGE, 1998).

| Fácies sedimentar | SOLO | HORIZONTE | OBS |
|---|--|---|---|
| Lagunar holocênico | Orgânico | A: turfoso | NF: aflorante Compacidade: Fofa |
| Lagunar holocênico | Areia quartzosa | A: mineral com MO C: camada mineral | NF: profundo Permeabilidade: alta Compacidade: alta |
| Depósito praial marinho holocênico – cordão C1 | Areia quartzosa | A: mineral com MO C: camada mineral | NF: profundo Permeabilidade: alta Compacidade: alta |
| Depósito praial marinho holocênico– cordão C2 | Hidromórfico de areia quartzosa | A: mineral com MO – cinza E: mineral – branco | NF: aflorante Horizontes: arenosos |
| Depósito marinho e eólico pleistocênico | Arenoso | A: Areia e argila com MO - cinza C: Areia e argila (5%) marrom | Textura: areia quartzosa com até 5% de argila NF: profundo Permeabilidade: alta a moderada Compacidade: alta |
| Depósito eólico holocênico | Duna | Camada superficial: areia Camada interna: areia | NF: profundo Permeabilidade: alta Compacidade: baixa Coesão: incoeso |

1.4.2.2. Trabalhos de Campo

Os trabalhos de campo foram voltados ao reconhecimento das características geotécnicas dos solos e dos geoambientes mapeados nos trabalhos preliminares.

No reconhecimento das características geotécnicas dos solos, os procedimentos de campo incluíram a realização de ensaios geotécnicos. Essa etapa da pesquisa incluiu as seguintes atividades de campo:

- Identificação e delimitação dos solos e terrenos presentes na área de estudo;

- Realização de testes e ensaios geotécnicos visando determinar as características físicas dos solos, incluindo:

- testes de infiltração para a determinação da permeabilidade do solo, incluindo a determinação da posição do nível freático, com a realização de um teste por tipo de solo, totalizando quatro testes;

- ensaios SPT para a determinação da compacidade do solo, com um ensaio para cada tipo de solo, totalizando quatro testes.

Para a identificação dos geoambientes efetuou-se o estudo geomorfológico da área de estudo, voltado à identificação da morfologia do terreno e dos agentes dinâmicos atuantes no presente

Para cada geoambiente mapeado, a integração das características morfológicas do terreno e dos agentes dinâmicos, aliado às características geotécnicas dos solos, permitiu o reconhecimento das áreas sujeitas a riscos ambientais gerados por causas naturais e induzidas pelas intervenções geotécnicas.

1.4.2.3. Trabalhos de Gabinete

Os trabalhos de gabinete contemplaram os seguintes procedimentos:

- Identificação dos parâmetros geotécnicos ligados aos diferentes tipos de solo;
- Identificação dos agentes dinâmicos atuantes na região;
- Identificação dos riscos ambientais;
- Tabulação dos parâmetros físicos obtidos no estudo geotécnico realizado em campo;
- Interpretação e integração dos parâmetros geotécnicos obtidos e tabulados; Através da construção de overlays, ensaios geotécnicos e controle de campo procedeu-se à:
- Elaboração de mapas de permeabilidade, compacidade, coesão em escala 1:10.000;
- Elaboração de carta de risco ambiental em escala de 1:10.000;
- Apresentação de quadro com as características geotécnicas dos geoambientes, incluindo os parâmetros geotécnicos, ação dos agentes dinâmicos e a suscetibilidade a riscos ambientais.
- Elaboração de carta geotécnica em escala 1:10.000.

1.4.3. Metodologia aplicada ao estudo da aptidão física dos geoambientes à urbanização

Com base no conhecimento das fácies sedimentares e das características físicas dos solos e geoambientes, da ação dos agentes dinâmicos e da suscetibilidade a riscos ambientais, são apontadas unidades de favorabilidade à urbanização. Para isso, nessa etapa da pesquisa, foram criados métodos de valoração para os diferentes itens relacionados pela geotecnia.

- Valoração dos parâmetros geotécnicos dos solos;
- Valoração da morfologia e posição do nível freático
- Valoração dos agentes dinâmicos e riscos ambientais
- Valoração dos geoambientes identificados no estudo geotécnico, levando em conta os parâmetros geotécnicos, os agentes dinâmicos e os riscos ambientais;

- Criar unidades de aptidão física à urbanização, considerando áreas estáveis, com problemas geotécnicos locais, com problemas geotécnicos regionais e aquelas áreas que não admitem implantação de fundação rasa.

a partir da integração dos parâmetros físicos determinados no quadro mencionado no item anterior;

- Elaboração de um quadro com as características geotécnicas, os agentes dinâmicos e riscos ambientais de cada um dos geoambientes mapeados, com o índice de favorabilidade;

- Elaboração de carta de favorabilidade à urbanização em escala 1:10.000, gerada a partir da integração dos mapas geológico, geomorfológico, solos, geotécnico e de riscos ambientais.

1.5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este trabalho trata do estudo da favorabilidade à urbanização em terrenos de planície costeira tendo como base a análise de dados geológicos, geomorfológicos e geotécnicos levantados em diferentes tipos de solo encontrados na área de estudo, assim como a propensão a riscos ambientais e a possibilidade da atuação de agentes dinâmicos no local.

Para isto se faz necessário o conhecimento da evolução geológica da área, inserida no âmbito regional, calcado no entendimento dos processos oceanográficos e climáticos. Esses são os processos responsáveis pela formação dos ambientes de sedimentação em planície costeira que geram os solos e terrenos dunários, estudados na geotecnia. Esses processos oceanográficos e climáticos são também responsáveis pela geração de riscos ambientais a que estão sujeitos esses geoambientes.

Para a compreensão da análise geotécnica são apresentados fundamentos que permitiram a avaliação da favorabilidade à urbanização na área de estudo. Assim, são apresentados aqui os elementos responsáveis pela formação e evolução dos ambientes de sedimentação costeira e os elementos teóricos que fundamentaram a avaliação das propriedades geotécnicas dos terrenos e a favorabilidade destes à urbanização.

1.5.1. Fatores responsáveis pela formação dos ambientes de sedimentação e riscos ambientais

Aqui se consideram os agentes dinâmicos formadores dos ambientes de sedimentação costeira, tais como os climáticos e os oceanográficos, além dos modelos de sedimentação aplicados aos ambientes transicional e marinho.

1.5.1.1. Clima

O clima exerce influência sobre a formação de ambientes de sedimentação costeira através, principalmente, da atuação dos ventos e da pluviosidade ao longo do tempo geológico. A atmosfera sofre aquecimento diferencial pela energia solar, com aquecimento maior na zona equatorial e menor nas regiões polares, devido ao ângulo de incidência da radiação solar no planeta. Essas diferenças térmicas formam zonas de pressão

diferenciadas, sendo de alta pressão para os polos e baixa pressão para as regiões equatoriais.

Esse gradiente de pressão associado à força de Coriolis, ativada pelo movimento de rotação da Terra, gera as massas de ar que, segundo Hare (1963), são grandes corpos de ar horizontais e homogêneos, deslocando-se como uma entidade reconhecível e tendo tanto origem tropical como polar.

Segundo Nimer (1989), duas massas de ar têm importância na dinâmica climática do sul do Brasil. A massa Tropical Atlântica (mTa) que é aquecida, se desloca em direção a sul e atua em 80% dos dias do ano, e a massa Polar Atlântica (mPa) que é resfriada, se desloca em direção a norte e atua nos 20% restantes.

O deslocamento dessas massas de ar é importante já que interfere nos processos oceanográficos costeiros através da ação das ondas e dos ventos gerados, que transportam sedimentos ao longo da linha de costa, exercendo influência sobre os processos construtivos e destrutivos do ambiente costeiro.

Esses processos climáticos que ocorrem ao longo do tempo geológico foram responsáveis pela formação e evolução de paleoambientes costeiros e dos ambientes costeiros atuais.

Devido às características do clima na região sul do Brasil no Quaternário, os ventos, no seu trabalho transportador, retiram os sedimentos arenosos do litoral, acumulando-os na parte terrestre, vindo a formar os campos de dunas de diferentes gerações. Já, a pluviosidade, contribui com a alimentação de água para os corpos lagunares presentes na zona costeira e é responsável também pelas feições paludiais presentes na região costeira.

Ambos são responsáveis por eventos ambientais, tais como soterramento, erosão e alagamentos.

1.5.1.2. Oceanografia

A construção dos depósitos costeiros terrígenos está diretamente ligada à dinâmica dos oceanos sobre a costa. Os agentes oceanográficos que se destacam nesse ambiente são as ondas, marés, e correntes litorâneas, que atuam em várias escalas temporais. Outro agente oceanográfico de destaque e que atua em escala de longo prazo é a variação do nível marinho, sobretudo por questões glácio-eustáticas.

1.5.1.2.1. Ondas

A formação das ondas oceânicas se traduz no enrugamento da superfície marinha decorrente principalmente do trabalho da fricção do vento sobre a camada de água marinha superficial e que são geradas em diferentes áreas do oceano. Quando encontram o fundo marinho raso, próximo a costa, as ondas sofrem transformações nas suas características e arrebentam, transferindo sua energia para a geração de corrente aquosa que formam a saca e a ressaca (KOMAR,1976).

Disso, dependendo da energia das ondas, pode resultar processos erosivo dos depósitos litorâneos em condições de alta energia, e de acreção, quando o nível de energia das ondas for baixo. Esse ataque constante das ondas sobre o litoral resulta em constante modificação morfodinâmica dos depósitos litorâneos.

Além disso, contribuem para a oscilação do nível da maré e geração de correntes de deriva litorânea e correntes de retorno.

No presente, como afirmado anteriormente, a atuação das ondas contribui para a instabilidade da morfologia das praias, representando ameaça à ocupação da orla, devendo ser conhecido seu comportamento ao longo dos ciclos anuais. Por outro lado feições litorâneas pretéritas, desvinculadas da ação atual das ondas, mostram feições típicas estáveis do ponto de vista morfológico e granulométrica.

1.5.1.2.2. Marés

As marés são oscilações do nível marinho em escala diurna (KOMAR,1976), ocasionadas por causas diversas, entre elas e principalmente, por questões astronômicas e meteorológicas.

As marés astronômicas envolvem a atração gravitacional exercida pelos astros. Quando Terra, Lua e Sol estão em alinhamento formam as chamadas marés de Sízígia, onde as amplitudes de maré são maiores, enquanto que, quando os três astros não estão alinhados formam as chamadas marés de Quadratura, onde a amplitude de variação da maré é menor.

Por outro lado, as marés meteorológicas envolvem a atuação dos ventos e da pluviosidade no oceano. Quando os ventos sopram do mar para o continente, promovem o empilhamento de água junto à costa, potencializando a maré alta. Já os ventos que sopram do continente, empurram a massa de água para o alto mar, fazendo diminuir as amplitudes da maré alta. A pluviosidade, por sua vez, adiciona água ao mundo

oceânico, fazendo com que o nível do mar se eleve, potencializando, dessa forma, a amplitude da maré alta.

As correntes de maré, em trabalho conjunto com as ondas, exercem influência sobre o litoral e promovem episódios de erosão e acreção, dependendo da posição do nível das águas. Quando da elevação do nível das águas, há também a elevação do nível freático, provocando, muitas vezes, alagamentos. Por isso mesmo esses parâmetros oceanográficos devem ser considerados importantes em projetos de urbanização em terrenos de planície costeira.

1.5.1.2.3. Correntes de Deriva

São considerados aqui dois tipos de correntes de deriva que se desenvolvem na zona de surfe, ativadas pelo transporte da massa de água em direção a terra firme, após a arrebentação das ondas: são elas a corrente de deriva litorânea e a corrente de retorno (KOMAR, 1976).

A corrente de deriva litorânea se dá na direção longitudinal à linha de costa e tem sua velocidade e sentido de fluxo determinados pelo tamanho das ondas e pelo ângulo de incidência que a frente de onda faz com a linha de costa.

Aqui, existe uma relação direta entre esses fatores, ou seja, quanto maior o tamanho da onda e quanto maior for a obliquidade da frente de onda em relação à linha de costa, maior será a velocidade da corrente. O sentido da corrente é determinado pelo quadrante de incidência da frente de onda. Para a costa catarinense, as ondas provenientes do quadrante sul geram correntes no sentido norte, enquanto que quando provenientes do quadrante norte, geram correntes com fluxo para o sul.

Essa corrente tem importância na geração dos depósitos eólicos litorâneos, sobretudo junto aos costões cristalinos que ancoram as praias. Os sedimentos são aprisionados nesses locais, se depositam nas praias e após serem secados pela insolação, são transportados para a parte terrestre pelos ventos vindos do mar, formando os campos de dunas.

Quando a corrente de deriva litorânea inflete em direção ao alto mar, a corrente passa a se chamar de corrente de retorno. Essa corrente transporta sedimentos e quando perde energia deposita-os modificando a morfologia da plataforma continental interna.

Do exposto acima, pode-se dizer que os processos oceanográficos costeiros são importantes no que tange a construção e evolução dos ambientes de sedimentação costeiros. São também causadores em potencial de riscos ambientais tais como erosão costeira e alagamentos. Em vista

disso, o entendimento de sua ação é um item fundamental nos estudos que envolvem a zona costeira.

1.5.1.3. Bases para o entendimento da evolução paleogeográfica da planície costeira

A gênese e evolução dos ambientes de sedimentação transitacionais que compõem a planície costeira estão ligadas às oscilações do nível do mar no Quaternário, tal como preconizado por Maack, (1949), Bigarella & Becker (1975), Bittencourt et al. (1982), Suguio et al. (1985), e também a outros processos oceanográficos e meteorológicos.

Os processos evolutivos da sedimentação quaternária da planície costeira podem seguir o modelo laguna – barreira, proposto por Villwock et al. (1986) para a província costeira do Rio Grande do Sul.

1.5.1.3.1. Oscilações do nível relativo do mar no Quaternário

A planície costeira tem sua formação ditada pelas variações do nível do mar durante o Quaternário, sobretudo por causas glácio-eustáticas, que deram origem a diferentes fácies sedimentares ligadas a ambientes de sedimentação transitacional e marinho.

Diferentes autores, tais como Suguio et al. (1985), Villwock et al. (1986), Suguio & Martin (1987), Gré et al. (1993) e Caruso Jr. (1995), deram contribuição importante para o conhecimento dos processos genéticos e evolutivos da planície costeira. O trabalho de Suguio et al. (1985) mostra, para a costa catarinense, a curva de oscilação do nível marinho no Holoceno, onde são identificados processos trans/regressivos, com seus níveis de estabilização marcados por posições altimétricas.

A evolução paleogeográfica da planície costeira pode ser traçada tendo como base as unidades litoestratigráficas estudadas pelos autores relacionados e que permitiu criar seis estádios evolutivos, tal como mostrado abaixo.

Estádio I: Máximo da regressão pliocênica e quaternária indiferenciada: (1.100 ka), onde o nível do mar estaria a 100m abaixo do nível atual (MAACK, 1949);

Estádio II: Transgressão e regressão do Pleistoceno inferior: onde o nível do mar atingiu posição mais baixa (-137m) e que corresponde ao Sistema Laguna – Barreira I Villwock et al. (1986);

Estádio III: Transgressão e regressão do Pleistoceno médio: (730ka), com nível do mar próximo do atual. Corresponde ao Sistema Laguna – Barreira II Villwock et al. (1986);

Estádio IV: Transgressão e regressão do Pleistoceno superior: (120ka) e nível do mar 6m acima do atual, recuando para – 120m (BITTENCOURT ET AL., 1982);

Estádio V: Transgressão do Holoceno: 5,1ka, quando teria atingido \pm 3,5m acima do atual (SUGUIO ET AL., 1985);

Estádio VI: Regressão do Holoceno: últimos 5,1ka, com três níveis trans/regressivos intermediários (SUGUIO ET AL., 1985). Corresponde ao Sistema Laguna – Barreira IV.

Dessa forma, da apreciação do modelo exposto, se entende que os sedimentos costeiros se formaram no período Quaternário, através da ação de processos marinhos e transicionais, ativados tanto pelas oscilações do nível do mar quanto pela atuação processos climáticos.

1.5.1.3.2. Modelo evolutivo da planície costeira

O sistema deposicional laguna - barreira é constituído de três subsistemas individualizados: a) subsistema barreira, b) subsistema laguna e, c) subsistema canal de interligação (VILLWOCK & TOMAZELLI, 1995).

O subsistema barreira possibilita a acumulação das fácies praias marinhas e eólicas originadas em ambientes transicionais. A fácies praia marinha é constituída de areia fina a média, bem selecionada e estratificada, enquanto que a fácies eólica é constituída de areia muito fina a fina, bimodal, com estratos cruzados e maciços. O subsistema lagunar instala-se entre o mar e o continente pelo isolamento provocado pelo subsistema barreira. Nos canais de interligação entre o oceano e os corpos lagunares (subsistema canal de interligação), acumulam-se depósitos sedimentares característicos de canais, com tamanho de grão de areia grossa a média, rica em litoclastos e biodetritos.

No decorrer das fases de subida do nível do mar ocorre um retrocesso da linha de costa oceânica e lagunar, gerando fácies transgressivas constituídas de sedimentos arenosos grossos e biodetritos carbonáticos. Durante as regressões, as áreas lagunares são ocupadas por depósitos paludiais, ocorrendo progradação da linha de costa e aprofundamento dos sistemas fluviais que avançam na tentativa de restabelecer o perfil de equilíbrio afetado pelo abaixamento do nível de base de erosão regional.

O modelo proposto por Villwock et al. (1986) para a costa do Rio Grande do Sul e que pode ser adaptado para a costa catarinense cria os sistemas deposicionais do tipo Laguna – Barreira formados pelas oscilações do nível marinho no Quaternário, onde são identificadas as fácies de barreira e as fácies de laguna, tão bem utilizadas por Caruso Jr. (1995) no mapeamento da costa do SE catarinense.

1.5.2. Geotecnia

A especialização que trata as relações entre o homem e o meio físico geológico recebe a denominação de **geologia aplicada** conhecida hoje como **geologia de engenharia**. Os conceitos de geologia aplicada ou geologia de engenharia são encontrados na própria denominação, ou seja, a geologia como base científica e a engenharia como aplicação da informação geológica. Isto significa que a geologia aplicada une o campo de conhecimento da Terra e de sua história ao campo de desenvolvimento das técnicas de transformação da Terra pelo homem (Oliveira et al., 1995).

A geologia aplicada, como campo das geociências, pode ser definida, de acordo com ABGE, (1998), como *“a ciência dedicada à investigação, estudo e solução de problemas de engenharia e meio ambiente, decorrentes da interação entre a geologia e os trabalhos e atividades do homem, bem como à previsão e desenvolvimento de medidas preventivas ou reparadoras de acidentes geológicos”*.

De acordo com os estatutos da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), a geologia aplicada ou geologia de engenharia abrange:

- definição das condições da geomorfologia, estrutura, estratigrafia, litologia e água subterrânea das formações geológicas;
- caracterização das propriedades mineralógicas, físicas, geomecânicas, químicas e hidráulicas de todos os materiais terrestres envolvidos em construção, recuperação de recursos e alterações ambientais;
- avaliação do comportamento mecânico e hidrológico dos solos e maciços rochosos;
- previsão de alterações, ao longo do tempo, das propriedades citadas anteriormente;
- determinação dos parâmetros a serem considerados na análise de estabilidade de obras de engenharia e de maciços naturais;
- melhoria e manutenção das condições ambientais e das propriedades dos terrenos.

A geologia de engenharia, segundo Guidicini (1986), tem uma estreita associação com dois outros campos das ciências técnicas, a mecânica dos solos e a mecânica das rochas, que juntas são reunidas sob a denominação de **geotecnia**.

Para atuar nos trabalhos de engenharia civil voltados a projetos de urbanização, o geólogo deve ter conhecimento de mecânica dos solos, tanto nas questões ligadas aos projetos quanto na execução de obras na construção civil.

Dessa forma, o conhecimento adequado dos princípios da mecânica dos solos é um acréscimo importante ao conjunto de conhecimentos dos geólogos empenhados na aplicação de sua ciência aos problemas práticos de engenharia civil.

Por esse motivo surgiu a geotécnica que combina uma geologia onde esse campo de conhecimento está mais voltada a compreensão dos fenômenos físicos e uma mecânica dos solos, mais voltada ao equacionamento dos problemas geológicos.

Nesse sentido, os temas abordados por Mello, F. B. & Teixeira, A. H. (1960), Rosenack, S. (1963), Taylor, D. W. (1961), ABMS (1996), dão uma ampla visão acerca dos materiais da crosta terrestre, rochas e solos, quanto as suas características físicas e na análise em conjunto importância dessas informações para a elaboração de projetos e na construção civil.

1.5.2.1. Pedologia

Os solos em geotecnia, segundo ABGE (1998), são materiais incoerentes terrígenos que recobrem as rochas da superfície terrestre. São incluídos como solos os produtos de intemperismo das rochas e os sedimentos inconsolidados, exceção é feita com relação as dunas, considerados como terrenos.

Os solos são identificados e caracterizados através da granulometria, e da posição do nível freático. Na planície costeira da região são reconhecidos os solos apresentados abaixo, segundo a classificação adotada pelo GAPLAN (1986).

- Os solos da classe podzólico vermelho - amarelo álico
- Os solos da classe areias quartzosas distróficas
- Os solos da classe glei húmico eutrófico
- As dunas, consideradas apenas terrenos;

Os solos da **classe podzólico vermelho - amarelo álico** se caracterizam por serem solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B

textural, boa diferenciação entre os horizontes e derivados de rochas do Pré - Cambriano superior. São encontrados em todas as rochas cristalinas que ocorre na área.

Os solos da **classe areias quartzosas distróficas** se caracterizam por apresentarem pouco desenvolvimento, podendo ser hidromórficos, profundos, porosos, drenados, de textura arenosa, argila de atividade baixa e boa permeabilidade. São encontrados ao longo da área, correspondendo aos depósitos sedimentares pleistocênicos e holocênicos formados pelos processos de regressão e transgressão marinhas.

Os solos da **classe glei húmico eutrófico** se caracterizam por serem hidromórficos com elevado teor de matéria orgânica no horizonte superficial, quando húmico, e horizonte glei em subsuperfície. São encontrados na área de estudo, a oeste, representando o terraço lagunar holocênico.

Os solos são subdivididos em horizontes, onde se consideram para os solos presentes na área os seguintes horizontes:

- Horizonte A: orgânico;
- Horizonte C: mineral.

1.5.2.2. Escavações

Segundo ABGE (1998) **escavação** é processo empregado para romper a compacidade do solo ou rocha, por meio de ferramentas e processos, tornando possível a sua remoção. Uma escavação pode ser realizada com dois diferentes objetivos, quais sejam a obtenção de bens minerais e abertura de espaço para obras civis.

A escavação para a abertura de espaço para obras civis tal como fundações de prédios, o volume de material a ser removido pode ser pequeno e a atividade se processa em pequeno intervalo de tempo. Por outro lado, para a extração de bens minerais o volume de material retirado é grande e o período de tempo envolvido na atividade é longo.

As escavações precisam ser estáveis por períodos de tempo variáveis. Desde poucas horas até que um sistema de suporte ou obra definitiva seja implantado, por exemplo, execução de trincheiras para a construção de fundação radial ou até centenas de anos, no caso das grandes minerações.

A estabilidade das escavações pode ser dar em função das características granulométricas do solo ou ser obtida por meio de revestimentos artificiais quando se tratar de solo com pouca coesão. Portanto, o projeto de escavação deve levar em conta aspectos econômicos

e de segurança, com a avaliação da quantidade de material a ser retirado, definindo-se com isso as cavas ideais e o dimensionamento dos suportes em obras civis ou de mineração.

Tipos de escavação

As escavações são divididas, tradicionalmente em escavações a céu aberto e subterrâneas. Podem ser subdivididas ainda segundo a categoria do material:

As escavações a céu aberto são utilizadas em solos e envolvem serviços executados por homens munidos de pás e picaretas. Na área de estudo é utilizado esse tipo de escavação.

Escavação comum:

Esse tipo de escavação é indicado para os chamados materiais de primeira categoria como solo, material de alteração ou aluviões. Trata-se de solo friável onde a escavação é feita por desmonte como pode ser visto nas fotos 2.1 e 2.2.



Foto 1.1: escavação manual em solo coeso.



Foto 1.2: Escavação mecânica em solo coeso.

1.5.2.3. Fundações

As fundações são os elementos estruturais destinados a transmitir ao terreno as cargas de uma estrutura (ABGE, 1998). Neste item a abordagem é feita nas fundações de edificações com ênfase em solos que constituem os terrenos da área de estudo.

Os tipos de fundações estão considerados levando-se em conta a interação entre as estruturas e o meio natural distinguindo os condicionantes geológicos que intervêm no processo de escolha para a solução do projeto.

O terreno é elemento de uma fundação e do conhecimento do seu comportamento mecânico quando submetido a uma carga, dependerá o desempenho da fundação.

1.5.2.3.1. Classificação das Fundações

As fundações são subdivididas em dois grandes grupos quais sejam as fundações superficiais e as fundações profundas.

- Fundações rasas:

Esse tipo de fundações, também chamadas de **superficiais** ou **diretas**, são aquelas em que a carga transmitida ao terreno pelas pressões

distribuídas sob a base da fundação e em que a profundidade do assentamento, em relação ao terreno adjacente é inferior a duas vezes a menor dimensão do terreno adjacente. Essas fundações são utilizadas em obras civis de pequeno porte, como as obras residenciais térreas, motivo deste trabalho.

Distinguem-se os seguintes tipos em função dos materiais utilizados na sua construção:

- **Alvenaria:** pedra de talhe, cimento. Este tipo de fundação é considerado neste trabalho.

- **Bloco:** Fundação superficial de concreto, dimensionada de modo que as tensões de tração nela produzidas possam ser resistidas pelo concreto, sem necessidade de armadura, muitas vezes constituída pela ferragem. Este tipo de fundação também é considerada neste trabalho, como ilustra a foto 2.3.

- **Sapata:** Fundação superficial de concreto, dimensionada de modo que as tensões de tração nela produzidas possam ser resistidas pela ferragem e não pelo concreto.

- **Radier:** Abrange todos os pilares de uma obra.



Foto 1.3: Vista de detalhe da fundação do tipo bloco com concreto e ferragem construída em solo de areia com finos.

- Fundações Profundas

Também chamadas de indiretas são aquelas em que a carga é transmitida ao solo por atrito e por uma resistência de ponta. Constituem este tipo de fundação as estacas que podem ser cravadas ou moldadas no solo (foto 2.4). São utilizadas em obras de grande porte e por isso mesmo não são detalhadas aqui.

Porém, as áreas consideradas impróprias a urbanização neste trabalho necessitam de camada com capacidade de suporte, localizadas em profundidade e por isso necessitam de fundação profunda.



Foto 1.4. Implantação de fundação profunda do tipo estaca. Cortesia A. Lopes Estacas Ltda.

1.5.2.4. Risco ambiental

A ocorrência de processos da geodinâmica interna e externa seja terremotos, escorregamentos, etc., em áreas ocupadas pelo homem podem provocar acidentes geológicos. Esses acidentes geológicos que afetam diretamente o homem trazem prejuízos econômicos e até registro de mortes, como se tem observado ao longo do tempo no Estado de Santa Catarina.

O **risco geológico** é definido, segundo ABGE (1998), como uma situação de perigo, perda ou dano, ao homem e suas propriedades, em razão da possibilidade da ocorrência de processos geológicos, induzidos ou não.

Os processos geológicos ligados a geodinâmica independem da presença do homem já que são fenômenos naturais do planeta. Com a ampliação da ocupação do espaço físico pelo homem há uma intensificação de suas atividades e muitos processos geológicos naturais passaram a ocorrer com mais frequência já que podem ser induzidos, acelerados e potencializados pelas alterações decorrentes do uso e ocupação do solo.

Em vista disso, o conceito de risco geológico passou a incluir, além dos processos naturais, àqueles induzidos pelo homem e a geologia de engenharia passou a descrever, analisar e caracterizar não somente os fenômenos naturais, mas também aqueles resultantes da ação humana.

1.5.2.4.1. Conceitos Fundamentais

A ocorrência de um fenômeno geológico pode ou não causar perdas e danos. Quando o fenômeno geológico não causa perdas e danos, é chamado de evento e, se o fenômeno causa perdas e danos, é chamado de acidente.

Abaixo são apresentados os conceitos de evento, acidente e risco geológico segundo ABGE (1998):

- **RISCO GEOLÓGICO:** Possibilidade de ocorrência de um acidente geológico.

- **EVENTO GEOLÓGICO:** Fato já ocorrido, onde não foram registradas conseqüências sociais e econômicas relacionadas diretamente a ele.

- **ACIDENTE GEOLÓGICO:** Fato já ocorrido, onde foram registradas conseqüências sociais e econômicas (perdas e danos).

As situações de risco geológico podem ser identificadas e representadas na forma de **risco atual** ou de **risco potencial**. O risco atual corresponde ao risco instalado ou efetivo em áreas já ocupadas, enquanto o

risco potencial expressa a possibilidade de ocorrência de processos geológicos em áreas ainda desocupadas.

A diferenciação entre risco atual e risco potencial objetiva permitir que as situações de riscos geológicos já instalados possam ser eliminadas e que a expansão da urbanização possa se dar evitando a instalação de novas situações de risco, considerando as características dos terrenos geológicos.

1.5.2.5. Cartas de geologia de engenharia

A consulta a literatura cartográfica mostra que há diferença entre os termos **mapa** e **carta**. O mapa é entendido como uma forma de representação gráfica do meio físico seja geológico, geotécnico ou outros, de maneira apenas descritiva.

Já, o documento que se intitula carta apresenta informações gráficas que além de descritivas também são interpretativas. Daí, a necessidade da busca da informação em outros campos do conhecimento que na sua avaliação em conjunto poderão compor um quadro interpretativo.

Dessa forma, as cartas de favorabilidade ou de risco deverão ser elaboradas a partir de análise de mapas tais como o geológico, geomorfológico, declividade, hidrológico e outros, de maneira que o conjunto de mapas, na sua interpretação, forneçam informações que possam montar um documento cartográfico interpretativo.

Mesmo sabendo que há diferença entre as duas expressões cartográficas, muitos autores não distinguem os dois termos em seus trabalhos técnicos e científicos, utilizando ora o termo mapa, ora o termo carta para diferentes trabalhos com mesmo enfoque.

A geotecnia trata também da apresentação de material cartográfico que aponta as áreas de risco geológico e de favorabilidade a urbanização. A informação a ser repassada contém elementos descritivos e interpretativos, auxiliares na elaboração de projetos de qualquer natureza que envolva riscos geológicos, por isso a documentação é apresentada na forma de cartas de favorabilidade a urbanização ou de risco geológico.

As cartas de risco geológico são instrumentos cartográficos que apresentam a distribuição, os tipos e o grau de risco geológico que permita estabelecer medidas de prevenção de acidentes geológicos.

As cartas de favorabilidade podem ser produzidas em diferentes escalas. As mais utilizadas, visando o estudo geotécnico, tendo em vista a dimensão das feições e sub-feições geológicas, são apresentadas em escalas de detalhe como 1:10.000, 1:5.000 ou escalas maiores que 1:5.000, esta

última feita para atender subfeições quando apresentam dimensões reduzidas.

Nestas escalas as cartas apresentam a distribuição do risco em áreas já ocupadas e são auxiliares no planejamento da infraestrutura e atendem aos profissionais que trabalham com redução de risco em áreas específicas.

Nestas escalas as cartas apresentam a distribuição do risco em áreas já ocupadas e são auxiliares no planejamento da infraestrutura e atendem aos profissionais que trabalham com redução de risco em áreas específicas.

No presente trabalho, são apresentadas cartas em quatro escalas diferentes onde é mostrado o aumento progressivo do detalhamento das informações geológicas e geotécnicas. Aqui foi utilizada a metodologia da IAEG (1976) que apresenta uma classificação baseada na litogênese e que está embasada numa proposta taxonômica.

A carta com escala menor que 1:200.000 é chamada de Suíte Litológica associa vários complexos litológicos que se desenvolveram em condições tectônicas e paleogeográficas similares.

A carta apresentada em escala 1:75.000, classificada como Complexo Litológico estão lançadas informações geológicas em escala regional onde são delimitados os depósitos sedimentares que compõem o trecho Imbituba – Laguna no qual está inserida a área estudada.

Na escala 1:25.000, classificada como Tipo Litológico, prevê homogeneidade estrutural e textural. Aqui é apresentado o mapa geológico da área estudada com a delimitação dos depósitos sedimentares presentes em superfície.

Finalmente, na carta classificada como Tipo Geologia de Engenharia, na escala 1:10.000, são apresentados os geoambientes que compõem cada fácies sedimentar identificado no terreno.

1.5.2.6. Favorabilidade à urbanização

O conceito de favorabilidade geotécnica à urbanização pode ser entendido como a análise conjunta de variáveis físicas dos geoambientes, tais como parâmetros geotécnicos, morfologia, variação da posição do nível freático, a ação dos agentes dinâmicos e da suscetibilidade a riscos ambientais. A ponderação do impacto desses parâmetros para o uso urbano do solo permite avaliar a aptidão física dos terrenos à urbanização.

A consulta à bibliografia especializada mostra que poucos trabalhos têm sido dedicados à análise integrada dos fatores relacionados na determinação da aptidão geotécnica dos solos à ocupação urbana.

A maioria dos trabalhos encontrados na literatura abordam o tema em terrenos associados ao embasamento cristalino, entre os quais podem ser citados os trabalhos de Alves (2000), Carvalho et al. (1994), Costa et al (2007), Krebs (1994), Rego Neto (1987). Esses autores utilizaram o cruzamento de informações geotécnicas para compor um quadro de valoração dos geoambientes, interpretados como feições ligadas aos solos.

Para os terrenos de planície costeira, trabalhos voltados à favorabilidade geotécnica à ocupação urbana são ainda mais esparsos, podendo ser citados estudos realizados por Gré (2005), Tomazolli et al. (2007), Gré et al. (2007) e Gré (2012), que têm procurado adaptar o conceito de favorabilidade geotécnica para os diferentes terrenos sedimentares costeiros.

PARTE 2
ESTUDO GEOLÓGICO

INTRODUÇÃO

A planície costeira do sudeste catarinense é composta por fácies deposicionais que desenvolvem feições distintas determinadas pela morfologia e textura dos grãos sedimentares. Essas fácies, que aparecem na forma de terraços ou elevações irregulares, são constituídas por sedimentos terrígenos datados do Quaternário e foram geradas e se desenvolvem em ambientes de sedimentação transicionais e marinhos. A deposição e acumulação das fácies são ditadas tanto pelas variações relativas do nível do mar (Martin & Suguio, 1986; Suguio et al. (1985), como pela atividade eólica.

As fácies sedimentares que compõem a planície costeira são identificadas pelos processos sedimentares que geram feições geomorfológicas e texturas características de diferentes ambientes de sedimentação. Essas fácies apresentam diferentes idades já que os processos de sedimentação se repetiram no Quaternário o que permitiu a formação de diferentes gerações de fácies praias marinhas, eólicas e lagunares durante o Pleistoceno e Holoceno.

A apresentação do estudo geológico levou em consideração o modelo evolutivo da planície costeira proposto por Villwock et al. (1986), que agrupam as fácies em sistemas deposicionais do tipo Laguna – Barreira que se ajustam a área de estudo. Esses sistemas deposicionais são definidos levando em conta as oscilações do nível do mar (MARTIN & SUGUIO, 1986) para a costa sul - brasileira. Ao mesmo tempo, as unidades estratigráficas são apresentadas como fácies sedimentares, segundo a proposta de Caruso Jr (1995) para o sudeste catarinense, enquanto que as feições geomorfológicas são definidas segundo apresentado no trabalho de Gré et al (1993).

O estudo geológico, como suporte para o estudo geotécnico leva em conta a morfologia e os constituintes dos sedimentos das fácies presentes na área. Assim, o estudo geomorfológico mostra a ocorrência de diferentes feições e o estudo sedimentológico mostra diferentes texturas para cada uma das fácies sedimentares mapeadas.

2.1. GEOLOGIA LOCAL

A planície costeira da área de estudo é formada por fácies deposicionais que desenvolvem feições distintas. Essas fácies são formadas por sedimentos terrígenos datados do Quaternário em ambientes de sedimentação transicionais e marinhos. Sua deposição é em parte originada pelas variações relativas do nível do mar (SUGUIO ET AL., 1985) e pelo trabalho eólico.

As unidades litoestratigráficas que compõem a planície costeira são identificadas através da morfologia e textura, moldadas pelos processos sedimentares que geram feições geomorfológicas características de diferentes ambientes de sedimentação. Como as oscilações do nível relativo do mar e os ventos permanecem atuantes ao longo do Quaternário, retrabalhando e depositando sedimentos, os diferentes ambientes de sedimentação que constroem a planície costeira se repetem e podem ser agrupados por idades dentro do Quaternário, numa organização cronoestratigráfica.

Considerando as oscilações do nível marinho ao longo do Quaternário e dependendo do tipo de agente dinâmico atuante, são geradas diferentes feições geológicas e geomorfológicas que têm sua cronologia e evolução estudadas por diferentes autores.

Esses estudos para a província costeira em escala regional incluem os trabalhos apresentados por Bigarella & Andrade (1965); Gré, (1983); Suguio, et al. (1985); Martin & Suguio (1986); DNPM (1986); Suguio, & Martin (1987); Martin et al. (1988); Giannini (1993); Caruso Jr.(1995); Gré et al. (1993); Horn Filho et al. (1994); Diehl & Horn Filho (1996).

Localmente, trabalhos de geologia costeira, entre eles os de Guerra (1950); Pimienta (1958); Caruso Jr. (1992); Castro & Castro (1969); Gré et al. (1992), revelaram para a área de estudo um conjunto de feições sedimentares de diferentes idades e gêneses.

Assim, a análise da bibliografia mostra que os sedimentos presentes na região costeira do trecho estudado estão relacionados ao Pleistoceno Superior e ao Holoceno. Os sedimentos que mostram uma constituição arenosa se acumulam na forma de terraços gerados pela atuação de agentes praias e marinhos e também na forma de elevações dunárias devido ao trabalho eólico. Os sedimentos de constituição lamosa e turfosa ocorrem na forma de terraços, quando formados em ambiente lagunar.

A informação geológica é utilizada como suporte e orientação do estudo geotécnico que determina o comportamento dos solos e terrenos ligados aos diferentes ambientes de sedimentação. Dessa forma é dada

ênfase à análise dos aspectos morfológicos e sedimentológicos, a ação dos agentes dinâmicos que atuam no presente e que são responsáveis pela evolução e modificações dos ambientes de sedimentação que compõem a área.

2.1.1. Sistemas deposicionais transicionais

As oscilações do nível marinho, sobretudo em condições regressivas, permitiram a exposição e acumulação de sedimentos em diferentes ambientes de sedimentação costeira, vindo a gerar fácies praias marinhas, lagunares e eólicas no setor estudado da planície costeira.

Em função das diferentes idades de ocorrência desses eventos eustáticos foi possível, através deste estudo, agrupar as litofácies identificadas em dois sistemas Laguna – Barreira, datadas respectivamente do Pleistoceno Superior e do Holoceno.

O sistema mais antigo se enquadra no Sistema Laguna – Barreira III, que está ligado ao evento regressivo ocorrido no Pleistoceno Superior, supostamente entre 120 e 18 Ka AP, enquanto que o mais jovem se enquadra no Sistema Laguna – Barreira IV, desenvolvido durante o Holoceno e que se estende ao longo dos últimos 5 Ka AP.

O quadro 2.1, juntamente com os mapas geológico e geomorfológico dos anexos 1 e 2 mostram a disposição estratigráfica dos sistemas deposicionais que se instalaram na área, com suas fácies caracterizadas através de sua gênese, morfologia e sedimentologia, tal qual apresentado por Gré et al. (1993) e Caruso Jr. (1995).

Os sistemas deposicionais ocorrem ao longo de uma faixa com orientação NE, ancorados em rochas cristalinas que aparecem na forma de costões rochosos. Essa sedimentação, imposta por processos praias, marinhas, lagunares e eólicos que ocorreram na área a partir do Pleistoceno Superior, é responsável pela separação do Complexo Lagunar Mirim-Imarui-Santo Antonio do oceano.

Quadro 2.1. Sistemas Depositionais da planície costeira

| HOLOCENO | |
|--|-----------------------------|
| - Sistema Laguna – Barreira IV | FEIÇÕES |
| - Fácies da Barreira IV | |
| - Fácies eólica | Dunas, lençóis de areia |
| - Fácies praias marinhas | Cristas, terraços |
| - Fácies da Laguna IV | |
| - Fácies de fundo lagunar | Terraço |
| - Fácies arenosa | Pontal |
| PLEISTOCENO SUPERIOR | |
| - Sistema Laguna – Barreira III | |
| - Fácies da Barreira III | |
| - Fácies eólica | Elevações dunárias, escarpa |
| - Fácies praias marinhas | Terraço, escarpa |

2.1.1.1. Sistema deposicional Laguna – Barreira III

As feições que formam esse sistema deposicional têm sua gênese relacionada à da Província Costeira do Rio Grande do Sul, estudada por Villwock et al. (1986), ligada à Transgressão Cananéia de Suguio & Martin (1978) e à Penúltima Transgressão de Bittencourt et al. (1978). Todos esses movimentos positivos do nível marinho são ligados ao último evento transgressivo do Pleistoceno Superior de 120 Ka AP.

Os trabalhos de Gré et al. (1993) e de Caruso Jr (1995) identificaram na área de estudo sedimentos enquadrados no sistema deposicional Laguna – Barreira III, representados pelas fácies praias marinhas e a fácies eólica, atribuídos ao Pleistoceno Superior. Esses trabalhos mostram que as diferentes fácies sedimentares formadoras nesse sistema deposicional ocorrem ao longo da porção oeste da área de estudo, sendo limitados por sedimentos transicionais holocênicos.

2.1.1.1.1. Fácies da Barreira III

Esta fácies arenosa é formada por sedimentos originados em ambiente praias marinho e eólico, e estão presentes na porção oeste da área de estudo, ao longo de um eixo norte-sul.

O perfil estratigráfico construído a partir de dados da sondagem realizada em Cabeçudas até a profundidade de 12m, com a cota do poço em 8m, mostrou a evolução da fácies.

Esse pacote de sedimentos tem na base sedimentos areno-lamosos acinzentados de origem supostamente marinho raso de águas calmas. Os sedimentos são recobertos por camada arenosa de origem praias marinha amarronzada com espessura de 8m e seriam datados, supostamente, do Pleistoceno Superior. No contato superior dessa camada e se estendendo até a superfície ocorre uma camada de sedimentos arenosos em mistura com argila amarronzada de origem eólica, com espessura de 4m e também supostamente do Pleistoceno Superior.

Da mesma forma, a descrição do testemunho de sondagem realizada em Guaiuba, Laguna, no norte da área de estudo e citado por Caruso Jr (1995), mostra na base uma camada de areia fina quartzosa esbranquiçada de origem marinha e recoberta por sedimentos pleistocênicos.

A descrição desses dois perfis permite estabelecer que a deposição dos sedimentos esteja ligada a duas gerações de ambientes marinhos pleistocênicos. Na base sedimentos formados em águas calmas, de baixa energia, recobertos por sedimentos submetidos à ação de ondas, encimados por sedimentos eólicos costeiros.

2.1.1.1.1.1. Fácies praias marinha

Sua gênese está ligada a episódio glacio-eustático relacionado à Transgressão Cananéia (Bittencourt et al. 1978), quando o nível do mar atingiu a cota de $\pm 6m$, que remobilizou e afogou sedimentos arenosos de planície costeira em ambiente marinho raso.

Com o evento regressivo instalado a partir de 120Ka AP houve exposição subaérea dessa fácies gerando supostamente sucessões de cordões litorâneos, decorrentes das estabilizações do nível do mar regressivo, tal como observado no Holoceno. Esse processo se prolongou até o máximo regressivo de 18Ka AP, quando o nível do mar atingiu a cota de -120m, expondo uma planície costeira pleistocênica com mais de uma centena de quilômetros de largura.

Durante a Transgressão Flandriana do Holoceno, que elevou o nível do mar até a cota de $\pm 3,5\text{m}$, os cordões litorâneos pleistocênicos localizados abaixo dessa cota foram retrabalhados e redistribuídos na superfície da atual plataforma continental (Gré, 1983). Ao mesmo tempo, os sedimentos localizados acima dessa cota se mantiveram em posição subaérea, limitados por escarpas erosivas ligadas ao processo transgressivo.

Esta fácies se estende de forma contínua no norte da área de estudo até a localidade de Estreito, onde, em alguns locais, pode estar parcialmente recoberto por depósitos eólicos pleistocênicos.

Limita-se a leste com as fácies transicionais holocênicas de origem praias marinhas e eólica, seja por contato erosivo no caso da fácies praias marinhas ou por recobrimento parcial pelas areias eólicas. A oeste e sul limitam-se diretamente com sedimentos holocênicos ligados ao complexo lagunar e também por contato erosivo originado por condições de nível marinho mais elevado que o atual. A foto aérea 2.1 mostra a ocorrência desta fácies no norte da área.



Foto 2.1: A fácies praias marinhas do Pleistoceno (TMP) cortada por eixo de rodovia. Limitada a oeste pelo terraço lagunar e a leste pela duna atual. Roça Grande e Itapiruba. Escala 1:10.000. (SDS, 2011).

A análise da geomorfologia, realizada com o auxílio de fotos aéreas e controle de campo, revelou a ocorrência de duas feições ligadas a esta fácies sedimentar, que são o terraço arenoso e a escarpa arenosa que o delimita.

O terraço arenoso se apresenta plano horizontalizado na maioria da área de ocorrência. No entanto, se observa em alguns locais um relevo ondulado, conforme pode ser observado na foto 2.2, com leve pendente em direção a atual linha de costa. A morfologia ondulada pode ser percebida pela alternância de cristas e cavas descritas por Gré et al. (1993), ditadas pelas estabilizações marinhas em condição regressiva, orientadas na direção geral NE-SW, com distância entre as cristas em torno de 50m.

As altitudes atingem $\pm 6\text{m}$ e a superfície do depósito, com pedogenização incipiente, é fixada por vegetação arbórea, arbustiva e gramínea.

Nas bordas do terraço que limitam a fácies praial marinha com a fácies lagunar holocênica, situada a oeste, se estendem escarpas arenosas erosivas com desnível de $\pm 4\text{m}$, formadas pela última transgressão marinha e posterior rebaixamento, apresentando declividade de 15° (foto 2.3), que representa o ângulo de estabilização da areia fina a média seca. A leste, no limite com a fácies praial marinha holocênica, a altitude da escarpa arenosa é inferior a 4m e a declividade é suavizada.

Dessa forma são reconhecidas duas feições geomorfológicas. O terraço arenoso originado pela exposição subaérea do fundo marinho e seu recobrimento parcial por acumulações eólicas pleistocênicas e holocênicas e a escarpa arenosa que se desenvolve a partir da borda do terraço arenoso, originado por episódios trans/regressivos do Holoceno.

Esta fácies é constituída de uma camada arenosa homogênea até a profundidade de 8m e a porção superficial pode ser observada em corte mostrado na **foto 2.4**. A tabela 2.1 mostra a localização, em Roça Grande, das duas amostras representativas coletadas e encaminhadas para análises granulométricas e que apontaram características texturais desta fácies praial marinha pleistocênica.



Foto 2.2. Vista para nordeste mostrando a morfologia aplainada e com leve ondulação da fácies praias marinhas pleistocênica. Em primeiro plano detalhe da textura arenosa. Roça Grande.



Foto 2.3. Escarpa erosiva na borda da fácies praias marinhas pleistocênica com desnível de $\pm 4\text{m}$ em contato com a fácies lagunar holocênica.

Os resultados das análises são expressos nas tabelas 2.2 e 2.3 que apresentam os parâmetros estatísticos dos sedimentos que compõem a fração arenosa da fácies praias marinhas pleistocênica e as percentagens dos diferentes tamanhos de grão da amostra total.



Foto 2.4. Vista da fácies praias marinhas pleistocênica mostrando o corte com acomodação dos sedimentos. Areia com finos e cor amarronzada. Roça Grande.

Trata-se de sedimentos constituídos de areia quartzosa de origem marinha, onde o teor de areia atinge 97% em mistura com material fino, siltico-argiloso e impregnado com óxido de ferro de contribuição eólica, que confere ao depósito uma cor amarronzada.

O estudo da fração arenosa mostra um tamanho médio que corresponde à areia fina, com teor que atinge 82% e quantidades subordinadas de areia grossa, média e muito fina. O desvio padrão revela um sedimento moderadamente selecionado, devido à mistura de diferentes tamanhos de grãos de areia. A assimetria confere um valor negativo à distribuição granulométrica, o que corresponde às características um sedimento retrabalhado em meio aquoso, enquanto que a curtose mostra uma distribuição mesocúrtica, unimodal, com classe modal correspondendo à areia fina.

Tabela 2.1. Coordenadas dos pontos de amostragem da fácies praial marinha.

| N. Amostra | Coord. E | Coord. S | Textura |
|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 2.1 | 723312 | 6863798 | Areia fina |
| 2.2 | 722469 | 6863518 | Areia fina |

Tabela 2.2. Parâmetros estatísticos da fácies praial marinha.

| N. Amostra | Mz | Md | σ_1 | SK₁ | KG' |
|-------------------|-----------|-----------|------------------------------|-----------------------|------------|
| 2.1 | 2.52 | 2.55 | 0.421 | -0.13 | 1.01 |
| 2.2 | 2.53 | 2.57 | 0.425 | -0.16 | 1.04 |

Tabela 2.3. Percentagens dos grãos da fácies praial marinha.

| N. Amostra | AG | AM | AF | AMF | Finos |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|------------|--------------|
| 2.1 | 1 | 7 | 82 | 7 | 3 |
| 2.2 | 1 | 8 | 82 | 5 | 4 |

A análise sedimentológica revelou que as feições que compõem a fácies praial marinha do Pleistoceno são constituídas basicamente de areia fina quartzosa em mistura com baixos teores de finos e óxido de ferro, com cor amarronzada, mostrando estrutura maciça.

2.1.1.1.1.2. Fácies eólica

A gênese do depósito eólico pleistocênico está ligada a evento regressivo do nível relativo do mar ocorrido após a penúltima transgressão de Bittencourt et al. (1978) ou Transgressão Cananéia de Suguio & Martin (1978). Esse evento, que proporcionou o rebaixamento do nível marinho da ordem de 120m abaixo do nível atual, expôs uma vasta área de origem marinha. Supostamente, durante esse período várias gerações de campos de dunas puderam se instalar na planície costeira, que estava em evolução crescente, ativada pela regressão marinha. A atuação dos ventos do quadrante norte remobilizou areias litorâneas que progradaram sobre os

terraços marinhos pleistocênicos na forma de campos de dunas ou lençóis arenosos. O remanescente eólico identificado na área de estudo tem idade que, segundo Giannini (1993) varia de 80Ka AP até 50Ka AP.

Com o evento transgressivo do Holoceno, grande parte da planície costeira pleistocênica foi erodida pela elevação do nível marinho, incluindo os depósitos eólicos, com a formação de escarpas erosivas nas suas bordas.

A fácies eólica ocorre de forma contínua desde a localidade de Roça Grande, em direção a sul, até atingir as margens da lagoa de Santo Antônio na localidade de Cabeçadas. Na parte norte ocorre na forma de cristas paralelas com depressões intercristas paludiais na orientação NE-SW, recobrando parcialmente os sedimentos praias marinhos pleistocênicos e daí, em direção a sul, como elevações dunárias complexas.

Limita-se a oeste e sul/SW com os depósitos lagunares do complexo lagunar (foto 2.5) e a leste com cordões litorâneos regressivos holocênicos por escarpa erosiva (foto 2.6). Ao norte limita-se em superfície com os depósitos marinhos do Pleistoceno, sobre os quais progradou em sua fase ativa, na forma de cristas dunárias longitudinais com orientação NE- SW.

A análise da morfologia desta fácies eólica mostra duas feições geomorfológicas, as elevações dunárias e a escarpa arenosa. As elevações dunárias se estendem na forma de superfície ondulada irregular típica de campos de dunas, com cavas e cristas algumas vezes alongadas na direção NE-SW e altitudes que atingem 25m (foto 2.7; 2.8), podendo estar recobertas por vegetação arbustiva e arbórea, que atuam como elementos de fixação do depósito sedimentar.

As bordas das elevações dunárias, que fazem contato com a fácies praias marinho a leste e com a fácies lagunar oeste, são marcadas pela presença de escarpa erosiva formada durante os episódios transgressivos do Holoceno e posterior rebaixamento do nível marinho. Apresentam alturas maiores que 6m e declividade de 15°.

O perfil vertical, construído em Cabeçadas, mostra na base da escarpa sedimentos de origem lagunar, sobrepostos por sedimentos marinhos recobertos por sedimentos eólicos, todos supostamente de idade pleistocênica.



Foto 2.5: Ao fundo, a Fácies eólica pleistocênica em contato erosivo com a fácies lagunar holocênica vista em primeiro plano. Ribanceira.



Foto 2.6. Contato entre a fácies eólica pleistocênica com a fácies praias marinhas do holocênica através de escarpa erosiva. Praia do Sol.



Foto 2.7. Vista para sudeste mostrando a morfologia da fácies eólica do Pleistoceno, onde aparece na forma de elevações dunárias fixadas pela vegetação com altitudes que atingem 25m. Ribanceira.



Foto 2.8. Vista para norte mostrando a morfologia da fácies eólica na forma de crista e escarpa da fácies eólica. Praia do Sol.

Na maioria dos afloramentos o depósito sedimentar se apresenta maciço (foto 2.9) e recoberto por camada pedogenizada. Em alguns locais, mostra estruturas de dissipação, o que evidencia a origem eólica do depósito e sua idade estimada do Pleistoceno Superior, tal como descrito por Bigarella (1965).



Foto 2.9. Detalhe da estrutura interna maciça e textura arenosa amarronzada da fácies eólica pleistocênica. Barbacena.

A localização das duas amostras representativas desta fácies eólica, coletadas na localidade de Barbacena e encaminhadas para análises granulométricas, pode ser vista na tabela 2.4. Os resultados do estudo sedimentológico são apresentados nas tabelas 2.5 e 2.6, onde podem ser vistos os parâmetros estatísticos e as percentagens de diferentes classes granulométricas.

Os sedimentos mostram um conteúdo de até 5% de finos com óxido de ferro em mistura com areia fina e teores altos de areia média quartzosa com cor amarronzada. A fração arenosa mostra o tamanho médio (Mz) situado na classe correspondente a areia fina, com teores em torno de 49%, correspondendo à classe modal e areia média com teores de 43%. O desvio padrão revelando um sedimento moderadamente selecionado. A assimetria (SK1) confere um valor simétrico a negativo aos sedimentos e a curtose (KG'), mostrando uma distribuição mesocúrtica, aponta para uma distribuição bimodal pela presença de altos teores de areia fina e areia média.

Tabela 2.4. Coordenadas dos pontos de amostragem da fácies eólica.

| N. Amostra | Coord. E | Coord. S | Textura |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 2.3 | 715998 | 6863518 | Areia com finos |
| 2.4 | 714816 | 6852251 | Areia com finos |

Tabela 2.5. Parâmetros estatísticos da fácies eólica.

| N. Amostra | Mz | Md | σ_1 | SK₁ | KG' |
|-------------------|-----------|-----------|------------------------------|-----------------------|------------|
| 2.3 | 2,41 | 2,43 | 0,55 | -0,04 | 1,03 |
| 2.4 | 2,36 | 2,41 | 0,46 | -0,11 | 1,04 |

Tabela 2.6. Percentagem de tamanho de grãos da fácies eólica.

| N. Amostra | %AG | %AM | %AF | %AMF | %Finos |
|-------------------|------------|------------|------------|-------------|---------------|
| 2.3 | 0 | 37 | 47 | 4 | 4 |
| 2.4 | 0 | 43 | 49 | 3 | 5 |

O estudo sedimentológico revelou que a fácies eólica pleistocênica é constituída de areia fina quartzosa com teores expressivos de areia média em mistura com finos, apresentando cor amarronzada e mostrando, em alguns setores, estrutura interna de dissipação.

2.1.1.2. Sistema deposicional Laguna – Barreira IV

O sistema deposicional Laguna – Barreira IV, ajustado ao modelo de sistemas deposicionais apresentado por Villwock et al. (1986), está ligado aos episódios trans/regressivos do Holoceno descritos por Martin & Suguio (1986). Nesse quadro evolutivo foram geradas as fácies de Barreira e de Laguna, formadas respectivamente por cordões litorâneos, dunas e terraços lagunares.

A fácies de Barreira é composta por cordões, terraços e elevações dunárias origem praias marinhas e eólica, seguindo as oscilações do nível marinho para o Holoceno. São observadas na área de estudo evidências de estabilizações ligadas aos níveis de 3,5m e 2,5m e entre 2,5m e 1,5m.

Já, a fácies Lagunar mostra terraços com altitudes que correspondem também aos níveis identificados por Gré et al. (1993) para a fácies de Barreira, ou seja, de 2,5m e 1,5m, e inferior a 1,5m, ligadas a margem oriental do complexo lagunar.

Os representantes da fácies da Barreira ocupam a maior parte da área numa faixa N-S, sendo limitados por depósitos pleistocênicos a oeste e pelo oceano a leste. A fácies lagunar se limita pelo corpo lagunar atual a oeste e pelos depósitos pleistocênicos a leste. As feições geomorfológicas que compõem cada uma dessas fácies podem ser vistas no mapa geomorfológico do anexo 2.

2.1.1.2.1. Fácies da Barreira IV

As fácies da Barreira IV estão representadas por sedimentos de origem praial marinha, parcialmente recobertos por sedimentos eólicos depositados ao longo do Holoceno (foto 2.10). Neste contexto os episódios trans/regressivos com breves estabilizações, formaram várias gerações de cordões litorâneos e acumulações eólicas.

Os cordões litorâneos acompanham as oscilações do nível marinho do Holoceno, mostrando feixes de cordões em arcos com diferentes orientações. Os diferentes feixes fazem contato por truncamento erosivo, o que permite a interpretação da evolução das fácies através da análise de imagens aéreas.

Os sedimentos eólicos também permitem a visualização do processo regressivo, considerando que as dunas litorâneas se formaram a partir da praia. A evolução do processo regressivo durante o Holoceno pode ser também identificada via imagens aéreas.



Foto 2.10. Vista para oeste mostrando as fácies da barreira IV. Observa-se cristas arenosas com orientação N-S.

2.1.1.2.1.1. Fácies praial marinha

Esta fácies é entendida como depósito marinho regressivo do Holoceno, tendo sua evolução ligada ao rebaixamento do nível do mar. A cada reativação do processo regressivo com posterior estabilização, é formado um novo cordão litorâneo. A reativação do processo de rebaixamento permite a formação de outro cordão, que no seu conjunto constroem o feixe de cordões litorâneos.

Esse processo de rebaixamento do nível marinho, alternando com períodos de estabilização, mostra para a região os níveis de estabilização correspondendo às cotas entre 3,5 a 2,5m, que formaram os cordões litorâneos designados de **C1** e às cotas inferiores, entre 2,5 e 1,5m, que formaram os cordões litorâneos designados de **C2** (Gré et al., 1993).

Durante o processo regressivo formou-se o cordão C1 na forma de feixe de cordões. Em algum momento a partir dos últimos 2.5 Ka AP, houve elevação do nível marinho na forma de transgressão marinha que erodiu as cristas arenosas e inundou as áreas depressivas do depósito e erodiu parcialmente o cordão C1. O rebaixamento posterior do nível marinho, acompanhado de estabilização, gerou o cordão identificado como C2, também na forma de feixe de cordões litorâneos. Esses dois cordões apresentam contato por truncamento e se distinguem pela altimetria, posição do nível freático e pela orientação dos feixes de cordões.

A fácies praiial marinha ocorre na maior extensão da área de estudo de forma contínua sendo interrompida apenas quando recoberta parcialmente por depósitos eólicos holocênicos ou ainda por sangradouros que drenam as águas acumuladas nas depressões intercordões paludiais para o oceano.

Cordão Litorâneo C1

Este cordão tem sua gênese ligada ao episódio regressivo com oscilação do nível do mar entre 3,5 a 2,5m, que formou feixes de cordões regressivos com maior altitude.

Ocorre somente na porção sul da área e limita-se a oeste com sedimentos pleistocênicos em contato erosivo e a leste com o cordão C2, também através de contato erosivo (foto 2.11), atestado pela mudança de orientação na disposição dos feixes de cordões litorâneos.

A análise da geomorfologia mostra o relevo (foto 2.12) na forma de terraços, onde se estende um feixe de cordões arenosos em arco com concavidade e leve pendente voltada para SE. A equidistância entre as cristas arenosas é da ordem de 60m, encerrando cavas que desenvolvem feições paludiais.

O pacote sedimentar, observado em poço de investigação na localidade de Barbacena é estratificado. Mostra uma camada arenosa de origem marinha na base. Essa camada é recoberta por camada centimétrica constituída de MO, supostamente de origem lagunar, em contato brusco com camada superficial arenosa de 1,5m, de origem praiial marinha. A disposição das camadas mostra a ocorrência de processos de regressão e transgressão marinha holocênica que levaram à formação do cordão arenoso C1.

Com a subsequente elevação do nível do mar, houve erosão parcial do feixe de cordões representado pela camada superficial. Posteriormente, com a instalação de novo processo regressivo a partir da borda do cordão arenoso C1, acompanhado de breves estabilizações, deu-se início da formação de novo feixe de cordões identificados como C2.



Foto 2.11: À esquerda cordão litorâneo C1, no centro o cordão C2 e à direita, lençóis de areia. Barbacena. Escala 1:10.000 (SDS, 2011).



Foto 2.12. Vista para norte mostrando o relevo do cordão litorâneo C1. Barbacena.

Para a análise sedimentológica foram coletadas duas amostras na localidade de Barbacena, com localização mostrada na tabela 2.7. As amostras são representativas de uma camada homogênea até a profundidade de 2m. A foto 2.13 mostra em detalhe a camada superficial arenosa.

O estudo sedimentológico tem seus resultados mostrados nas tabelas 2.8 e 2.9, que apresentam os parâmetros estatísticos e a percentagem de grãos dos sedimentos, importantes para o estudo geotécnico.



Foto 2.13. Detalhe da camada superficial arenosa do cordão litorâneo C1.

Esses resultados revelam para as amostras analisadas um tamanho médio corresponde à areia fina, com percentual de areia de 100% e classe modal de 80% de areia fina. O desvio padrão mostra um sedimento moderadamente selecionado, pela mistura com areia média. A assimetria confere um valor simétrico a assimétrico negativo à distribuição granulométrica, atestando um retrabalhamento em meio aquoso, com a curtose mostrando uma distribuição mesocúrtica, unimodal.

Tabela 2.7. Coordenadas dos pontos de amostragem do C1

| N. Amostra | Coord. E | Coord. S | Textura |
|------------|----------|----------|------------|
| 2.5 | 724696 | 6865775 | Areia fina |
| 2.6 | 716563 | 6851957 | Areia fina |

Tabela 2.8. Parâmetros estatísticos das amostras do C1

| N. Amostra | Mz | Md | σ_1 | SK ₁ | KG' |
|------------|------|------|------------|-----------------|------|
| 2.5 | 2,38 | 2,39 | 0,41 | -0,01 | 1,02 |
| 2.6 | 2,33 | 2,34 | 0,43 | -0,04 | 1,06 |

Tabela 2.9. Percentagem de tamanho de grãos do C1.

| N. Amostra | %AG | %AM | %AF | %AMF |
|------------|-----|-----|-----|------|
| 2.5 | 1 | 18 | 80 | 1 |
| 2.6 | 2 | 16 | 81 | 1 |

Cordão Litorâneo C2

Este cordão está ligado ao episódio de rebaixamento do nível marinho, quando o nível do mar oscilou entre 2,5 e 1,5m. O contato truncado com o cordão C1 sugere a ocorrência de um evento transgressivo que inundou a área, erodindo a borda do cordão C1 e que, com o posterior rebaixamento marcado por breves níveis de estabilização, gerou o cordão litorâneo C2.

O cordão litorâneo C2 ocorre de forma contínua na porção centro-leste da área, representando a feição com maior extensão entre todas as feições mapeadas na área de estudo (foto 2.11). Limita-se a oeste com sedimentos pleistocênicos e com o cordão C1, com o qual faz contato erosivo, atestado pela mudança de orientação na disposição dos feixes de cordões. A leste limita-se com sedimentos eólicos holocênicos (foto 2.14) que o recobre parcialmente.



Foto 2.14: Vista para leste. Contato do cordão C2 com depósito eólico holocênico, ao fundo.

O perfil estratigráfico construído até a profundidade de 2m realizado na Praia do Sol, sobre o terraço intercordões, mostra que na base do pacote ocorre uma camada de areia fina marinha. Essa camada é recoberta por areia fina em mistura com MO, interpretada como lagunar, e acima desta, verificou-se a presença de areia fina marinha, em contato com camada superficial de areia fina com MO, com características lagunares.

Essa organização estratigráfica permite supor que a área passou por processos trans/regressivos, onde houve alternância de ambientes marinhos e lagunares, sendo que esses últimos se instalaram nas áreas intercordões.

A análise da morfologia mostra que o cordão litorâneo se estende na forma de cristas e terraços. Apresenta maior largura a sul, diminuindo na direção norte, onde os feixes de cordões litorâneos aparecem bem marcados no terreno.

Neste cordão são observadas cristas arenosas em arco e alongadas na direção N-S. Nas áreas entre as cristas são observados terraços horizontalizados arenosos, em mistura com MO e identificados como terraços intercordões. Esses terraços ocupam áreas depressivas e, em função da pluviosidade e do trabalho das marés, desenvolvem feição paludial, como pode ser observado na foto 2.15.

As cristas arenosas paralelas aparecem em arcos e mostram largura em torno de 10m, ocorrendo sempre acima do nível freático e com espaçamento entre as cristas girando em torno de 140m. A tabela 2.10 mostra a localização das amostras coletadas na Praia do Sol e as tabelas 2.11, 2.12 mostram os parâmetros estatísticos dos sedimentos e as percentagens de tamanho de grão para as amostras analisadas.

Trata-se de areia fina quartzosa em mistura com areia muito fina (foto 2.16). A mistura dessas duas classes confere aos sedimentos um índice de seleção moderado, com assimetria negativa, que pode evidenciar trabalho em meio aquoso, e unimodal.

Tabela 2.10. Coordenadas dos pontos de amostragem do C2 - crista.

| N. Amostra | Coord. E | Coord. S | Textura |
|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| 2.7 | 718562 | 68511695 | MO com Areia fina |
| 2.8 | 718562 | 68511695 | Areia fina |

Tabela 2.11. Parâmetros estatísticos da fração arenosa do C2 - crista.

| N. Amostra | Mz | Md | σ_1 | SK₁ | KG' |
|-------------------|-----------|-----------|------------------------------|-----------------------|------------|
| 2.7 | 2,52 | 2,55 | 0,42 | -0,12 | 1.01 |
| 2.8 | 2,53 | 2,57 | 0,42 | -0,16 | 1.04 |

Tabela 2.12. Percentagem dos constituintes do sedimento do C2 - crista.

| N. Amostra | AG | AM | AF | AMF | FINOS |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|------------|--------------|
| 2.7 | 0 | 0 | 78 | 22 | 0 |
| 2.8 | 0 | 0 | 84 | 16 | 0 |



Foto 2.15. Vista para o norte mostrando áreas alagadiças do cordão litorâneo C2. Laguna

O terraço intercordões se constitui na feição morfológica mais extensa de ocorrência na área de estudo. Trata-se de terraço plano-horizontalizado, situado entre as cristas arenosas, com altitudes de até 1,5m e largura de até 140m. Mostra uma camada superficial centimétrica de areia com MO que recobre camada de areia quartzosa, conforme pode ser observado na foto 2.17, com mais de 1,5m de espessura.

A tabela 2.13 mostra a localização dos pontos de coleta das amostras, na localidade de Praia do Sol, representativas desta feição. As tabelas 2.14 e 2.15 revelam os parâmetros estatísticos da fração arenosa e os constituintes presentes nas duas camadas identificadas.



Foto 2.16. Detalhe da camada superficial da crista arenosa ligada ao cordão C2.

A camada superficial (amostra 2.7) é composta por até 17% matéria orgânica e 83% de areia fina quartzosa, com teores de areia muito fina podendo atingir 22%, o que representa ambiente de sedimentação de baixa energia,.

A análise do conteúdo arenoso, tanto na camada superficial quanto na interna (amostra 2.16), mostrou características semelhantes para as duas amostras, revelando uma origem comum dos sedimentos. O tamanho médio está situado na classe da areia fina, com desvio padrão moderado, devido a pela presença de areia muito fina em mistura com a areia fina, apresentando assimetria negativa, que sugere o retrabalhamento em meio aquoso, com a curtose revelando distribuição unimodal. A presença de MO sugere a formação do pacote arenoso em ambiente aquoso, em condições de águas calmas. Pela morfologia do terreno e pelas características dos sedimentos, trata-se de ambiente lagunar, instalado sobre sedimentos praias marinhos em condições de mar transgressivo.

Tabela 2.13. Coordenadas dos pontos de amostragem do C2 intercordões.

| N. Amostra | Coord. E | Coord. S | Textura |
|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 2.16 | 725310 | 6869962 | Areia fina |
| 2.17 | 723019 | 6866160 | Areia fina |

Tabela 2.14. Parâmetros estatísticos das amostras do C2 intercordões.

| N. Amostra | Mz | Md | σ_1 | SK₁ | KG' |
|-------------------|-----------|-----------|------------------------------|-----------------------|------------|
| 2.16 | 2,52 | 2,55 | 0,42 | -0,13 | 1,01 |
| 2.17 | 2,53 | 2,57 | 0,42 | -0,16 | 1.04 |

Tabela 2.15. Percentagem dos constituintes do C2 intercordões.

| N. Amostra | AG | AM | AF | AMF | FINOS | MO |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|------------|--------------|-----------|
| 2.16 | 0 | 0 | 61 | 22 | 0 | 17 |
| 2.17 | 0 | 0 | 81 | 16 | 0 | 3 |

No estudo do cordão litorâneo C2 fica clara a predominância em área do terraço intercordão, em comparação com as cristas arenosas. As cristas arenosas, encerrando cavas paludiais, sugerem ingressões marinhas responsáveis pela formação de corpos lacustres de idade estimada em 1 Ka AP, já que nesses setores o nível freático se situa a 1m de profundidade.



Foto 2.17. Detalhe da textura do sedimento ligado ao terraço intercordão C2. Camada superficial de areia com MO em contato com camada de areia quartzosa.

A **praia atual**, que corresponde ao mais recente e ativo cordão litorâneo identificado por Gré et al. (1993) como cordão C3, pode ser enquadrada no estágio morfodinâmico correspondente a praia dissipativa, segundo a classificação proposta por Short (1979), aplicada por Toldo Jr. et al. (1993) no estudo de praias oceânicas no Rio Grande do Sul e revista por Calliari et al. (2003).

A praia mostra uma baixa declividade, sem a ocorrência de berma durante as observações de campo, com o estirâncio apresentando grande extensão longitudinal e larguras em torno de 100 metros em condições de maré baixa (foto 2.18).



Foto 2.18. Vista para SE mostrando a extensão da faixa do estirâncio em momento de maré baixa. Itapirubá.

A praia atual apresenta forma em arco, com concavidade voltada para sudeste, estando ancorada em pontais cristalinos identificados como Ponta do Itapirubá ao norte, Ponta do Gi no setor central da área de estudo, e a sul, é delimitada pelo canal de ligação do complexo lagunar com o oceano em Laguna.

A análise sedimentológica foi realizada sobre duas amostras do estirâncio inferior, localizadas respectivamente na praia do Sol e Praia do Gi, têm a respectiva localização expressa na tabela 2.16.

A areia é constituída de quartzo, minerais pesados e biodetritos. Os resultados expressos nas tabelas 2.17 e 2.18 mostraram que o estirâncio é composto por sedimentos com um tamanho médio que corresponde à areia fina, com percentual de 46% e areia média com 35%, com desvio padrão revelando um sedimento moderadamente selecionado. A assimetria (SK_1) confere um valor negativo ao sedimento e a curtose (KG'), mostra uma distribuição bimodal, pela presença, relativamente significativa, de duas populações granulométricas, representadas pela areia fina e areia média.

O poço de investigação construído em Itapiruba mostra estratificação centimétrica (foto 2.19), percebida pelas camadas de minerais pesados residuais gerados em condições de eventos de tempestade.

As marés mais altas, que promovem o afogamento total da praia, podem produzir formas erosivas na borda do pós-praia, observadas em condições de maré de sizígia, ventos provenientes do mar, que incidem dos quadrantes sudeste e leste, e ainda durante a atuação de ondas oceânicas ligadas às frentes frias, que afetam com regularidade semanal a região sul do Brasil. As marés mais baixas são influenciadas pelos ventos que sopram do continente, pelas ondas de pequena altura que atingem a costa e ainda pela ocorrência de maré de quadratura, onde as amplitudes entre preamar e baixamar são pequenas. Nessa última condição a praia tende a mostrar perfil de acreção.

Quando as frentes de onda atingem a costa de forma oblíqua, são geradas as chamadas correntes de deriva litorâneas, que dependendo da sua capacidade de transporte sedimentar, podem fornecer materiais arenosos para a construção do perfil praiar e ainda fornecer material para a formação dos campos de dunas.

Tabela 2.16. Coordenadas dos pontos de amostragem do estirâncio.

| N. Amostra | Coord. E | Coord. S | Textura |
|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 2.9 | 720824 | 6855964 | Areia fina |
| 2.10 | 719588 | 6851780 | Areia fina |

Tabela 2.17. Parâmetros estatísticos das amostras do estirâncio.

| N. Amostra | Mz | Md | σ_1 | SK₁ | KG' |
|-------------------|-----------|-----------|------------------------------|-----------------------|------------|
| 2.9 | 2,52 | 2,55 | 0,4216 | -0,1287 | 1,01 |
| 2.10 | 2,53 | 2,57 | 0,4258 | -0,1659 | 1,04 |

Tabela 2.18. Percentagem dos constituintes do estrirâncio.

| N. Amostra | AG | AM | AF | AMF | FINOS |
|------------|----|----|----|-----|-------|
| 2.9 | 6 | 34 | 47 | 13 | 0 |
| 2.10 | 9 | 37 | 44 | 10 | 0 |



Foto 2.19. Detalhe da textura arenosa do estrirâncio, mostrando estratificação plano-paralela dos sedimentos e níveis de minerais pesados, mais escuros. Itapirubá.

2.1.1.2.1.2. Fácies eólica

A geração dos depósitos eólicos a partir do litoral na área de estudo se deve, segundo Giannini (1993), à morfologia aplainada e de baixa declividade da antepraia, com grande aporte sedimentar devido à ação das correntes litorâneas longitudinais que atuam preferencialmente em direção ao quadrante norte. A atuação dos ventos de NE que sopram do mar retira a areia do litoral e a transporta em direção à porção terrestre, vindo a gerar as acumulações eólicas na forma de dunas (foto 2.20) ou lençóis de areia (foto 2.21).

Segundo Rebêlo & Brito (2004), se formam primeiramente pequenas acumulações arenosas, chamadas dunas embrionárias, fixadas por

vegetação do tipo pioneira, localizadas na porção elevada da praia, fora do alcance das ondas. No entanto, em condições de maré alta ou pela ação de ondas de tempestade, essa estrutura eólica pode ser destruída. Se preservada, vem a se constituir no início do processo de formação dos campos de dunas costeiras.

No seu desenvolvimento em direção ao interior da planície costeira, pelo aumento da acumulação de areia, já fora da ação das ondas e das marés, e fixadas ainda por vegetação terrestre do tipo arbustiva, passam a ser chamadas de dunas frontais. As dimensões dessas dunas, tais como largura e extensão dependem do fornecimento de areia a partir da praia.

Quando da ausência da vegetação fixadora, a areia eólica tem continuidade na sua progressão em direção ao interior da planície pela ação dos ventos, vindo a formar os campos de dunas ativas ou fixadas pela vegetação.

Formam também os lençóis de areia que são depósitos eólicos inativos sem expressão no relevo e que são constituídos por formas de acumulação eólica mais tênues ou dissipadas que as demais, podendo representar acumulações residuais de antigos corpos dunários.

As acumulações dunárias acompanham a progradação da linha de costa imposta pelo processo regressivo do Holoceno e a cada estabilização do nível marinho, juntamente com a formação dos cordões litorâneos, formam diferentes gerações de depósitos eólicos.

Em consequência disso, as acumulações eólicas estão distribuídas em grandes extensões, dispersas, recobrando o cordão litorâneo C2 e ainda, ao norte, sedimentos da fácies praial marinha pleistocênica.

A análise da morfologia calcada na fotointerpretação e controle de campo permitiu o reconhecimento de quatro feições eólicas, representadas pela duna embrionária, a duna frontal, as dunas ativas e fixas e os lençóis de areia.

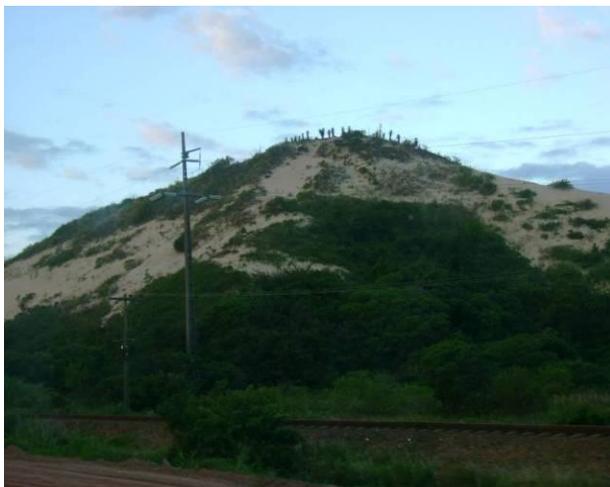


Foto 2.20. Duna ativa avançando sobre terraço pleistocênico. Nota-se a presença de estrutura de contenção ao longo da crista da duna. Roça Grande.



Foto 2.21. Lençóis de areia, com relevo tênue, recobrendo o cordão litorâneo do Holoceno.

A análise da morfologia calcada na fotointerpretação e controle de campo permitiu o reconhecimento de quatro feições eólicas, representadas pela duna embrionária, a duna frontal, as dunas ativas e fixas e os lençóis de areia.

A zona frontal das feições dunárias, na forma de duna embrionária e duna frontal (fotos 2.22 e 2.23), se limita com a praia. Em condições de ondas de tempestade, a zona frontal pode se tornar erosiva, vindo a formar escarpa e, em condições de baixa energia marinha, pode ter sua borda recuperada pela acumulação de areia eólica na forma de nova duna embrionária (foto 2.23).

A foto aérea 2.24 mostra a disposição das acumulações eólicas na Praia do Sol, onde são vistas a duna frontal, a duna ativa e lençóis de areia recobrimdo parcialmente o cordão litorâneo C2.

A **duna frontal** ocorre de forma contínua na borda leste da área de estudo, sendo interrompida apenas por canais que ligam as áreas paludiais ao oceano. Em alguns setores, avançam para o interior na formando as dunas ativas. A morfologia mostram formas complexas, apresentam larguras variáveis entre 30 e 120m, respectivamente na Praia do Sol e Praia do Gi e alturas que variam ente 2 e 5m. São semifixas pela vegetação e são estruturas geológicas que protegem a costa do avanço do mar.



Foto 2.22. Vista para o norte mostrando o relevo ondulado da duna frontal. Itapiruba.



Foto 2.23. Vista da duna frontal mostrando estrutura do tipo estratificação cruzada. Marcas do nível da maré alta e marcas de erosão costeira no flanco da duna. Na base, a duna embrionária. Itapirubá.



Foto 2.24: Campo de dunas ativas barcanóides e lençóis de areia recobrimo o cordão litorâneo C2. A duna frontal aparece à direita. Praia do Sol. Escala 1:10.000. (SDS, 2011).

As **dunas ativas** presentes na área desenvolvem feições do tipo parabólica, transversal e barcanóide, esta última de maior ocorrência na área de estudo. Progradam em direção a SW sobre os cordões litorâneos holocênicos e o terraço pleistocênico, como é observado localidade de Roça Grande. Suas cristas maiores têm alturas que podem atingir até 20m, com larguras de até 1.000m. A estrutura interna observada nas dunas é a estratificação cruzada centimétrica.

Os maiores campos dunários são vistos no norte da área, na localidade de Itapiruba, desconectado do litoral, e na localidade de Praia do Sol, onde a duna ativa se estende a partir do litoral.

Os **lençóis de areia** são observados dispersos recobrimdo o cordão litorâneo C2, sob a forma de depósitos esparsos semifixos pela vegetação e que ocorrem como remanescentes eólicos de antigos corpos dunários. Estão relacionados a níveis de estabilização marinha do Holoceno já que o ambiente eólico costeiro sempre tem sua origem no litoral.

Esses lençóis de areia desenvolvem um relevo baixo, com alturas em torno de 1,5m e formas parabólicas. Podem ser distinguidas das dunas por apresentarem relevo negligenciável e grande dispersão sobre os terrenos baixos de planície costeira.

Para o estudo sedimentológico foram coletadas amostras dos sedimentos que compõem esta fácies eólica, ou seja, na duna frontal, duna ativa e nos lençóis de areia. A localização das amostras de sedimentos da duna frontal e lençóis de areia (amostras 2.11 e 2.12) que acompanham o arco das praias do Gi e Mar Grosso e das dunas ativas (amostras 2.10 e 2.11) em Itapirubá é apresentada na tabela 2.19.

As tabelas 2.20 e 2.21 apresentam os parâmetros estatísticos obtidos das análises granulométricas. A estrutura interna do ponto de coleta da amostra 2.10, em Itapiruba, pode ser vista na foto 2.25, que mostra o detalhe do poço de investigação cavado na duna ativa.

Os resultados mostram semelhanças nas características dos parâmetros estatísticos e percentagens de tamanho de grãos das amostras coletadas nas diferentes feições dunárias. A análise conjunta dos sedimentos eólicos revela tamanho médio correspondendo a areia fina, com percentual de areia de 100% e classe modal situado na classe areia fina, com teores acima de 92% em mistura com teores subordinados de areia muito fina, que atingem 8%. O desvio padrão tem valores que apontam para um sedimento bem selecionado. A assimetria (SK1) confere valor simétrico a levemente negativo ao sedimento e curtose (KG') mostrando uma distribuição mesocúrtica, unimodal, já que a classe modal mostra teores acima de 90% de areia fina.



Foto 2.25. Detalhe da textura arenosa da duna ativa. Itapiruba.

Tabela 2.19. Coordenadas dos pontos de amostragem da fácies eólica.

| N. Amostra | Coord. E | Coord. S | Textura |
|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 2.11 – DF | 724381 | 6862573 | Areia fina |
| 2.12 – LA | 723427 | 6863269 | Areia fina |
| 2.13 – DN | 723160 | 6863260 | Areia fina |

DF: duna frontal; **LA:** lençóis de areia; **DN:** duna.

Tabela 2.20. Parâmetros estatísticos da fácies eólica.

| N. Amostra | Mz | Md | σ_1 | SK₁ | KG' |
|-------------------|-----------|-----------|------------------------------|-----------------------|------------|
| 2.11 – DF | 2,50 | 2,51 | 0,32 | 0,01 | 1,04 |
| 2.12 – LA | 2,52 | 2,53 | 0,22 | -0,1287 | 1,01 |
| 2.13 – DN | 2,56 | 2,57 | 0,37 | -0,1659 | 1,04 |

Tabela 2.21. Percentagem de tamanho de grãos da fácies eólica.

| N. Amostra | AG | AM | AF | AMF | Finos |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|------------|--------------|
| 2.11 – DF | 0 | 0 | 92 | 8 | 0 |
| 2.12 – LA | 0 | 1 | 93 | 6 | 0 |
| 2.13 – DN | 0 | 2 | 94 | 4 | 0 |

Na área ocorrem acumulações dunárias dispersas ativas e semifixas onde estão presentes as dunas embrionárias, duna frontal, dunas ativas e lençóis de areia. Essas acumulações eólicas são devidas a disponibilidade de areia litorânea que são transportadas pelos ventos do NE a partir das praias, durante o processo regressivo do Holoceno e que perdura até o presente.

Essas feições acumulativas apresentam características sedimentológicas semelhantes, o que sugere uma fonte comum e ação contínua, sem flutuações de energia do agente dinâmico.

Em função do ataque das ondas sobre o litoral as dunas embrionárias são efêmeras e, pela atuação do mesmo agente dinâmico, a zona frontal da duna frontal sofre erosão costeira. Ambas, em condição de baixa energia marinha, se recuperam pela acumulação de areia eólica que tem como fonte o litoral.

2.1.1.2.2. Fácies da Laguna IV

Esta fácies foi gerada em episódio regressivo instalado após a Transgressão Flandriana do Holoceno (SUGUIO & MARTIN, 1987). Com o rebaixamento do nível das águas lagunares acompanhando a regressão marinha, foram expostos em condição subaérea terraços marginais ligados ao complexo lagunar, que limita a área de estudo a oeste. O rebaixamento

das águas do complexo lagunar ligado a episódios regressivos do nível do mar no Holoceno foi abordado por Gré et al. (1993), que identificaram para a região três níveis de terraços lagunares ditados pela altimetria. O terraço T1, localizado entre 3,5 e 2,5m; T2, com altitudes situadas entre 2,5 e 1,5m e T3, entre as cotas de 1,5 e 00m.

A fácies da Laguna IV aparece na área mostrando duas feição com exposição subaérea, na forma de terraço turfoso e também arenoso, como pode ser observado nos mapas geológico e geomorfológico dos anexos 1 e 2 .

Fácies de fundo lagunar

O rebaixamento do nível das águas lagunares através de episódios regressivos com breves estabilizações até atingir o nível atual foi lento, fazendo com que a porção de fundo do complexo lagunar passasse gradativamente para uma posição subaérea. Com isso foram se formando terraços recobertos por vegetação rasteira que, na sua decomposição, deixou depositada uma camada superficial turfosa.

A análise da morfologia mostra a ocorrência de dois terraços turfosos identificados por Gré et al. (1993) como T2 e T3 e que representam um conjunto de terrenos baixos, com leve pendente em direção ao atual corpo lagunar e altitudes variando entre 2,5 e 00m. A largura do terraço lagunar é variável atingindo centenas de metros na porção centro-norte da área, a partir da localidade de Estreito. A largura torna-se menor, da ordem de dezenas de metros, em direção ao sul, até a localidade de Ribanceira.

O terraço T2, mais elevado e situado entre as cotas de 2,5 e 1,5m, se limita com a escarpa do pleistoceno e com o terraço lagunar T3. O terraço T3, situado em uma faixa altimétrica inferior a 1,5m e o nível atual da laguna, mostra exposição subaérea em sua parte marginal ao corpo lagunar, onde forma praias arenosas ou terraços turfosos.

O conjunto de terraços lagunares ocorre a oeste da área, de forma contínua e largura variável. São limitados a oeste pelo atual corpo do complexo lagunar, conforme pode ser observado na localidade de Perrixil (foto 2.26), onde envolve o pontal arenoso de Roça Grande (foto 2.27). A leste, são delimitados pelas bordas dos terraços arenosos pleistocênicos e pelo pontal arenoso, com os quais faz contato erosivo, como mostra a foto 2.28.



Foto 2.26: Terraço turfoso (TT) em contato erosivo com o terraço arenoso lagunar (TAL) e marinho pleistocênico (TMP), que aparecem na parte central da foto. Perrixil. Escala 1:10.000 (SDS, 2011).



Foto 2.27. Vista para o oeste mostrando o terraço lagunar T2 sub-horizontalizado. Ao fundo, a Lagoa do Imarui. Roça Grande.

A coleta das amostras voltada ao estudo sedimentológico da fácies lagunar foi realizada em dois pontos, representativos dos terraços lagunares localizados em Roça Grande e Ribanceira (tabela 2.22), onde foi levada em conta a origem das fácies e sua composição.

A análise dos sedimentos lagunares, com os resultados expressos nas tabelas 2.23 e 2.24, revelam a ocorrência de dois pacotes de sedimentos que se distinguem pela composição de seus constituintes, que podem ser turfosos. A fácies turfosa (amostra 2.12) ocorre ao norte, na localidade de Roça Grande e mostra uma camada superficial com espessura de 1m de turfa (foto 2.29), em contato com camada de areia fina quartzosa de origem lagunar. Os sedimentos são constituídos em média de 78% de areia muito fina e até 22% de matéria orgânica.



Foto 2.28. Vista do contato entre o terraço lagunar à direita e a escarpa arenosa do pleistoceno, na margem do complexo. Roça Grande.

A análise dos sedimentos que dominam a fácies a sudoeste da área, na localidade de Ribanceira (amostra 2.14), mostra teores de 54% de areia, 28% de finos e até 18% de MO. O tamanho médio da areia corresponde à areia muito fina. O desvio padrão mostra um sedimento bem selecionado. A assimetria (SK1) confere um valor positivo ao sedimento e a curtose (KG'), mostra uma distribuição granulométrica mesocúrtica e unimodal.

Tabela 2.22. Coordenadas dos pontos de amostragem da fácies de fundo lagunar.

| N. Amostra | Coord. E | Coord. S | Textura |
|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 2.14 | 723427 | 6863269 | Turfa |
| 2.15 | 721878 | 6863648 | Areia lamosa |

Tabela 2.23. Parâmetros estatísticos da areia da fácies de fundo lagunar.

| N. mostra | Mz | Md | σ_1 | SK₁ | KG' |
|------------------|-----------|-----------|------------------------------|-----------------------|------------|
| 2.12 | 3,18 | 3,14 | 0,39 | 0,12 | 1,45 |
| 2.14 | 3,12 | 3,09 | 0,86 | 0,41 | 1,50 |

Tabela 2.24. Percentagem dos constituintes da fácies de fundo lagunar.

| Amostra | Areia % | Finos % | MO % |
|----------------|----------------|----------------|-------------|
| 2.12 | 78 | 00 | 22 |
| 2.14 | 54 | 28 | 18 |

**Foto 2.29.** Detalhe do terraço lagunar constituído de turfa.

Fácies arenosa lagunar

Esta fácies tem sua origem no retrabalhamento de sedimentos pleistocênicos em episódio trans/regressivo e em processos de circulação lagunar, que geraram um pontal arenoso que se prolonga em direção ao atual corpo lagunar. Ocorre na localidade de Perrixil e está limitado por contato erosivo com sedimentos pleistocênicos e com terraços de fundo lagunar, conforme pode ser observado na foto 2.26.

A análise da morfologia mostra que a fácies arenosa aparece na forma de pontal arenoso orientado na direção E-W e mostra altitudes em torno de 2,5m.

As análises granulométricas foram realizadas sobre amostra coletada na localidade de Perrixil e tem sua localização expressa na tabela 2.25.

A análise dos sedimentos, com os resultados apresentados nas tabelas 2.26 e 2.27, mostra teores de 100% de areia, com classe modal na areia fina. O tamanho médio da areia corresponde à areia muito fina. O desvio padrão mostra um sedimento bem selecionado. A assimetria (SK_1) confere um valor positivo ao sedimento e a curtose (KG'), indica a ocorrência de uma distribuição mesocúrtica e unimodal.

Tabela 2.25. Coordenadas dos pontos de amostragem da fácies arenosa lagunar.

| N. Amostra | Coord. E | Coord. S | Textura |
|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 2.15 | 716901 | 6858770 | Areia fina |

Tabela 2.26. Parâmetros estatísticos da areia da fácies arenosa lagunar.

| N. Amostra | Mz | Md | σ_1 | SK₁ | KG' |
|-------------------|-----------|-----------|------------|-----------------------|------------|
| 2.15 | 3,16 | 3,12 | 0,39 | 0,12 | 1,45 |

Tabela 2.27. Percentagem dos constituintes da fácies arenosa lagunar.

| N. Amostra | Areia % | Finos % | MO % |
|-------------------|----------------|----------------|-------------|
| 2.15 | 100 | 00 | 00 |

2.2. EVOLUÇÃO PALEOGEOGRÁFICA DA PLANÍCIE COSTEIRA

A evolução paleogeográfica dos depósitos da planície costeira tem sua história marcada pelas variações relativas do nível do mar durante o Quaternário e é sintetizada abaixo.

Estágio 1. Máximo da Transgressão Cananéia do Pleistoceno Superior de $\pm 120\text{Ka AP}$ (Suguio & Martin, 1978), quando o nível relativo do mar atingiu $8\pm 2\text{m}$ acima do nível atual, deixando afogados os terraços arenosos pleistocênicos;

Estágio 2. Início de regressão marinha pleistocênica com exposição do terraço marinho pleistocênico e desenvolvimento de campos de dunas com idades, segundo Giannini (1993), variando entre 43 e 70Ka AP;

Estágio 3. Máximo regressivo a 18 Ka AP, quando o nível do mar atingiu -120m, expondo sedimentos de plataforma continental que foram retrabalhados e geraram cristas, terraços arenosos e elevações dunárias pleistocênicas;

Estágio 4. Máximo da Transgressão Flandriana ou Transgressão Holocênica 5,1ka, quando o nível do mar atingiu 3,5m, de acordo com Suguio et al. (1985) e 2,1m, segundo Angulo et al. (1999), provocando erosão das bordas dos depósitos pleistocênicos marinhos e eólicos remanescentes;

Estágio 5. Início da regressão marinha holocênica, onde a 3,5 Ka AP o nível do mar estabilizou na cota de 2,5m. Preservação das feições pleistocênicas situadas a cotas superiores a 3,5m. Formação de cordões litorâneos C1 e desenvolvimento de acumulações eólicas e dos terraços lagunares T2;

Estágio 6. Continuidade do processo regressivo com breve estabilização há cerca de 2,5 Ka AP, atingindo um paleonível entre 1,5 e 2,5m acima do atual nível do mar, quando formou um novo feixe de cordões litorâneos, identificado como C2. Continuidade da evolução das acumulações eólicas e formação dos terraços lagunares T3;

Estágio 7. Evidências de breve transgressão marinha entre 2,5 Ka e 1,5 Ka AP que erodiram os cordões litorâneos situados abaixo da cota de 1,5m e gerando corpos lagunares;

Estágio 8. Retomada do processo regressivo, com a colmatação de corpos lagunares e estabilização marinha na posição atual, onde são observadas praias atuais e o desenvolvimento de feições eólicas;

Estágio 9. Evidências de novo processo transgressivo onde se observam, dentro do período histórico, a retração da linha de costa e erosão parcial dos cordões litorâneos correspondentes a 2,5m e 1,5m, e bordas de dunas frontais.

2.3. COMENTÁRIOS

O estudo geológico permitiu a identificação de fácies sedimentares ligadas à ambientes de sedimentação transicionais do tipo praias marinhas, eólicas e lagunares. A gênese e evolução das fácies são regidas por processos de transporte e deposição ligados a agentes meteorológicos e oceanográficos. Os processos se repetiram ao longo do Quaternário, formando depósitos no Pleistoceno Superior e Holoceno, com o desenvolvimento de várias gerações de fácies com origem comum.

Os depósitos sedimentares pleistocênicos são estáveis e não sofreram remobilização, já que os agentes dinâmicos meteorológicos e oceanográficos atuam junto à faixa litorânea, distantes da sua área de ocorrência. Mostram pedogenização incipiente e marcas de erosão em suas bordas.

Esses depósitos, de origem praias marinhas e eólica, ocorrem na forma de terraços ou elevações dunárias limitados por escarpas erosivas. Mostram espessuras maiores que 6m e são reconhecidos por ocuparem posições altimétricas superiores a 4m. Apresentam cor amarronzada e textura constituída predominantemente de areia fina quartzosa e quantidades subordinadas de finos com óxido de ferro.

Os sedimentos holocênicos são influenciados por processos trans/regressivos e podem ser submetidos à ação dos agentes dinâmicos meteorológicos e marinhos atuais que promovem sua evolução e transformação. Dessa forma podem ser observados nas fácies praias marinhas, eólica e lagunares, formadas no final do Holoceno, processos de erosão, transporte e deposição.

Os cordões litorâneos C1 são estáveis, por estarem isentos da atuação de processos ligados a ação dos agentes dinâmicos. Com altitudes superiores a 2,5m, esses cordões podem ser reconhecidos através de imagens aéreas pela sua disposição em feixes de cristas, sua cor esbranquiçada e em campo pela textura arenosa fina.

Os cordões litorâneos C2, com altitudes inferiores a 2,5m, ocorrem na forma de cristas e terraços intercordões. Os terraços sofrem a influência do nível freático e, em função das marés e da pluviosidade, podem se tornar alagadiços, com a formação de feições paludiais.

Os cordões litorâneos C2 também podem ser reconhecidos através de imagens aéreas pela sua disposição em feixes de cristas, com orientação diferente do cordão C1, pela sua cor esbranquiçada e em campo pela textura arenosa fina. Nos terraços intercordões se desenvolvem áreas paludiais, onde a cobertura superficial apresenta sedimentos finos e MO em mistura

com areia fina, ligados a processos transgressivos do Holoceno Tardio. Outra característica diagnóstica na identificação das duas feições é a presença de bioindicadores, na forma de vegetação aquática ligada às áreas paludiais e vegetação terrestre, ligada aos cordões praias marinhos, que poderá ser tratada em trabalhos futuros.

Os terraços lagunares ligados ao Complexo Lagunar se distinguem das áreas paludiais ligadas aos processos praias marinhos pela sua forma terraceada e pela textura turfosa, com areia fina e MO. Em função da presença de MO, esses terraços mostram cor acinzentada escura a preta na camada superficial.

Por serem baixos, os terraços lagunares tem nível freático superficial e, em condições de maré alta ou pluviosidade, podem também se tornar alagadiços, desenvolvendo feições paludiais.

O transporte dos sedimentos arenosos pelas correntes costeiras, associado ao trabalho dos ventos que atuam na região, gera os depósitos eólicos com ampla distribuição na parte centro-leste da área. Esses depósitos avançam para SW, recobrando parcialmente tanto os depósitos holocênicos quanto pleistocênicos. Ocorrem na área na forma de dunas embrionárias, duna frontal, dunas ativas e lençóis de areia. São constituídos, no seu conjunto, de areia fina quartzosa e cor esbranquiçada.

Essas características geológicas devem ser levadas em conta no estudo geotécnico, onde a morfologia e textura dos sedimentos, além da atuação dos agentes dinâmicos, são elementos importantes na determinação das características físicas dos solos e dos terrenos ligados aos depósitos eólicos.

O estudo geológico efetuado revelou que a identificação da gênese das áreas paludiais pode ter como ferramenta auxiliar os bioindicadores na forma de vegetação terrestre, ligada aos feixes de cordões litorâneos e de vegetação aquática, ligada a feições lagunares intercordões.

Esse estudo também lança luzes sobre a possível ocorrência de barreira transgressiva atual, evidenciada pelo processo permanente de erosão costeira e retração da linha de costa observada ao longo de todo o litoral da

PARTE 3
ESTUDO GEOTÉCNICO

INTRODUÇÃO

Os projetos de urbanização em planície costeira devem levar em conta o estudo geotécnico dos solos, com a determinação dos parâmetros geotécnicos, a caracterização da morfologia do terreno, a ação dos agentes dinâmicos que atuam no presente, e a propensão a riscos ambientais geológicos e hidrológicos.

Do estudo geotécnico são obtidos índices que permitirão a determinação da capacidade de suporte do solo e da probabilidade de ocorrências de riscos ambientais a que está propenso ao receber a obra civil. Com isso, serão determinadas as intervenções geotécnicas necessárias a correta ocupação do espaço costeiro à urbanização.

Os solos que compõem a planície costeira mostram diferentes características físicas ditadas pelo comportamento dos parâmetros geotécnicos, tais como a textura, permeabilidade, compactidade e coesão. Esses parâmetros, no seu conjunto determinam a capacidade de suporte do solo para a instalação de estrutura civil leve e a propensão a riscos ambientais.

A morfologia e a posição do nível freático, além da possível atuação dos agentes dinâmicos e intervenções geotécnicas sobre os geoambientes, podem levar à ocorrência de riscos ambientais naturais ou induzidos. Esse conjunto de fatores, aliados aos parâmetros geotécnicos, é importante na concepção de projetos voltados a construção de obras civis.

Esse estudo fornece informação quanto a trabalhos de infraestrutura para adequar o solo à escavação para instalação de fundação rasa para o recebimento de uma carga. A fundação rasa deve suportar uma carga na forma de uma obra civil do tipo prédio residencial térreo, que deve manter sua integridade física, seja pelas intervenções geotécnicas sobre o terreno ou face aos possíveis riscos ambientais naturais.

No entanto esses solos podem estar sujeitos a riscos ambientais determinados por causas naturais ou induzidas no caso, ditadas pelas intervenções geotécnicas sobre o terreno. O estudo geotécnico permitiu a confecção da carta de riscos ambientais de onde foram identificadas as áreas estáveis e aquelas sujeitas a riscos ambientais somente por causas naturais.

O estudo geológico mostra a ocorrência de cinco fácies sedimentares formadas em duas gerações de sistemas deposicionais ao longo da área estudada. Podem ser vistos sedimentos de idade pleistocênica de origem praial marinha e eólica, além de depósitos holocênicos de origem praial marinha, eólica e lagunar. Esses depósitos superficiais formam solos ou

terrenos, como no caso das dunas ativas, que mostram propriedades geotécnicas distintas, independente de sua gênese ou evolução.

Dessas cinco fácies sedimentares foram identificados três tipos de solos, além das dunas ativas. Esses solos têm sua gênese ligada aos ambientes de sedimentação transicionais que, no seu conjunto, compõem a planície costeira.

Nesse trabalho são identificados e caracterizados os parâmetros geotécnicos, a morfologia e a posição do nível freático, ligados a cada tipo de solo e dunas. Estuda também a influência dos agentes dinâmicos e os riscos ambientais em potencial a que estão sujeitos os diferentes geoambientes, seja por causas naturais ou induzidas. Dessa forma, nos solos mapeados estão presentes oito geoambientes identificados pela morfologia, posição do nível freático e textura e que são descritos neste capítulo.

3.1. SOLOS

Com base na classificação pedogenética apresentada pela ABGE, (1998) são identificados na área de estudo três tipos de solos, além das dunas, ligados aos ambientes de sedimentação transicionais mostrados no mapa de solos do anexo 3.

São eles, o **solo arenoso**, gerado pelos sedimentos pleistocênicos, o **solo de areia quartzosa** e **solo hidromórfico de areia quartzosa**, ligado aos sedimentos praias marinhos holocênicos e o **solo orgânico** que está associado aos sedimentos lagunares holocênicos, além das **dunas** que não formam solos e sim terrenos, ligados aos sedimentos eólicos holocênicos.

3.1.1. Solo arenoso

Esta classe de solo é encontrada associada à fácies praias marinhas e à fácies eólica, que tem sua origem ligada a episódios trans/regressivos do Pleistoceno Superior. O solo arenoso ocorre de forma contínua na porção centro-oeste da área, estando limitado a leste pelo solo de areia quartzosa e hidromórfico de areia quartzosa e a oeste pelo solo orgânico. Apresenta extensão expressiva a sul, sofrendo estreitamento a norte, a partir da localidade de Bentos.

Forma terraços arenosos plano-horizontalizados ou levemente ondulados, com pente para a atual linha de costa, quando ligado à fácies marinha. Quando associado à fácies eólica, aparece na forma de elevações dunárias ou na forma de cristas alongadas. Corresponde aos terrenos mais elevados encontrados na área de estudo, com altitudes variando entre 4 e 25m.

O solo arenoso apresenta os horizontes A e B. O horizonte A, centimétrico, com matéria orgânica e cor acinzentada. O horizonte B mineral, de constituição quartzosa (foto 3.1), em mistura com baixas concentrações de argila impregnada de óxidos de Fe, conferindo a ele uma coloração amarronzada. Apresenta espessuras maiores que 6m, tal como revelado pelo estudo geológico.



Foto 3.1. Solo arenoso com argila. Escavação para fundação do tipo bloco. Boa escavabilidade. Profundidade de 1m. Cabeçudas.

As características geotécnicas deste solo são apresentadas nos mapas em anexo e nas tabelas geotécnicas construídas com os resultados dos ensaios e análises realizados em campo e laboratório.

A **textura** do solo, determinada através das análises granulométricas realizada sobre amostras coletadas a 0,80m, apresentada na tabela 3.1 abaixo, mostra a percentagem de tamanhos de grãos ligada ao solo arenoso. A areia ocorre com teores de até 97% com a classe modal e mediana situada na fração correspondente a areia fina, mostrando quantidades subordinadas de areia média e muito fina, além de argila, aqui entendida como mistura de silte e argila, atingindo teores de até 3%, quando de origem praial marinho. A textura, quando ligada à fácies eólica, mostra percentagens altas de areia média e fina e conteúdo de argila atingindo 5%. A presença de baixas concentrações de argila no solo influencia nos índices de permeabilidade e a coesão.

Tabela 3.1. Percentagem dos constituintes do solo arenoso. Cabeçudas.

| N.Amostra | AG | AM | AF | AMF | Argila | MO |
|------------|----|----|----|-----|--------|-----------|
| 2.1 | 1 | 7 | 82 | 7 | 3 | 00 |
| 2.4 | 0 | 43 | 49 | 3 | 5 | 00 |

AG: areia grossa; **AM:** areia média; **AF:** areia fina; **AMF:** areia muito fina; Argila: silte e argila; **MO:** matéria orgânica.

Neste solo o **nível freático** é profundo, podendo estar situado a mais de 8m, com exceção das elevações dunárias onde apresenta profundidade maior, dependendo da morfologia da superfície do terreno.

A **permeabilidade** do solo (tabela 3.2) é influenciada pela textura arenosa com argila. No caso destes sedimentos, que contém um baixo conteúdo de material argiloso em mistura ao sedimento arenoso, a taxa de infiltração é considerada moderada. Devido à infiltração lenta da água superficial para a camada interna através dos poros do pacote sedimentar, o solo permanece úmido devido à infiltração permanente das águas superficiais oriundas da pluviosidade. Em regime de pluviosidade volumosa e prolongada podem ocorrer alagamentos temporários em áreas isoladas e depressivas na superfície do solo.

Tabela 3.2. Índice de permeabilidade do solo. Cabeçudas.

| Permeabilidade | Tipo de solo | K:– cm/s |
|----------------|------------------|----------------------|
| Moderada | Areia com argila | $3,2 \times 10^{-4}$ |

A **compacidade** é um parâmetro importante na composição da capacidade de carga do solo e sua adequação depende da presença de argila e umidade nos poros do interior da camada do solo. O ensaio SPT realizado na localidade de Cabeçudas tem seus resultados mostrados na tabela 3.3. Os dados apontam para um solo compacto, o que confere a ele uma capacidade de carga alta, resistente ao cisalhamento e sem sofrer recalque, compatível com a obra civil dimensionada como modelo para este trabalho.

Tabela 3.3. Número de golpes SPT e tensão admissível. Cabeçudas.

| Solo | Consistência | SPT | Tensão admissível |
|------------------|--------------|---------|-------------------------|
| Areia com argila | Compacto | 11 – 30 | $2 - 4 \text{ Kg/cm}^2$ |

A presença de baixos teores de argila, como determinado anteriormente, associada à presença de umidade no interior do horizonte, mantém as paredes do poço verticalizadas. Esta propriedade confere ao solo um alto índice de **coesão** entre os grãos (tabela 3.4), o que se traduz em boa escavabilidade para a instalação de fundações rasas.

Tabela 3.4. Índice de coesão. Cabeçadas.

| SOLO | COESÃO | OBSERVAÇÕES |
|-------------|---------------|---------------------------|
| Arenoso | Alta | Paredes do poço verticais |

3.1.1.1. Unidades geoambientais ligadas ao solo arenoso

O mapa geomorfológico do anexo 2 mostra a disposição das unidades geoambientais, onde se pode observar a ocorrência de terraço arenoso, de escarpa arenosa e de elevações dunárias. Suas características físicas, vistas nos parâmetros geotécnicos, apontam para um solo favorável à urbanização. Resta a análise da morfologia, da ação dos agentes dinâmicos e de riscos ambientais para apontar um quadro geotécnico completo dos geoambientes ligados a esse solo.

3.1.1.1.1. Terraço arenoso

O terraço arenoso ocorre com exposição superficial parcialmente recoberto por dunas pleistocênicas na localidade de Itapiruba e Roça Grande. Limita-se a leste com o cordão litorâneo C2, a oeste com o terraço lagunar turfoso e elevações dunárias e a sul também com as elevações dunárias.

Apresenta uma morfologia plano-horizontalizada e ainda levemente ondulada com pendente para SE (foto 3.2), situado em torno da cota de 6m.

É recoberto por uma densa cobertura vegetal em toda a sua extensão, que atua como estrutura biológica fixadora do solo. Ocorre distante do litoral, protegido da ação eólica e marinha, geradoras de riscos ambientais. Apresenta as maiores altitudes, como referido anteriormente, e não sofre alagamentos.

Em razão disso, este geoambiente se apresenta isento da ação dos agentes dinâmicos que atuam na região, tais como a pluviosidade e os ventos. Apresenta um índice de permeabilidade que permite a infiltração das águas superficiais, evitando alagamentos. Por estar distante do litoral, área fonte de areia eólica, está livre do transporte eólico que leva à propensão ao soterramento.

A análise dos parâmetros geotécnicos, morfológicos e dos riscos ambientais ligados a este geoambiente mostra que são dispensados os trabalhos de infraestrutura para a preparação do terreno à construção civil.



Foto 3.2. Vista para SE do terraço arenoso aplainado. Em primeiro plano aspecto da textura arenosa do solo. Observam-se construções residenciais. Itapiruba.

3.1.1.1.2. Escarpa arenosa

Este segundo geoambiente ligado ao solo arenoso, ocorre nas bordas do terraço arenoso e elevações dunárias na forma de escarpa erosiva ligada aos episódios transgressivos, A escarpa arenosa faz contato erosivo com o solo orgânico e com o solo de areia quartzosa e com o hidromórfico de areia quartzosa que estão situados a cotas inferiores a 3,5m (foto 3.3).

A escarpa apresenta desnível de 6m, com declividade média em torno de 15°.

Este geoambiente é estável já que não é afetado pela ação dos agentes dinâmicos meteorológicos e marinhos. A foto 3.4 mostra secção da escarpa arenosa mantendo estabilidade sem cortes e com cobertura vegetal.

Nos casos em que há supressão da vegetação fixadora do solo arenoso ou ainda quando de intervenções geotécnicas, tais como cortes (foto 3.5), o geoambiente se instabiliza e se torna propenso a riscos ambientais. Isso

ocorre em períodos de pluviosidade, onde o fluxo das águas superficiais e de infiltração leva a riscos geológicos, tais como erosão e deslizamentos.



Foto 3.3. Escarpa arenosa com desnível de 6m, com vegetação fixadora, em contato com o solo orgânico. Roça Grande.



Foto 3.4. Detalhe da secção da escarpa arenosa com fundação rasa e pilares. Não houve intervenção geotécnica.



Foto 3.5. Corte na borda do terraço arenoso em frente de lavra desativada. Notam-se pequenos deslizamentos. Roça Grande.

A escarpa arenosa, pela sua morfologia que leva a riscos geológicos induzidos através da execução de cortes na preparação do terreno, é considerada um geoambiente que, para a sua ocupação, são necessárias obras de infraestrutura voltadas à estabilização do talude e controle da drenagem. As obras, no entanto, têm caráter local e as intervenções geotécnicas ocorrem apenas na área de influência do pátio da obra.

3.1.1.1.3. Elevações dunárias

As elevações dunárias constituem o geoambiente ligado à fácies eólica pleistocênica e ocorrem a sul e oeste da área de forma contínua, recobrando parcialmente o terraço arenoso.

Este geoambiente, também ligado ao solo arenoso, apresenta uma **morfologia** ondulada irregular (foto 3.6) situada em cotas que podem atingir 25m, tendo como substrato o terraço arenoso pleistocênico. Essas elevações dunárias, que podem ser complexas ou longitudinais, são coalescentes, gerando um relevo irregular formado por cristas, algumas vezes alongadas, e depressões que, no conjunto mostram desníveis métricos. As encostas do interior do campo de dunas ou nas suas bordas têm declividades em torno de 15°.

Não são influenciados pelos agentes dinâmicos meteorológicos e marinhos, seja pela proteção oferecida pela cobertura vegetal, como pela distância do litoral.

A morfologia irregular das elevações dunárias, que mostra cristas e cavas, leva a ocorrência de riscos geológicos. No caso das escarpas, podem ocorrer deslizamento ou erosão, seja pela supressão da vegetação fixadora das encostas ou pela execução de taludes de corte (foto 3.7). Nas depressões podem ocorrer soterramentos devido à possibilidade de deslizamentos de areia provenientes das escarpas de onde foi retirada a cobertura vegetal (foto 3.8), por isso se procede ao aterramento das depressões para a construção de obras.

Apesar de apresentar parâmetros geotécnicos ligados ao solo arenoso, com características favoráveis a construção civil, este geoambiente tem propensão a riscos geológicos de erosão deslizamento ou soterramento, quando submetido a intervenções geotécnicas.



Foto 3.6. Morfologia irregular com cristas e depressões das elevações dunárias. Barbacena.



Foto 3.7. Corte na base da encosta dunária, provocando deslizamento. Roça Grande.

Dessa forma, para a construção de obras civis são necessários trabalhos de infraestrutura em escala local para a preparação do terreno, com estabilização do talude e controle da drenagem, eliminando os riscos geológicos derivados de taludes de cortes no pátio da obra.



Foto 3.8. Aterro para preenchimento da depressão dunária em terreno destinado a construção civil. Barbacena.

3.1.2. Solo de areia quartzosa

O solo de areia quartzosa está associado à fácies praial marinha e lagunar do Holoceno, identificado no mapa de solos do anexo 3. Forma terraços arenosos, aplainados e também levemente ondulados, limitados por cristas arenosas. Tem sua origem relacionada aos episódios de transgressão e regressão marinha holocênica acompanhada de estabilização. Gera horizonte A mineral arenoso com MO e horizonte C mineral arenoso.

Ocorre de forma contínua na área de estudo na porção SW. Está limitado a oeste com o solo arenoso e a leste com solo hidromórfico.

Em função da variação de altitude que influencia a posição do nível freático, este solo está relacionado ao cordão litorâneo C1 definido no estudo geológico. O cordão C1 ocupa posição altimétrica mais elevada e por isso esse solo tem nível freático.

Trata-se de solo ligado ao cordão regressivo holocênico e pontal lagunar que tem altitude variando de 3,5 a 2,5m. O estudo voltado à identificação dos parâmetros geotécnicos ligados a este solo mostra os resultados apresentados a seguir.

A análise da **textura**, realizada sobre amostra coletada a 0,80m de profundidades, mostra constituição de areia fina na classe modal e subordinadamente areia média, como pode ser observado na tabela 3.5 e ilustrado na foto 3.9.



Foto 3.9. Detalhe do solo de areia quartzosa ligado ao cordão C1. Horizonte C mineral. Barbacena.

Tabela 3.5. Percentagem dos constituintes do solo de areia quartzosa C1

| N.Amostra | AG | AM | AF | AMF | Argila | MO |
|-----------|----|----|----|-----|--------|----|
| 2.5 | 1 | 18 | 80 | 1 | 0 | 0 |
| 2.6 | 2 | 16 | 81 | 1 | 0 | 0 |

AG: areia grossa; **AM:** areia média; **AF:** areia fina; **AMF:** areia muito fina; **ARGILA:** silte e argila; **MO:** matéria orgânica.

O **nível freático** profundo posiciona o horizonte superficial métrico acima da zona saturada, mantendo o pacote sedimentar úmido.

O teste de infiltração realizado para a determinação da **permeabilidade**, em local onde a posição do nível freático atinge 1,8m, mostrou um índice moderado para este parâmetro (tabela 3.6). A permeabilidade moderada desse solo se deve a sua constituição arenosa de granulação fina e camada superficial acima da zona saturada, o que inibe a saturação do solo até a profundidade limite de escavação. Em vista disso, o depósito mostra boa drenagem nos horizontes A e B e pela posição do nível freático, não sofre alagamentos.

Tabela 3.6. Índice de permeabilidade do solo de areia quartzosa C1. Barbacena.

| Permeabilidade | Tipo de solo | K:– cm/s |
|----------------|--------------|----------------------|
| Moderada | Areia fina | $2,8 \times 10^{-3}$ |

A caracterização da **compacidade** obtida através do ensaio SPT (tabela 3.7), com resultados obtidos na faixa de 0,5 a 1m, revela valores que permitem classificar o solo como compacto. Essa consistência se deve a textura dos grãos sedimentares que mostra areia fina bem selecionada em sua totalidade. A granulação fina da areia quartzosa bem selecionada mantém os grãos em equilíbrio, quando da aplicação de uma carga, conferindo ao depósito uma boa capacidade de carga, sem a possibilidade de sofrer **recalque**.

Tabela 3.7. Número de golpes SPT e tensão admissível. Barbacena.

| Solo | Consistência | SPT | Tensão admissível |
|------------|--------------|---------|--------------------------|
| Areia fina | Compacto | 26 - 50 | 4 - 6 Kg/cm ² |

Em relação à **coesão**, os grãos arenosos se mostram coesos, com índice alto (tabela 3.8) no solo úmido, até a profundidade de 0,80m. A coesão é alta e a escavabilidade é boa, mantendo as paredes do poço ou trincheira verticalizadas.

Diminui seu índice à medida que o depósito vai sendo saturado em profundidade. Ou ainda, quando se torna seco em períodos de estiagem prolongada, pela ausência de umidade, fenômeno esse pouco comum na região.

Tabela 3.8. Índice de coesão.

| Solo | Coesão | Observações |
|-----------------|--------|---------------------------|
| Areia quartzosa | Alta | Paredes do poço verticais |

3.1.2.1. Unidades geoambientais ligadas ao solo de areia quartzosa

O mapa geomorfológico do anexo 2 mostra para este solo dois geoambientes caracterizados pela posição altimétrica, posição do nível freático e dos constituintes dos sedimentos presentes nos horizontes A e C.

Os geoambientes estão ligados ao cordão litorâneo designado de C1 e terraço arenoso lagunar, como visto no estudo geológico, e se constituem em terraços arenosos limitados por cristas arenosas.

O geoambiente que compõe o cordão litorâneo C1 é designado de terraço arenoso C1 enquanto que o geoambiente ligado ao pontal arenoso lagunar é designado de terraço arenoso lagunar.

Os terraços arenosos, pelas suas posições altimétricas e distância do litoral, estão isentos da ação dos agentes dinâmicos atuais representados pelos ventos, maré e pela pluviosidade.

A presença dessas duas feições compondo o solo de areia quartzosa configura dois geoambientes representados pelos terraços arenosos.

3.1.2.1.1. Terraço arenoso C1

Ocorre a sul e está limitado a leste pelo terraço arenoso C2 e a oeste pela escarpa arenosa pleistocênica. Esse terraço arenoso compreende o geoambiente situado à cota mais elevada, entre 3,5 e 2,5m, e apresenta uma morfologia predominante na forma de terraço horizontalizado, ao mesmo tempo em que se mostra ondulado com cristas e cavas (foto 3.11).

As cristas e cavas, em regime de pluviosidade e influência da maré, se tornam úmidas, porém sem transferir o horizonte B para a zona saturada, já

que o nível freático é profundo (foto 3.12). Pela sua altimetria e distante do litoral, não sofrem a influência dos agentes dinâmicos meteorológicos e marinhos.

Os riscos ambientais são nulos. Pela posição profunda do nível freático e pelos valores da permeabilidade não sofrem com alagamentos e pela pouca efetividade do agente eólico em remobilizar e transportar sedimentos arenosos no local, atestado pela ausência de acumulações dunárias, não é propenso a risco de soterramento.

Dessa forma o terraço não apresenta riscos ambientais, possuem uma grande capacidade de suporte sem necessitar trabalhos de infraestrutura.



Foto 3.10. Vista para norte mostrando a morfologia do terraço arenoso C1, que alterna cristas e cavas. Barbacena.



Foto 3.11. Detalhe da textura arenosa do solo ligado ao terraço arenoso C1, situado acima da zona saturada.

3.1.2.1.2. Terraço arenoso lagunar

Este geoambiente, relacionado ao solo de areia quartzosa, está ligado ao retrabalhamento sofrido pela fácies praial marinha pleistocênica devido aos episódios trans/regressivos do Holoceno pela dinâmica lagunar.

Ocorre a oeste, limitado externamente pelo solo orgânico e internamente pelo solo arenoso. Apresenta a forma de pontal alongado na direção E-W e altitude que varia entre 3,5 e 2,5m. Não sofre a influência dos agentes dinâmicos meteorológicos e lagunares.

Pela ausência da efetividade dos agentes dinâmicos o pontal não apresenta riscos ambientais e pela sua constituição arenosa mostra grande capacidade de suporte, sem necessitar trabalhos de infraestrutura para a construção de obras civis.

3.1.3. Solo hidromórfico de areia quartzosa

Este solo está ligado ao cordão regressivo holocênico identificado no estudo geológico como cordão litorâneo C2. Apresenta altitude variando de 2,5 a 1,5m e se encontra parcialmente recoberto por dunas. Ocorre de forma contínua na porção centro - leste da área e se constitui no solo que ocupa maior extensão em área.

Está limitado a oeste pelo solo arenoso e com o solo de areia quartzosa ligado ao cordão C1. A leste se limita com a duna frontal, que separa este solo do litoral.

O solo apresenta um conjunto de cristas alongadas na direção geral N-S que se alternam com cavas na forma de terraços, onde o nível freático é aflorante.

As **cristas**, de grande comprimento e pequena largura, que atingem até 10m, mostram o horizonte mineral bem definido constituído de areia quartzosa. O **terraço intercordões** apresenta dois horizontes identificados como horizontes A e B. O horizonte A é constituído de matéria orgânica em mistura com areia quartzosa enquanto que o horizonte B é mineral, de areia quartzosa. A característica do constituinte presente no horizonte A está ligada a posição do nível freático, que é aflorante, o que o coloca no interior da zona saturada. Essa saturação permite o desenvolvimento de área paludial, onde estiveram instalados corpos lacustre/lagunares (foto 3.10), responsável pela origem da matéria orgânica.

O estudo voltado à identificação dos parâmetros geotécnicos ligados a este solo hidromórfico tem como base a análise do terraço intercordões e mostra os resultados dos ensaios realizados sobre o horizonte C, mineral.

A análise **textural** do horizonte A mostra classe modal constituída de areia fina, com teores que atingem 61% e subordinadamente areia muito fina, com matéria orgânica atingindo até 17%, como pode ser observado na tabela 3.9. No horizonte C o teor de MO vai diminuindo em profundidade, atingindo 3% a 0,80m de profundidade.



Foto 3.12. Detalhe do solo hidromórfico de areia quartzosa ligado ao terraço intercordões. Horizonte A com matéria orgânica e horizonte C mineral, feição paludial. Praia do Sol.

Tabela 3.9. Percentagem dos constituintes do solo hidromórfico de areia quartzosa C2. Praia do Sol

| N.Amostra | AG | AM | AF | AMF | Argila | MO |
|-----------|----|----|----|-----|--------|----|
| 2.16 | 0 | 0 | 61 | 22 | 0 | 17 |
| 2.17 | 0 | 0 | 81 | 16 | 0 | 3 |

AG: areia grossa; **AM:** areia média; **AF:** areia fina; **AMF:** areia muito fina; **ARGILA:** silte e argila; **MO:** matéria orgânica.

O **nível freático** é aflorante e em períodos de pluviosidade transfere a zona saturada para o horizonte A.

O teste de infiltração realizado para a determinação da **permeabilidade**, em local onde a posição do nível freático é aflorante, mostrou um índice baixo para este parâmetro (tabela 3.10). Esse índice se deve a sua constituição arenosa de granulação fina e horizonte superficial no interior da zona saturada, o que mantém a saturação do solo até a profundidade de 1,8m.

Tabela 3.10. Índice de permeabilidade do solo. Praia do Sol.

| Permeabilidade | Tipo de solo | K:– cm/s |
|----------------|--------------|----------------------|
| Baixa | Areia fina | $1,6 \times 10^{-5}$ |

A **compacidade**, através do ensaio SPT (tabela 3.11), revela valores que permitem classificar o solo como compacto. Essa consistência se deve a textura dos grãos sedimentares que mostra areia fina no horizonte B. A granulação fina mantém os grãos em equilíbrio, quando da aplicação de uma carga, conferindo ao depósito uma boa capacidade de carga, sem a possibilidade de sofrer **recalque**.

Tabela 3.11. Número de golpes SPT e tensão admissível. Praia do sol.

| Solo | Consistência | SPT | Tensão admissível |
|------------|--------------|---------|--------------------------|
| Areia fina | Compacto | 26 - 40 | 4 - 6 Kg/cm ² |

Em relação à **coesão**, os grãos arenosos se mostram incoesos, com índice baixo na profundidade de 0,80m (tabela 3.12), onde o horizonte B se encontra no interior da zona saturada. Como consequência há o desmoronamento das paredes do poço ou trincheira nessa profundidade. Acima da zona saturada, ainda nesse horizonte, o solo é úmido, aumentando seu índice para alto.

Tabela 3.12. Índice de coesão. Praia do Sol.

| Solo | Coesão | Observações |
|-----------------|--------|-------------------------------------|
| Hidromórfico C2 | Baixa | Desmoronamento das paredes do poço. |

3.1.3.1. Unidades geoambientais ligadas ao solo hidromórfico de areia quartzosa

O mapa geomorfológico do anexo 2 mostra para este solo apenas um geoambiente que é identificado pela sua posição altimétrica, posição do nível freático e pelos constituintes dos sedimentos presentes nos horizontes A e C.

Os geoambientes estão ligados ao cordão litorâneo designado de C2, como visto no estudo geológico, e se constitui em terraços arenosos limitados por cristas arenosas.

Esses geoambientes ligados ao cordão litorâneo C2 são designados de terraço arenoso C2, onde as cristas, que representam o outro geoambiente, limitam extensos terraços intercordões.

O terraço arenoso, pela sua posição altimétrica e proximidade do litoral, pode sofrer a ação dos agentes dinâmicos atuais representados pelos ventos, maré e pela pluviosidade. O vento pode promover acumulações de areia formando lençóis de areia e dunas, enquanto que a pluviosidade juntamente com a maré pode gerar alagamentos no terraço, gerando feições paludiais.

3.1.3.1.1. Terraço arenoso C2

O geoambiente representado pelo terraço arenoso C2 está limitado a oeste pelo terraço C1, pelo terraço arenoso e a leste é limitado pelas dunas e parcialmente recoberto por dunas e lençóis de areia. Apresenta uma morfologia onde se alternam cristas e cavas, com as cavas formando extensos terraços, como mostrado na foto 3.13. Ocorre a uma cota mais baixa, entre 2,5 e 1,5m, em relação ao geoambiente C1 e desenvolve feição paludial.

As **cristas arenosas**, com alturas inferiores a 1,5m, ocorrem paralelas na direção NE-SW e não excedem os 15m de largura, alternando-se com os terraços chamados terraços intercordões. Esses terraços, que se estendem na mesma direção NE-SW, têm largura de até 140m e são parcialmente recobertos por lençóis de areia (foto 3.14) e dunas.

Pela sua pequena dimensão lateral, onde não podem ser construídas obras civis, as cristas não foram estudadas neste item, restando o terraço intercordões, identificado aqui como o terraço arenoso C2, como objeto do estudo geotécnico.

O estudo realizado mostra que compõe um geoambiente na forma de terraço plano horizontalizado com nível freático aflorante, responsável pela feição paludial desenvolvida neste terraço.



Foto 3.13. Vista para o norte mostrando a morfologia do terraço C2, onde aparecem setores alagadiços.

Pela posição do nível freático e proximidade com o litoral, onde existe transporte eólico, este geoambiente está sujeito à ação dos agentes dinâmicos que geram riscos ambientais geológicos e hidrológicos de soterramento e alagamentos.



Foto 3.14. Vista para sul mostrando o terraço C2 sendo parcialmente recoberto por lençóis de areia. Mar Grosso.

Pela proximidade com o litoral, o trabalho do vento como agente dinâmico promove a acumulação de areia que recobre parcialmente este geoambiente, seja na forma de dunas ou de lençóis arenosos. Neste caso, a atividade eólica pode por um lado propiciar a colmatação das áreas paludiais, atuando como um elemento natural no aterramento do terreno. Por outro lado, pelo seu acúmulo, pode causar soterramento das estruturas urbanas instaladas, vindo a gerar risco geológico.

A elevação do nível freático, ativada tanto pela pluviosidade quanto pelo trabalho da maré, que são os agentes dinâmicos atuantes, muitas vezes em ação conjugada, pode propiciar alagamentos, o que configura um risco hidrológico.

Estas condições apontam problemas para a urbanização desse geoambiente, já que é submetido à ação de agentes dinâmicos que causam propensão a riscos ambientais em escala regional. Tornam-se então necessárias a execução de obras em caráter regional para o rebaixamento do nível freático e a contenção de avanço de dunas sobre as obras civis.

3.1.4. Solo orgânico

O solo orgânico, mostrado no mapa de solos do anexo 3, está presente na área recobrimdo a fácies lagunar holocênica e se apresenta como sedimentos de fundo lagunar. Tem sua formação relacionada à atuação de processos regressivos que, com o rebaixamento do nível marinho, colocou a superfície do fundo lagunar em posição subérea.

Aparece margeando a borda leste do atual Complexo Lagunar Mirim, Imarui, Santo Antônio (foto 3.15), limitado a leste e norte com o solo arenoso do Pleistoceno, com o qual faz contato erosivo. Ocorre de norte a sul da área de estudo, com bom desenvolvimento em extensão, mostrando largura variável, podendo atingir três centenas de metros, porém de forma descontínua, já que tem sua continuidade interrompida quando encontra os pontais arenosos lagunares e costões.



Foto 3.15. Vista para oeste mostrando o solo orgânico, com relevo aplainado e baixo. Ao fundo o complexo lagunar, Lagoa do Imarui. Roça Grande.

Forma terraços turfosos plano-horizontalizados com leve pendente em direção ao atual corpo lagunar. Os terraços são identificados por ocorrerem em duas faixas altimétricas separadas por escarpa centimétrica, segundo determinado pelo estudo geológico. O terraço T2, entre as cotas de 2,5 e 1,5m e o terraço T3, em cotas inferiores a 1,5m. Mostra um horizonte A métrico, de constituição turfosa, de cor preta, com presença de troncos e fragmentos de raízes recobrando o horizonte B mineral e estrutura homogênea até a profundidade de 2m, limite da investigação.

As análises e os ensaios geotécnicos ligados ao solo orgânico têm seus resultados apresentados abaixo.

A **textura** e os constituintes do solo apresentados na tabela 3.13 revelam que o conteúdo de areia fina atinge 78%, com teores de argila atingindo até 28% e matéria orgânica originada pela acumulação de detritos vegetais em ambiente lagunar, podendo conter argila terrígena (foto 3.16) com teores chegando a 22%.



Foto 3.16: Solo orgânico desenvolvido no terraço lagunar. Solo fofo sujeito a recalque. Roça Grande.

Tabela 3.13. Percentagem dos constituintes do solo orgânico. Roça Grande

| N. Amostra | Areia fina | Argila | MO |
|------------|------------|--------|----|
| 2.12 | 78 | 00 | 22 |
| 2.14 | 54 | 28 | 18 |

O **nível freático**, observado em campo, é classificado como aflorante, já que em condições de pluviosidade e maré alta atinge a superfície do terreno. Em função disso a camada turfosa se encontra dentro da zona saturada.

A **permeabilidade**, com seu índice mostrado na tabela 3.14, permite caracterizar o solo como impermeável. Esta condição se deve tanto pela composição sedimentar do solo, com alto teor de MO, quanto pela posição do nível freático que se estende até a superfície do terreno, quando se torna aflorante.

Tabela 3.14. Índice de permeabilidade do solo. Roça Grande.

| Permeabilidade | Tipo de solo | K:- cm/s |
|----------------|--------------|----------|
| Impermeável | Orgânico | 00 |

Já a **compacidade**, um parâmetro importante na capacidade de carga do solo, revela, conforme resultado obtido da sondagem (tabela 3.15), a ocorrência de solo fofo, com propensão a recalque pela presença de turfa. A turfa torna o terreno impróprio à instalação de obras civis já que, mesmo com aterro, mantém, de forma continuada, a acomodação do solo através de recalque após adensamento, podendo assim danificar a estrutura da obra civil instalada nesse geoambiente.

Tabela 3.15. Número de golpes e penetração. Roça Grande.

| Solo | Consistência | Golpes |
|------------|--------------|--------|
| Areia fina | Fofo | 4 - 30 |

Apesar de se tratar de um solo mole, apresenta um alto índice de **coesão** (tabela 3.16) que se traduz em um bom índice de escavabilidade, com a manutenção das paredes do poço ou trincheira verticalizadas até a profundidade de 0,80m, em posição acima do nível freático. Esse índice de coesão está ligado tanto às cargas elétricas do material turfoso quanto à alta umidade presente neste solo.

Tabela 3.16. Índice de coesão. Roça Grande.

| Solo | Coesão | Observações |
|---------|--------|---------------------------|
| Turfoso | Alta | Paredes do poço verticais |

3.1.4.1. Unidade geoambiental ligada ao solo orgânico

O mapa geomorfológico do anexo 2 identificou para o solo orgânico um único geoambiente, na forma de terraço turfoso sub-horizontalizado mostrado na foto 3.18, onde a camada de turfa atinge espessura em torno de 1m (foto 3.19). Observa-se, pelo estudo geológico, que o terraço formado pelo rebaixamento das águas lagunares mostra escarpa centimétrica que representa um nível de estabilização dentro do processo regressivo. Dessa forma o terraço mostra duas faixas altimétricas que, no entanto, não influencia as suas características físicas e por isso, os dois terraços são abordados como um único geoambiente.

3.1.4.1.1. Terraço turfoso

Ocupa toda a extensão do solo orgânico já que representa o único geoambiente ligado a ele. O terraço turfoso é baixo, com altitude mostrando uma faixa entre as cotas de 2,5 e 1,5m e outra, inferior a 1,5m, com leve pendente em direção ao atual corpo lagunar (foto 3.17). Por apresentarem características geotécnicas semelhantes, são analisados como representantes de uma mesma unidade.

Os agentes dinâmicos que atuam sobre o terraço turfoso estão ligados às marés lagunares, ativadas pelos ventos do quadrante sul e ainda pela pluviosidade, que promovem a elevação do nível freático.

A característica geotécnica ligada à compactidade, que classifica o solo como fofo, aliado à sua constituição turfosa com camada métrica (foto 3.18), leva este geoambiente a sofrer recalque quando da aplicação de uma carga, mesmo que seja uma estrutura civil leve. Essa característica leva a propensão a risco geológico de caráter local que pode ocasionar colapso das estruturas instaladas nesse geoambiente. Os trabalhos prévios de adensamento são inúteis já que pela sua composição turfosa mantém a continuidade do recalque, devido ao constante acomodamento do solo.

Os agentes dinâmicos que atuam sobre o terraço turfoso levam a propensão da ocorrência de risco ambiental do tipo hidrológico que causa alagamentos.

Assim, são identificados riscos ambientais de caráter local, como no caso da propensão a recalque, e regional, como no caso da propensão a alagamentos.

Nesse caso se tornam necessárias a execução de trabalhos de infraestrutura para a identificação do horizonte interno com capacidade de carga e ainda trabalhos que evitem risco de alagamentos, através de aterros e instalação de drenagem para o rebaixamento do nível freático.



Foto 3.17. Vista para o oeste mostrando o terraço turfoso.



Foto 3.18. Detalhe da textura do solo orgânico com espessura de 1m. Na base do trado, o horizonte B de areia fina quartzosa.

3.1.5. Dunas atuais

As dunas, que não formam solos, estão ligadas na área de estudo à fácies eólica holocênica, apresentada no mapa de solos do anexo 3. A evolução dos campos eólicos está ligada aos episódios trans/regressivos responsáveis pela progradação da linha de costa no Holoceno, e se desenvolvem em direção a SW pela atuação dos ventos oriundos do quadrante NE. Mostram grande dispersão na planície costeira, recobrimo parcialmente o solo arenoso e o solo hidromórfico C2.

Ocorrem na forma de dunas ativas ou semifixas pela vegetação (foto 3.19) e ainda na forma de lençóis de areia. São limitadas por um lado pelas praias atuais e com o solo arenoso e hidromórfico de areia quartzosa C2, sobre os quais prograda em seu avanço em direção a SW.



Foto 3.19. Vista para NW mostrando em primeiro plano a duna semifixa e ao fundo duna ativa cercando o terraço intercordões paludial e um corpo lagunar. Roça Grande.

Este terreno identificado como duna, já que não é considerado solo, apresenta duas feições morfológicas que permitem sua subdivisão em dois geoambientes, que são as dunas e os lençóis de areia.

As dunas formam feições transversais, parabólicas e, principalmente, barcanóides, onde as altitudes podem superar os 20m, ocupando extensas áreas como nas localidades de Itapiruba e Praia do Gi.

Já, os lençóis de areia formam feições parabólicas com alturas inferiores a 1,5m, dispersos ao longo do solo hidromórfico de areia quartzosa.

As dunas e lençóis de areia mostram camada superficial métrica sem coesão, recobrendo uma camada coesa, ditada pela presença de umidade no interior da camada.

A análise dos parâmetros geotécnicos revelou para as dunas e lençóis de areia uma **textura** constituída de areia fina quartzosa com teores subordinados de areia muito fina, conforme pode ser observado na tabela 3.17.

Tabela 3.17. Percentagem dos constituintes das dunas.

| N.Amostra | AG | AM | AF | AMF | Argila |
|-----------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| 2.11 – DF | 0 | 0 | 92 | 8 | 0 |
| 2.12 - LA | 0 | 1 | 93 | 6 | 0 |
| 2.13 – DN | 0 | 2 | 94 | 4 | 0 |

DF: duna frontal; **LA:** lençóis de areia; **DN:** duna; **AG:** areia grossa; **AM:** areia média; **AF:** areia fina; **AMF:** areia muito fina; **Argila:** silte e argila.

No teste de **permeabilidade** não houve retenção da água na coluna do cilindro, já que a infiltração foi imediata (tabela 3.18). Esse comportamento demonstrou uma velocidade de infiltração alta, ditada pela posição profunda do nível freático e da constituição arenosa e homogênea da camada superficial, com grande porosidade. Devido a isso na superfície não há acumulação de água que possa formar alagamentos.

Tabela 3.18. Índice de permeabilidade da duna.

| Permeabilidade | Tipo de solo | K:– cm/s |
|----------------|--------------|-----------------|
| Alta | Duna | Não determinado |

O ensaio de **compacidade** (tabela 3.19), usando o método de percussão com pilão na superfície do terreno, revelou um solo fofo. A **coesão** mostrou o horizonte superficial métrico incoeso, com índice classificado como baixo (tabela 3.20). Essa propriedade se deve a grande mobilidade lateral da areia ativada pelo vento em seu trabalho transportador, o que impede o adensamento e mantendo a camada sujeita a recalque.

Tabela 3.19. Número de golpes e penetração. Itapiruba.

| Solo | Consistência | Golpes |
|------------|--------------|--------|
| Areia fina | Fofo | 5 – 20 |

Tabela 3.20. Índice de coesão. Itapiruba.

| Solo | Coesão | Observações |
|------|--------|-------------------------------------|
| Duna | Baixa | Desmoronamento das paredes do poço. |

Abaixo desse horizonte métrico, que apresenta mobilidade lateral, a compacidade é alta e o horizonte se torna **coesivo**, tanto pela umidade retida quanto pela pressão da camada superior, o que se traduz numa alta capacidade de carga. Em vista disso recomenda-se a instalação de fundação profunda que atinja o horizonte coeso.

No caso do horizonte superficial, onde o sedimento é não coesivo, para a escavação deve ser utilizado revestimento. Esse procedimento assegura a construção do poço ou trincheira sem desmoronamento de suas paredes. A implantação da fundação deve ter sua base no horizonte coeso, onde o índice de compacidade é alto para assegurar uma boa capacidade de carga.

3.1.5.1. Unidades geoambientais ligadas às dunas

No estudo geotécnico são identificados dois geoambientes representados pelas dunas, aqui tratadas como elevações dunárias, onde atuam processos de erosão, transporte e deposição, e os lençóis de areia, onde atuam processos de transporte e deposição, e que podem ser vistos no mapa geomorfológico do anexo 2.

3.1.5.1.1. Elevações dunárias (D1)

Este geoambiente ocorre na forma de corpos geológicos individualizados, dispersos ao longo da área e identificados como duna frontal e duna. A duna frontal ocorre de forma contínua ao longo da borda leste da área, enquanto que a duna, na forma de corpos individualizados, tem extensão significativa em Itapiruba e Praia do Gi.

As elevações dunárias mostram um relevo irregular formado por cristas e cavas, onde as cristas atingem altitudes de até 20m. Pela grande mobilidade lateral dos sedimentos, ativada pelo trabalho do vento, as elevações dunárias tem seu relevo em constante modificação. Essa dinâmica impõe o estabelecimento de trabalhos de monitoramento da ação

do vento, para a identificação das áreas sujeitas à erosão, transporte e deposição que são permanentes.

O trabalho do vento como agente transportador propicia o risco geológico de soterramento das estruturas instaladas ou de solapamento por erosão. Esse fato leva a necessidade de se estabelecer o dimensionamento das fundações, já que devem ter altura suficiente com espaço livre para manter o corredor eólico ativo, evitando soterramento.

Somando-se a isso há o fato de que a fundação deve ser instalada em profundidade abaixo do nível de erosão e onde ocorre o horizonte compacto e coeso, que se situa em profundidade, abaixo de 1,5m em média.

Ao mesmo tempo, para que seja evitada a movimentação lateral da areia, deve-se proceder ao confinamento do sedimento através da instalação de estruturas de contenção. Ao longo do tempo deverão ser executados trabalhos de manutenção em caráter permanente, com limpeza e retirada da areia, o que impedirá a sua acumulação e evitará o soterramento (foto 3.20).



Foto 3.20. Edificações erigidas sobre a duna frontal. Trabalho de manutenção para evitar soterramento. Itapiruba.

Um caso especial está ligado à presença da duna frontal, que se estabelece no litoral. Pela proximidade com o mar está sujeita a erosão costeira em caso de ocorrência de ressacas, que é um segundo risco geológico que afeta em particular a zona frontal deste geoambiente.

Aqui também se deve proceder a trabalhos de monitoramento, onde são determinadas as condições oceanográficas para a instalação dos processos erosivos e a execução de trabalhos de manutenção, a serem determinados pela erosão costeira sobre o geoambiente (foto 3.21).



Foto 3.21. Erosão costeira causada pelo avanço do mar sobre a borda da duna frontal. Trabalhos de manutenção. Itapirubá.

3.1.5.1.2. Lençóis de areia (D2)

Este segundo geoambiente se refere às acumulações eólicas sem expressão no relevo, dispersos ao longo da planície costeira, como pode ser visto na foto 3.22, recobrimo parcialmente o solo hidromórfico C2 e soterrando as áreas paludiais. Trata-se de acumulações eólicas residuais, estabilizadas e semifixas pela vegetação.

Apresentam um relevo em cristas alongadas e forma parabólica, onde as alturas atingem 1,5m, de pequena extensão lateral podendo atingir uma dezena de metros em média.

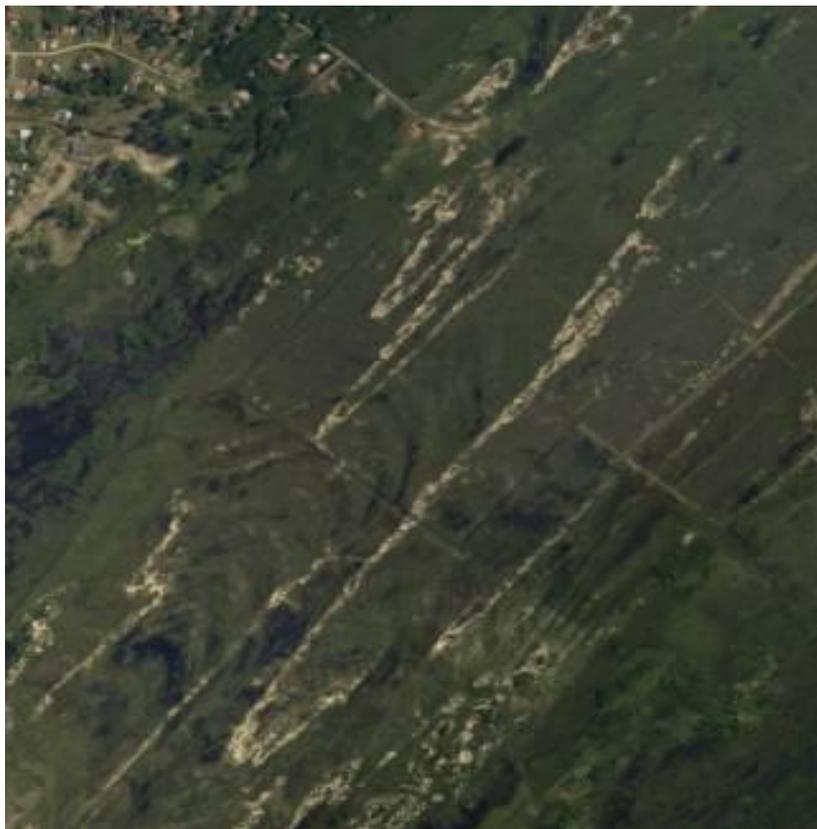


Foto 3.22. Foto aérea mostra a presença de lençóis de areia com forma parabólica. Itapiruba. SDS, 2011.

3.1.6. Praia atual

Apresenta grande mobilidade de areia associada a ampla variação do nível das águas. Os parâmetros geotécnicos são extremamente variáveis e os riscos ambientais são o soterramento, a erosão e alagamentos.

3.2. ANÁLISE DOS PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

Os ensaios e análises geotécnicas sobre os solos têm seus resultados reunidos nas tabelas de percentagem dos constituintes do solo, do índice de permeabilidade do solo e da compactidade do solo mostradas abaixo. Esses dados permitiram a construção de mapas de parâmetros geotécnicos relacionados a textura, permeabilidade, compactidade e coesão.

3.2.1. A textura dos sedimentos

O mapa textural do anexo 4 foi elaborado a partir dos resultados obtidos nas análises granulométricas e dos constituintes dos sedimentos, realizadas sobre amostras coletadas no estudo geológico a 0,80m de profundidade e apresentados na tabela 3.21.

Na sua construção foi levado em conta os constituintes granulométricos presentes na classe modal da areia e mistura com sedimentos finos e ainda o teor de MO.

Assim, na composição do mapa foram identificadas três classes texturais:

- **Areia com argila:** ligada ao solo arenoso que se desenvolve sobre as fácies da Barreira III. Constitui-se de areia fina quartzosa com até 5% de finos e cor marrom.

- **Areia:** ligado ao solo de areia quartzosa e ao solo hidromórfico de areia quartzosa, que se desenvolve sobre as fácies da Barreira IV, praias, fácies lagunar arenosa e dunas. Constitui-se de areia quartzosa e cor esbranquiçada.

- **Areia com MO:** ligado ao solo orgânico que se desenvolve sobre a fácies da Laguna IV. Constitui-se de areia fina quartzosa em mistura com até 22% de MO.

Tabela 3.21. Percentagem dos constituintes dos solos.

| Solo | AG | AM | AF | AMF | Argila | MO |
|---------------------------|----|----|----|-----|--------|----|
| Arenoso | 1 | 7 | 82 | 7 | 3 | 0 |
| | 0 | 43 | 49 | 3 | 5 | 0 |
| Areia quartzosa C1 | 1 | 18 | 80 | 1 | 0 | 0 |
| | 2 | 16 | 81 | 1 | 0 | 0 |
| Hidromórfico C2 | 0 | 0 | 61 | 22 | 17 | 17 |
| | 0 | 0 | 81 | 16 | 3 | 3 |
| Orgânico | 0 | 0 | 78 | 0 | 0 | 22 |
| | 0 | 0 | 54 | 28 | 0 | 18 |
| Duna | 0 | 0 | 92 | 8 | 0 | 0 |
| | 0 | 2 | 94 | 4 | 0 | 0 |
| Duna | 0 | 1 | 93 | 6 | 0 | 0 |

3.2.2. A permeabilidade dos solos

O mapa de permeabilidade do anexo 5 foi construído a partir dos resultados obtidos nos testes de infiltração realizados sobre os solos e terreno, apresentados no quadro 3.1 e identificados no mapa de solos do anexo 3.

. Em função da classificação apresentada para este parâmetro são apresentados 4 níveis de permeabilidade:

- **Alta:** ligada as dunas, pela sua constituição arenosa, alta porosidade e baixa umidade no interior do horizonte do terreno;

- **Moderada:** ligada a dois tipos de solo. O solo arenoso, que tem sua porosidade diminuída em função da presença de argila em mistura com areia e o solo de areia quartzosa C1, pelo teor de umidade no horizonte C do solo;

- **Baixa:** Ligada ao solo hidromórfico de areia quartzosa do C2, onde o horizonte superficial está no interior da zona saturada e o nível freático é aflorante;

- **Impermeável:** ligado ao solo orgânico. Constitui-se de solo com turfa com baixa porosidade, localizado no interior da zona saturada, com nível freático aflorante.

Quadro 3.1. Índice de permeabilidade dos solos.

| Solo | Permeabilidade |
|--------------------|----------------|
| Arenoso | Moderada |
| Areia quartzosa C1 | Moderada |
| Hidromórfico C2 | Baixa |
| Orgânico | Impermeável |
| Duna | Alta |

3.2.3. A compactidade dos solos

O mapa de compactidade do anexo 6 foi construído a partir dos resultados dos ensaios SPT realizados sobre os solos e terreno, apresentados no quadro 3.2 e identificados no mapa de solos do anexo 3.

Em função da classificação apresentada para este parâmetro são apresentados dois níveis de permeabilidade:

- **Compacto:** ligado aos solos arenoso e hidromórfico de areia quartzosa, onde a presença de areia quartzosa no horizonte B confere uma alta compactidade;

- **Fofa:** ligado ao solo orgânico e dunas. O solo orgânico, pela presença de MO e suas constantes reações químicas, impede sua acomodação mesmo após trabalhos de adensamento. As dunas, pela mobilidade lateral do horizonte superficial em função da ação transportadora dos ventos.

Quadro 3.2. Compacidade dos solos.

| Solo | Consistência |
|--------------------|--------------|
| Arenoso | compacto |
| Areia quartzosa C1 | Compacto |
| Hidromórfico C2 | Compacto |
| Orgânico | Fofa |
| Duna | Fofa |

3.2.4. A coesão dos solos

O mapa de coesão do anexo 7 foi construído a partir dos resultados nos ensaios de escavabilidade dos solos e terrenos apresentados no quadro 3.3 e identificados no mapa de solos do anexo 3.

Em função da classificação apresentada para este parâmetro são apresentados três níveis de coesão.

- **Coeso:** ligada ao solo arenoso, de areia quartzosa C1, hidromórfico de areia quartzosa C2 e orgânico, onde durante a escavação não há desmoronamento das paredes do poço. O solo arenoso obtém este índice pelo baixo teor de umidade e presença de finos. O solo hidromórfico de areia quartzosa C2, pela presença de umidade e o orgânico pela umidade e sua constituição turfosa.

- **Incoeso:** ligada as dunas, pela mobilidade lateral das areias do horizonte superficial, transportadas pelos ventos.

Quadro 3.3. Coesão dos solos.

| Solo | Coesão |
|-----------------|---------|
| Arenoso | Coeso |
| Hidromórfico C1 | Coeso |
| Hidromórfico C2 | Coeso |
| Orgânico | Coeso |
| Duna | Incoeso |

3.3. ANÁLISE GEOTÉCNICA

A análise geotécnica foi realizada com base nas informações obtidas no estudo geomorfológico, dos parâmetros geotécnicos dos solos e terrenos, da ação dos agentes dinâmicos a que estão propensos os diferentes geoambientes mapeados.

Da integração dessas informações geotécnicas apresentadas no quadro 3.4 foi gerada a carta geotécnica do anexo 8, de onde foram obtidos 7 unidades com características geotécnicas distintas e que são relacionadas abaixo.

- **Areia móvel:** terreno arenoso com baixa coesão na camada superficial e grande mobilidade das areias pela ação dos ventos.

- **Rampas arenosas:** ligadas ao solo arenoso, apresenta parâmetros geotécnicos apropriados à urbanização, porém, pela sua morfologia escarpada, necessitam de obras de infraestrutura, tais como cortes e aterros para a preparação do terreno à construção civil;

- **Praia:** Este geoambiente apresenta seus parâmetros geotécnicos variáveis em função da posição do nível das águas. A ação das ondas, correntes e marés são os agentes responsáveis pela grande mobilidade das areias observadas nesse ambiente, provocando alterações morfológicas profundas no relevo;

- **Solo fofo:** ligado ao solo orgânico, é constituído de areia e teores significativos de MO. O nível freático é aflorante, apresenta baixa permeabilidade e o solo é fofo. Está sujeito a recalque e a risco ambiental de alagamento. Desaconselhável à construção civil com fundações rasas, principalmente por não responder a trabalhos de adensamento;

- **Terraço alagadiço:** ligado ao solo hidromórfico de areia quartzosa C2. Apresenta constituição arenosa, com nível freático aflorante e permeabilidade baixa. Em função da posição do nível freático e da permeabilidade, tem propensão a alagamentos. Para sua ocupação voltada à construção civil, necessita de obras de infraestrutura que promovam o rebaixamento do nível freático;

- **Areia compacta:** ligado ao solo arenoso e ao solo de areia quartzosa C1, apresenta parâmetros geotécnicos que confere uma boa capacidade de

suporte a urbanização. Pela sua localização e posição altimétrica, está isento de riscos ambientais. Por essas características é considerado o geoambiente mais apropriado à urbanização, já que dispensa obras de infraestrutura para a sua ocupação voltada à construção civil.

Quadro 3.4. Características físicas das unidades geotécnicas.

| GEOLOGIA | GEOMORFOLOGIA | GEOAMBIENTE | UNIDADE GEOTÉCNICA |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Marinho Pleistoceno | Terraço arenoso | Terraço arenoso | Areia compacta |
| Marinho Pleistoceno | Escarpa arenosa | Escarpa arenosa | Rampa arenosa |
| Eólico Pleistoceno | Elevações dunárias | Elevações dunárias | Rampas arenosas |
| Eólico Pleistoceno | Escarpa arenosa | Escarpa arenosa | Rampa arenosa |
| Praial marinho Holoceno | Cordão litorâneo C1 | Terraço arenoso C1 | Areia compacta |
| Praial marinho Holoceno | Cordão litorâneo C2 | Terraço arenoso C2 | Terraço alagadiço |
| Praia | Praia | Praia | Praia |
| Eólico Holoceno | Duna | Duna | Areia móvel |
| Eólico Holoceno | Lençol de areia | Lençol de areia | Areia móvel |
| Lagunar Holoceno | Terraço turfoso | Terraço turfoso | Solo fofo |
| Lagunar Holoceno | Terraço arenoso lagunar | Terraço arenoso lagunar | Areia compacta |

...continuação - Quadro 3.4. Características físicas das unidades geotécnicas.

| Geologia | Marinho Pleistoceno | Marinho Pleistoceno | Eólico Pleistoceno | Marinho Holoceno | Marinho Holoceno |
|----------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| Nível freático | Profundo | Profundo | Profundo | Profundo | Aflorante |
| Geomorfologia | Terraço arenoso | Escarpa arenosa | Elevações dunárias | Cordão litorâneo C1 | Cordão litorâneo C2 |
| Solo | Arenoso | Arenoso | Arenoso | Areia quartzosa | Hidromórfico |
| Textura | Areia, argila (5%) | Areia, argila (5%) | Areia, argila (5%) | Areia | Areia |
| Permeabilidade | Moderada | Moderada | Moderada | Moderada | Baixa |
| Compacidade | Compacto | Compacto | Compacto | Compacto | Compacto |
| Coesão | Alta | Alta | Alta | Alta | Alta |
| Geoambiente | Terraço arenoso | Escarpa arenosa | Elevações dunárias | Terraço arenoso C1 | Terraço arenoso C2 |
| Geotécnica | Areia compacta | Rampa arenosa | Rampas arenosas | Areia compacta | Terraço alagadiço |
| Geologia | Praia | Eólico Holoceno | Eólico Holoceno | Lagunar | Lagunar |
| Nível freático | Variável | Profundo | Profundo | Aflorante | Profundo |
| Geomorfologia | Praia | Elevações dunárias | Elevações dunárias | Terraço turfoso | Terraço arenoso |
| Solo | Praia | Duna | Duna | Orgânico | Arenoso |
| Textura | Areia | Areia | Areia | Areia, MO (20%) | Areia |
| Permeabilidade | Variável | Alta | Alta | Impermeável | Moderada |
| Compacidade | Variável | Fofa | Fofa | Fofa | Compacto |
| Coesão | Variável | Baixa | Baixa | Média | Alta |
| Geoambiente | Praia atual | Duna holocênica | Lençóis de areia | Terraço turfoso | Terraço arenoso |
| Geotécnica | Praia | Areia móvel | Areia móvel | Solo fofa | Areia compacta |

3.4. ANÁLISE DOS RISCOS AMBIENTAIS

A carta de risco ambiental do anexo 9, referente aos riscos geológicos e hidrológicos naturais, foi elaborada a partir da análise do estudo da geomorfologia (anexo 2), dos parâmetros geotécnicos dos solo (anexos 4, 5, 6, 7) e da ação efetiva dos agentes dinâmicos que promovem alterações nos geoambientes. Os riscos ambientais a que estão propensos os geoambientes são apresentados no quadro 3.5 apresentado abaixo.

Abaixo são apresentados os riscos ambientais ligados aos diferentes geoambientes presentes na área de trabalho.

- **Estável:** ligado ao solo arenoso e de areia quartzosa C1, em suas formas terraceadas. Os parâmetros geotécnicos são apropriados à construção civil, sem trabalhos prévios de infraestrutura, enquanto que a ação dos agentes dinâmicos é nula;

- **Alagamentos:** ligado ao solo hidromórfico de areia quartzosa C2 e ao solo orgânico. Ocorrem na forma de terraços e o nível freático é aflorante. O alagamento ocorre pela pluviosidade e pela elevação das marés;

- **Soterramento/erosão costeira:** ligados às dunas. O soterramento se deve a baixa coesão das areias que são remobilizadas e transportadas e acumuladas pelos ventos. A erosão costeira ocorre na zona frontal da duna frontal pelo trabalho das ondas e marés em regime de tempestade.

- **Alagamento, erosão, acumulação:** ligado às praias atuais pelo trabalho das ondas e marés oceânicas. Em função de seu nível de energia, remobilizam e redepositam as areias litorâneas, gerando áreas de erosão e acumulação. Em função da amplitude das marés, promovem alagamentos.

- **Deslizamentos e erosão geotécnica:** ligado às escarpas arenosas do solo arenoso, onde através de intervenções geotécnicas, tais como cortes verticais, promovem a movimentação do solo por processos gravitacionais e pluviais.

- **Recalque:** ligado ao terraço turfoso onde o solo fofo, que gera este geoambiente, sofre acomodação frente ao recebimento de uma carga.

Quadro 3.5. Riscos ambientais.

| GEOAMBIENTE | UGT | RISCO AMBIENTAL |
|-------------------------|-------------------|-------------------------------------|
| Terraço arenoso | Areia compacta | Estável |
| Escarpa arenosa | Rampa arenosa | Deslizamento, erosão geotécnica |
| Elevações dunárias | Rampas arenosas | Deslizamento, erosão, soterramento. |
| Terraço arenoso C1 | Areia compacta | Estável |
| Terraço arenoso C2 | Terraço alagadiço | Alagamento, soterramento |
| Terraço arenoso lagunar | Areia compacta | Estável |
| Terraço turfoso | Solo fofo | Recalque, Alagamento |
| Dunas | Areia móvel | Soterramento, erosão costeira |
| Lençóis de areia | Areia móvel | Soterramento |

3.5. COMENTÁRIOS

A área de estudo é composta por quatro tipos de terrenos. Quatro tipos de solos representados pelo solo arenoso, de areia quartzosa, solo hidromórfico de areia quartzosa, solo orgânico, além das dunas, que apresentam comportamentos geotécnicos distintos.

Da análise da morfologia e da posição do nível freático foram identificados dez geoambientes ligados aos solos e terrenos e que são listados a seguir: terraço arenoso, terraço arenoso C1, terraço arenoso lagunar, elevações dunárias, terraço alagadiço C2, terraço turfoso, elevações dunárias, lençóis de areia, praia e escarpa arenosa.

Dos parâmetros geotécnicos, foram consideradas a textura, permeabilidade, compactidade e coesão.

Da atividade dos agentes dinâmicos, representados pelos ventos, pluviosidade e marés e ainda dos riscos ambientais naturais e induzidos, tais como alagamentos, soterramento, recalque, deslizamento, e erosão, foi possível estabelecer as propriedades físicas dos diferentes geoambientes.

Os geoambientes estáveis compõem 4 unidades geotécnicas, ligadas ao solo arenoso e solo de areia quartzosa, associados, respectivamente, ao cordão C1 e ao terraço arenoso lagunar. Os parâmetros geotécnicos relacionados às características físicas desses geoambientes são compatíveis com o tipo de construção civil considerada no estudo realizado, referente a fundações rasas. Esses geoambientes ocorrem na forma de terraços aplainados com nível freático profundo e não estão submetidos à ação efetiva dos agentes dinâmicos atuantes na área.

Os terraços horizontalizados, ligados ao solo arenoso e hidromórfico não sofrem propensão a riscos ambientais e representam a maioria das áreas urbanizadas na área de estudo.

Por outro lado, o solo arenoso, hidromórfico C2, orgânico e as dunas mostram geoambientes que necessitam de trabalhos de infraestrutura para a implantação de obras civis.

O solo arenoso desenvolve ainda dois geoambientes, representados pela escarpa arenosa e as elevações dunárias, onde os riscos geológicos são induzidos pelas intervenções geotécnicas, que são de caráter local. A escarpa arenosa ligada ao solo arenoso, pela sua declividade, mostra propensão a deslizamentos e erosão de caráter local, quando sofre intervenção geotécnica do tipo corte vertical.

Da mesma forma, restrições são atribuídas a este solo quando da presença de morfologia ondulada, como é o caso das elevações dunárias. A

sua ocupação carece de obras de infraestrutura para que sejam evitados riscos de deslizamentos e soterramentos gerados para a preparação do terreno que receberá a obra civil. Nesses dois geoambientes, ligados ao solo arenoso e que mostram a necessidade de intervenções locais com obras de infraestrutura, apresenta ocupação por núcleos urbanos consolidados.

O solo hidromórfico, onde se desenvolve o terraço C2, representa um terreno baixo e por sua proximidade com o litoral é submetido a ação dos agentes dinâmicos. As marés e pluviosidade geram risco de alagamentos pela elevação do nível freático e baixa permeabilidade do solo. A ação dos ventos é também efetiva e no seu processo transportador recobre parcialmente o terraço, gerando risco de soterramento para a urbanização. Dessa forma, este geoambiente necessita da execução de obras de infraestrutura voltadas ao controle da oscilação do nível freático e da contenção do avanço das acumulações eólicas sobre o terreno. Apesar da implantação de loteamentos no terraço C2, não existem áreas urbanas consolidadas.

Por sua vez, o solo orgânico ligado à fácies lagunar holocênica, na forma de terraço turfoso, tem parâmetros geotécnicos que revelam solo fofo e impermeável em função de seus constituintes finos e orgânicos, e ainda pela posição aflorante do nível freático. Neste caso está sujeito a recalque quando da aplicação de uma carga, o que se traduz numa baixa capacidade de suporte. Ao mesmo tempo está sujeito a riscos de alagamentos devido à ação da pluviosidade e da maré, já que se trata de um geoambiente marginal ao complexo lagunar e com baixa altitude.

Essas características levam a necessidade de identificar camada com boa capacidade de suporte em subsuperfície, o que leva a instalação de fundação profunda, atividade essa de caráter local. Por outro lado a prevenção a alagamentos exige obras de caráter regional. Em vista dos problemas geotécnicos que afetam este solo orgânico, não existem áreas urbanas consolidadas implantadas no terraço turfoso.

As dunas, pela mobilidade dos sedimentos arenosos transportados pelos ventos, mesmo quando instaladas estruturas fixadoras na camada superficial, apresenta graves problemas geotécnicos e riscos geológicos.

Os problemas geotécnicos estão ligados à baixa compactidade do horizonte superficial e à falta de coesão dos grãos arenosos, o que se traduz em baixa capacidade de carga e um baixo índice de escavabilidade. Em função desses problemas geotécnicos ligados às dunas, se torna imperativa a investigação de subsuperfície no sentido de identificar camada coesa e com boa capacidade de suporte, o que leva a instalação de fundação profunda.

Ao mesmo tempo, o trabalho transportador dos ventos cria a propensão a riscos geológicos de soterramento e erosão. Devido a isso se torna necessário o monitoramento da ação erosiva e da acumulação eólica para a determinação do local a ser realizada a obra e o dimensionamento das fundações, atividade esta com caráter regional. A fundação deve ser alta o suficiente para manter aberto o corredor eólico e também, suficientemente profundas para que os processos de erosão não comprometam a integridade das estruturas instaladas.

Como agravante, existe o fato de que a duna frontal, muito requisitada para urbanização, tem sua face frontal sujeita à erosão costeira. O risco de erosão é ditado pelas ressecas que atuam com regularidade na costa catarinense, o que leva ao afastamento da área a ser urbanizada do litoral ou ainda à execução de obras de caráter local para a contenção dos processos erosivos.

Em vista dos problemas geotécnicos apresentados pela mobilidade dos sedimentos, regida pela ação dos agentes dinâmicos, e dos riscos geológicos decorrentes, as dunas e as elevações dunárias não mostram, para a área, ocupação urbana pontual ou consolidada. Por outro lado, como referido anteriormente, a duna frontal mostra a presença de núcleos urbanos consolidados, onde é observada a ação de processos erosivos de origem costeira, que afetam as estruturas instaladas nas bordas deste geoambiente.

PARTE 4
ESTUDO DA APTIDÃO FÍSICA

INTRODUÇÃO

O estudo comparativo entre os diferentes geoambientes que ocorrem na área mapeada, identificados no estudo geotécnico, está voltado à determinação dos níveis de adequação dos terrenos à implantação de obras civis. Neste caso a fundação deve ser rasa e implantada a profundidade de 1,20m, contados após o trabalho de decapeamento da camada superficial incoesa.

A determinação da aptidão física para cada um dos geoambientes leva em conta a execução de projetos de urbanização voltados à implantação de loteamentos, onde deverão ser construídos prédios residenciais unifamiliares térreos, em alvenaria. Esses prédios residenciais deverão ocupar **30% da área útil do terreno** para que a análise da favorabilidade a urbanização esteja isento da influência dos terrenos localizados nas laterais da área.

A obra civil, pelo porte da edificação, deverá ter sua fundação rasa (foto 4.1), projetada ou na forma de sapata em concreto armado, com área de 1m x 1m e fincada a uma profundidade de 1,20m ou na forma de cinta de concreto, com largura 1m e fincada também a uma profundidade de 1,20m.

Com base na necessidade de execução de obras de infraestrutura, para a execução da obra civil, foi estabelecida pontuação para qualquer operação de engenharia aplicada na preparação do terreno destinado à obra civil.

Aqui se consideram como trabalhos de infraestrutura para construção da fundação a necessidade da execução de obras destinadas a corrigir problemas geotécnicos ou evitar riscos ambientais. Dependendo do caso, são previstas obras tais como aterros, terraplenagem, cortes, estruturas de contenção, canais de drenagem superficial, compactação, bombeamento para o rebaixamento do nível freático e necessidade de revestimento para a manutenção da integridade das paredes da escavação para a instalação da fundação.

A aplicação da carga no solo em função do tipo de obra civil a ser implantada implica que a capacidade de suporte do terreno é adequada para manter a integridade da obra, restando corrigir os riscos ambientais.



Foto 4.1: Detalhe da funda o rasa em alvenaria construída em solo arenoso coeso.

Neste capítulo   dada importância a cinco elementos fundamentais para a execu o da obra e para a manuten o de sua integridade estrutural, que são:

- a) As propriedades geotécnicas do solo onde são analisadas a textura, permeabilidade, compactidade e coesão;
- b) A morfologia do terreno, que pode ser representada por terraços horizontalizados, ondulados ou escarpas;
- c) A posi o do nível freático, que pode variar de profundo a aflorante;
- d) A a o dos agentes dinâmicos que atuam no presente, ativados por agentes meteorológicos ou marinhos;
- e) A propensão a riscos ambientais geológicos e hidrológicos seja por causas naturais ou pelas interven es geotécnicas sobre o terreno.

A avalia o conjunta desses itens, juntamente com o estabelecimento da valora o, permite indicar o grau de favorabilidade   urbaniza o de cada geoambiente investigado.

Os resultados da avaliação são apresentados na forma de tabelas e carta, onde são apresentadas as áreas com diferentes graus de favorabilidade à urbanização. Os valores numéricos referentes à pontuação atribuída são decrescentes, na medida em que o número de operações diminui. Então, pode-se considerar que os menores valores numéricos estão ligados aos geoambientes que apresentam maior aptidão à urbanização.

No quadro geral de avaliação e valoração da aptidão física dos diferentes geoambientes mapeados, os parâmetros geotécnicos, os agentes dinâmicos atuantes e os riscos ambientais têm pesos diferentes. Esse procedimento se justifica, já que as operações necessárias para preparação do terreno que vai receber a obra civil levam em conta **fatores locais**, determinados pelos parâmetros e intervenções geotécnicas, e **fatores regionais**, onde se instalam os riscos ambientais naturais e ainda, monitoramento e manutenção, decorrentes da ação dos agentes dinâmicos.

O tipo de fundação para a obra a ser construída, considerada leve, assim como os trabalhos prévios de infraestrutura para a sua instalação, serão determinados através da caracterização e integração dos parâmetros geotécnicos identificados nos diferentes **tipos de solos** presentes na área estudada.

Já os riscos ambientais a que estão sujeitos os diferentes geoambientes, serão determinados a partir da morfologia e posição do nível freático, das propriedades geotécnicas do solo, além da identificação dos agentes dinâmicos atuantes na área. Atenção deve ser dada também aos problemas geotécnicos decorrentes da preparação do terreno que vai receber a obra civil.

Na valoração, portanto, são levadas em conta as características geotécnicas dos solos que representam os diferentes geoambientes e os impactos causados por eventos ambientais, decorrentes da ação dos agentes dinâmicos que atuam na área ou ainda de intervenções geotécnicas sobre o terreno.

No caso dos problemas ligados às características geotécnicas que afetam diretamente a fundação, são considerados apenas **fatores locais**, ligados ao pátio da obra, ou seja, no local da construção. Nesse caso as operações de infraestrutura são menos onerosas, o que confere uma pontuação menor no quadro geral de avaliação da aptidão física do terreno.

No caso dos riscos ambientais ligados à ação dos agentes dinâmicos que têm **caráter regional** e que, em alguns casos, carecem de monitoramento e manutenção, as operações a serem executadas são mais onerosas. Os trabalhos de infraestrutura incluem o terreno como um todo, vindo a conferir uma pontuação maior na valoração do terreno.

Dessa forma, dependendo do geoambiente a ser trabalhado, diferentes números de operações deverão ser executadas, o que deverá se traduzir em diferentes valorações para cada um deles. Foram aferidos diferentes pesos na valoração do geoambiente, considerando problemas de influência local ou regional. Os problemas geotécnicos de caráter local e que envolvem as características físicas do solo, levam peso menor do que os riscos ambientais decorrentes da ação dos agentes dinâmicos, que atuam em escala regional.

4.1. VALORAÇÃO DOS PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

Os geoambientes podem ser adequados, apresentar restrições ou até serem impróprios para a urbanização em função da ocorrência de problemas geotécnicos ou risco ambiental, com base na ação dos agentes dinâmicos ou intervenções geotécnicas locais.

Os geoambientes identificados e caracterizados na área de estudo mostraram, de uma maneira geral, que os problemas geotécnicos a serem considerados em projetos de engenharia civil estão ligados a vários fatores. O tipo do solo, a morfologia do terreno, a posição e variação do nível freático que, associado à ação de agentes dinâmicos, podem gerar áreas com propensão a riscos ambientais.

Para o caso de se considerar as características geotécnicas do solo, na valoração, a pontuação se dá em função da necessidade de execução de trabalhos de infraestrutura no local da implantação da fundação rasa. Nesses casos, para a efetivação das obras de infraestrutura, há a necessidade de realização de número de operações que no seu conjunto deverão atribuir a pontuação ao geoambiente.

Neste trabalho foram analisados quatro parâmetros geotécnicos, que são a textura, permeabilidade, compacidade e coesão, que caracterizam os diferentes solos que compõem a área estudada. Da morfologia do terreno e da posição do nível freático foram determinados os geoambientes, que permitem a valoração da aptidão física à urbanização.

Na valoração da aptidão física dos geoambientes para a instalação da fundação são considerados os parâmetros geotécnicos que têm influência local, ou seja, no ponto de construção da fundação. Assim, para a execução das fundações são adotados procedimentos locais, tais como cortes, aterros, muros de contenção, drenagem e escoramentos.

Por isso tais procedimentos são menos onerosos em comparação com a mitigação e anulação dos riscos ambientais relacionados à ação dos agentes dinâmicos, que tem caráter regional e afetam o terreno. Dessa forma, o conjunto de parâmetros geotécnicos, por sua influência local, recebem **peso 1** na avaliação e valoração do geoambiente.

4.1.1. Valoração dos geoambientes pela morfologia

O estudo da morfologia do terreno, apresentado no mapa geomorfológico do anexo 2 é importante para a implantação da obra, pois para esse fim, o terreno deve ser plano horizontalizado. Quando o terreno

não atende a essas condições deverão ser executados trabalhos de infraestrutura, evitando riscos ambientais.

Na avaliação dos terrenos são encontrados três tipos morfológicos de terraços, considerados abaixo, com valoração apresentada na tabela 4.1.

- **Plano horizontal (HO):** representa a forma mais adequada à construção já que não necessita de trabalhos preliminares para sua adequação à implantação de obras civis. Essas características são apresentadas pelos terraços praias marinhos, lençóis de areia e terraços lagunares;

- **Ondulado (ON):** apresenta restrições já que, na preparação do terreno, é necessária a execução de taludes de corte nas áreas de encosta e aterro nas áreas depressivas. Nesses casos deverão ser realizados trabalhos de terraplenagem, compactação e construção de muro de contenção. Esse tipo morfológico é encontrado nas elevações dunárias, tanto pleistocênicas quanto holocênicas;

- **Escarpa (ES):** também representa uma feição com restrições já que também exige, nos trabalhos de preparação do terreno, a execução de taludes de corte verticais e horizontais. Para isso deverão ser executados terraplenagem, nivelamento, compactação e muros de contenção. Esse tipo morfológico é encontrado nas bordas dos terraços praias marinhos e eólicos pleistocênicos, ligados ao solo arenoso, e que apresentam declividade maior que nas encostas do relevo ondulado.

Neste tipo de relevo, algumas vezes, pode ser mantida a morfologia do terreno, com sua declividade original, dimensionando apenas o comprimento dos pilares da fundação, procedimento esse estruturalmente correto, porém mais oneroso e pouco utilizado em obras civis na região.

Tabela 4.1. Valoração do geoambiente pela morfologia.

| Tipo | Pontuação | Obras |
|-------------------------|------------------|---------------------|
| Plano-horizantal | 0 | Não necessita obras |
| Ondulado | 4 | AT, TR, CP, MC |
| Escarpa | 5 | CO, NV, TR, CP, MC |

AT: aterro; **CO:** corte; **NV:** nivelamento; **TR:** terraplenagem; **CP:** compactação; **MC:** muro de contenção.

4.1.2. Valoração do geoambiente pelo nível freático

A posição do nível freático, junto ao entendimento de sua variação, permite que a obra seja instalada de tal forma que permaneça sempre em terreno acima da zona saturada, o que evita a possibilidade de alagamentos e problemas coesivos.

Para efeito da influência direta desse parâmetro físico se considera que o nível freático deva se situar a profundidade maior que 1,5m, já que a escavação para a instalação da fundação rasa será sempre limitada a profundidade de 1,20m. Aqui se faz referência a três posições do nível freático, com valoração apresentada na tabela 4.2.

- **Profundo (PR):** Quando a posição do nível freático se situa a profundidades maiores que 2,5m. Nesse caso a profundidade do perfil vertical de interesse para a instalação da obra estará sempre acima da zona saturada, já que a maré não atinge 1,5m, dependendo tão somente da velocidade de infiltração da água superficial gerada pela pluviosidade. Como nessa posição do nível freático o solo se encontra permanentemente seco, não há necessidade de execução de obras de infraestrutura. Essa posição do nível freático pode ser observada nas elevações dunárias e nos terraços ligados ao solo arenoso e também no terraço arenoso C1.

- **Subaflorante (SA):** Nesse caso a cota do terreno, entre 1,5 e 2,5m, está situada acima da zona saturada. A variação da posição do nível freático depende da oscilação da maré lagunar ou oceânica, aliada a volumosa pluviosidade. Com a atuação desses agentes dinâmicos a zona saturada é transferida em direção a superfície do terreno, o que pode influenciar na qualidade da escavabilidade, já que o índice de coesão é diminuído. Para que o solo permaneça acima da zona saturada, mesmo em condições pluviométricas e de marés excepcionais, deverão ser executados aterros, terraplenagem e compactação e canais de drenagem.

- **Aflorante (AF):** Aqui a cota do terreno está situada entre 1,5 e 00m, dentro da zona saturada, que se estende até a superfície e o solo por vezes se torna alagado. Depende da textura e da oscilação do nível da maré e do volume de pluviosidade. A subida do nível da maré lagunar ou oceânica, aliada à volumosa pluviosidade, promoverá alagamento do terreno e problemas de coesão. Na preparação do terreno há a necessidade de aterro. Nesse caso deverão ser executados trabalhos de terraplenagem, compactação, muro de contenção e canais de drenagem. O nível freático aflorante é observado em terraços baixos, de origem lagunar e praial

marinho do Holoceno, ligados ao terraço lagunar ligado ao solo orgânico e solo hidromórfico C2, que se situam em cotas inferiores a 1,5m.

Tabela 4.2. Valoração do geoambiente pela posição do nível freático.

| Tipo | Pontuação | Obras |
|---------------------|------------------|---------------------|
| Profundo | 0 | Não necessita obras |
| Subaflorante | 3 | AT, CP, TR, DR |
| Aflorante | 5 | AT, CP, TR, MC, DR |

AT: Aterro; **CP:** compactação; **TR:** terraplenagem; **MC:** muro de contenção; **DR:** drenagem.

4.1.3. Características geotécnicas do solo

Neste item é dada importância às características geotécnicas do solo, tais como a textura, permeabilidade, compactidade e coesão, que têm influência local.

4.1.3.1. Valoração do geoambiente pela textura e constituintes

A textura, com mapa textural apresentado no anexo 4, refere-se a proporção de cascalho/pedregulho - areia - silte - argila, utilizando aqui as escalas granulométricas de Wentworth (1922) e Atterberg (1937). Nota-se que os resultados obtidos na análise granulométrica, pelos seus valores, se enquadram em ambas as escalas granulométricas.

Os sedimentos terrígenos e a matéria orgânica (MO) presentes no solo foram identificados, respectivamente, pelas análises granulométricas e queima em forno, realizados no estudo geológico.

As diferentes classes de tamanhos de grãos ou a mistura deles confere aos solos diferentes índices de permeabilidade, compactidade e coesão, e que se refletem tanto na propensão a problemas geotécnicos, riscos ambientais e quanto na sua capacidade de suporte.

Dependendo de suas características granulométricas, os solos podem ser rígidos e adequados ao uso. No entanto, os solos podem ser plásticos e elásticos, não sendo adequados ao recebimento de carga, já que sofrem

recalque. Podem ainda, em função da permeabilidade, ser estáveis ou propensos a alagamentos.

Na área de estudo são identificados os solos constituídos de areia com argila, de areia quartzosa e os solos orgânicos, com constituição turfosa, com respectiva valoração apresentada na tabela 4.3.

- **Areia quartzosa (AR):** Essa granulometria, quando fina e associada a um bom selecionamento, confere ao solo um bom nível de permeabilidade e compactação. O solo que apresenta essa textura mostra boa permeabilidade, são rígidos e, em função da posição do nível freático, isentos de riscos de alagamentos. Quando o horizonte superficial sofre influência do transporte eólico ou quando se situa no interior da camada saturada, o horizonte B pode se tornar incoeso. Essa textura está associada ao solo arenoso, de areia quartzosa, solo hidromórfico de areia quartzosa e as dunas.

- **Areno-argiloso (AA):** Os solos que desenvolvem essa textura têm redução no índice de permeabilidade pela diminuição porosidade, o que pode levar a riscos de alagamentos em função da pluviosidade. A compactação se mantém alta e com bom índice de coesão, o que confere a esses solos boa capacidade de suporte e boa escavabilidade. Essa textura está associada ao solo arenoso.

- **Matéria orgânica (MO):** Esse constituinte dos sedimentos, ligado a decomposição vegetal, sofre constantes reações químicas que se reflete no acomodamento da camada do solo. Com isso, sofre problemas no parâmetro geotécnico ligado a compactação, que gera solo fofo. Por essa razão o solo sofre recalque ao recebimento de uma carga, o que confere a ele uma baixa capacidade de suporte. A matéria orgânica é constituinte do solo orgânico, ligado aos terraços turfosos de ambiente lagunar.

Tabela 4.3. Valoração do geoambiente pela textura e constituintes.

| Tipo | Pontuação | Obras |
|-------------------------|------------------|---------------------|
| Areia quartzosa | 0 | Não necessita obras |
| Areno-argiloso | 0 | Não necessita obras |
| Matéria orgânica | 5 | CO, AT, TR, CP, DR |

CO: confinamento; **AT:** aterro; **TR:** terraplenagem; **CP:** compactação; **DR:** drenagem.

4.1.3.2. Valoração do geoambiente pela permeabilidade

A permeabilidade, mostrada no mapa do anexo5, é um parâmetro que trata da velocidade de escoamento das águas de infiltração no solo. Analisa a possibilidade de retenção de água no solo, podendo transferir a zona saturada para a camada superficial, como no caso do nível freático aflorante, com possibilidade de ocorrência de alagamentos.

Dependendo da granulometria, da posição do nível freático e da compacidade, os solos podem ser de alta permeabilidade, no caso de sedimentos grosseiros, pedregosos ou de areia média a grossa, onde a capacidade de infiltração da água superficial é alta em função da alta porosidade. Essa propriedade inibe a formação de alagamentos e a saturação do solo por efeito da pluviosidade. Nesses solos não há necessidade de trabalhos de infraestrutura para a instalação da obra.

Os solos constituídos de areia fina e aqueles com areia fina em mistura com argila, que se encontram acima da zona saturada, têm seus poros diminuídos e, com isso, a infiltração é mais lenta, o que se traduz em permeabilidade moderada, fazendo com que a camada de solo permaneça por mais tempo saturada ou ainda, possa sofrer alagamento. O comportamento da infiltração nesse tipo de terreno ocorre devido à regularidade das chuvas ao longo das estações do ano, em alguns casos com alto índice de pluviosidade, onde a taxa de infiltração é menor que o volume de água recebido. Para receber a obra civil deve ser executado no terreno canais de drenagem para o escoamento das águas superficiais.

Em terrenos baixos, onde o solo com areia fina se encontra no interior da zona saturada devido a proximidade do nível freático com a superfície, a permeabilidade é baixa e tanto a pluviosidade quanto a elevação da maré promovem alagamentos. Nesse caso também são necessários trabalhos de

infraestrutura voltados à elevação da cota do terreno e drenagem das águas superficiais para receber a obra civil. Para isso deverá ser feito aterro, compactação, terraplenagem e construção de canais de drenagem.

Os terrenos baixos com nível freático aflorante pela ação da pluviosidade e da maré, constituídos de argila ou turfa, formam solos impermeáveis. Aqui os alagamentos são frequentes por falta de escoamento das águas superficiais.

Dessa forma, em função da velocidade de infiltração de água nos solos são considerados quatro graus de permeabilidade, expostos abaixo e com valoração apresentada na tabela 4.4.

- **Alta (AL):** Sem retenção de água de infiltração em função dos altos índices de vazios, gerando um pacote de alta porosidade desde que se encontre fora da zona de saturação. Não necessita execução de obras de infraestrutura. A alta permeabilidade está associada às dunas ativas.

- **Moderada (MO):** Solo de areia fina, podendo conter argila, com possibilidade de retenção de água e alagamento em condição de volumosa pluviosidade, em função da redução do índice de vazios, podendo gerar áreas alagadas por curtos períodos. Não necessita execução de obras de infraestrutura. Os terrenos de permeabilidade moderada estão associados ao solo arenoso e ao solo de areia quartzosa ligado ao cordão litorâneo C1.

- **Baixa (BX):** Apresenta alta propensão a retenção de água superficial, com a zona saturada localizada no horizonte superficial. Formam alagamentos em condição de pluviosidade normal pelo baixo índice de vazios, ditado pela posição da zona saturada. Necessita material de aterro, terraplenagem, compactação e execução de canais de drenagem para o escoamento da água superficial. Os terrenos de baixa permeabilidade estão associados ao solo hidromórfico, ligado ao cordão litorâneo C2.

- **Impermeável (IP):** Quando após a realização do teste de infiltração por um período de 120 minutos não há rebaixamento da coluna de água. Ocorre pela ausência de porosidade, com o nível freático aflorante e onde a zona saturada atinge a cota do terreno o que favorece a propensão à alagamento. Necessita de aterro, terraplenagem, compactação, execução de canais de drenagem e/ou bombeamento para o escoamento da água superficial. É observado no solo orgânico.

Tabela 4.4. Valoração do geoambiente pela permeabilidade.

| Tipo | Pontuação | Obras |
|--------------------|------------------|---------------------|
| Alta | 0 | Não necessita obras |
| Moderada | 0 | Não necessita obras |
| Baixa | 4 | AT, TR, CP, DR |
| Impermeável | 5 | AT, TR, CP, DR, BM |

AT: aterro; TR: terraplenagem; CP: compactação; DR: drenagem; BM: bombeamento.

4.1.3.3. Valoração do geoambiente pela coesão

A coesão é um parâmetro geotécnico que influencia a escavabilidade do solo para a implantação da fundação e também no transporte eólico, onde a areia tem baixa tensão de cisalhamento. Dependendo da textura do solo e do teor de umidade, na execução de uma escavação suas paredes podem permanecer com sua estrutura estável ou necessitar de revestimento quando mostra propensão a desmoronamento. Em terrenos onde se faz presente o transporte eólico, a energia do vento atinge a tensão de cisalhamento da areia, promovendo sua movimentação lateral, levando à necessidade de confinamento da areia superficial, susceptível a movimentação. A coesão é referida as três categorias relacionadas abaixo, com valoração apresentada na tabela 4.5.

- **Alta (AL):** Solo coeso que mantém íntegra a sua estrutura durante a escavação, sem necessidade da instalação de revestimento para a manutenção da estabilidade das paredes da escavação. A alta coesão está associada ao solo arenoso e de areia quartzosa ligado ao cordão litorâneo C1.

- **Média (ME):** Na escavação o solo mostra propensão a desmoronamento por saturação em umidade, como no caso dos solos hidromórficos com nível freático aflorante. O excesso de umidade diminui o índice de coesão entre os grãos e demanda a instalação de revestimento para a escavação. Esse tipo de coesão é encontrado em solos argilosos saturados.

- **Baixa (BX):** O solo não apresenta escavabilidade, como no caso das areias dunárias secas ou naqueles solos hidromórficos, onde a escavação

atinge o nível freático. Nesses terrenos deve-se proceder a instalação de revestimento na escavação.

Nas dunas, a energia do vento permite a movimentação lateral da areia sem coesão, exigindo a instalação de uma cinta de proteção envolvente para obter o confinamento de areia na superfície do terreno.

Nos solos situados na zona saturada se torna necessário o rebaixamento do nível freático, através de bombeamento das águas e a instalação de canais de drenagem.

Tabela 4.5. Valoração geoambiente pela coesão.

| Tipo | Pontuação | Obras |
|--------------|------------------|---------------------|
| Alta | 0 | Não necessita obras |
| Média | 1 | RV. |
| Baixa | 4 | RV, BM, MC, ES |

RV: revestimento para a escavação; **BM:** bombeamento da água, **MC:** muro de contenção. **ES:** estrutura de contenção.

4.1.3.4. Valoração do geoambiente pela compacidade

A compacidade é uma característica física que informa sobre a resposta do solo ao receber uma carga, o que vem a se traduzir na capacidade de carga do terreno.

Os solos arenosos apresentam alto grau de compacidade, enquanto os argilosos são deformáveis ao recebimento de uma carga.

Com relação a este parâmetro geotécnico pode-se considerar os solos como sendo do tipo compacto, mediano ou fofo, conforme expresso abaixo, com valoração apresentada na tabela 4.6.

- **Compacto (CO):** Apresenta pequeno volume de vazios e com isso não sofre acomodação da camada quando do recebimento de uma carga. Esta propriedade está ligada ao solo arenoso, ao solo de areia quartzosa C1 e hidromórfico C2. Não necessita obras.

- **Mediano (MD):** Quando a camada superficial é fofo, passando a compacta na camada interna por efeito do incremento da umidade no interior da camada. Necessita escavação profunda para atingir a camada compacta.

- **Fofo (FO):** Quando recebe uma carga sofre recalque. Neste caso deve-se proceder ao adensamento para a compactação do solo ou executar uma escavação profunda para a identificação de camada compacta em subsuperfície. Neste tipo de solo deve-se proceder a execução de aterro, terraplenagem, compactação e drenagem, quando a zona saturada for superficial. De outra forma, deve-se identificar em subsuperfície o horizonte compacto. Nesse caso deverá ser implantada fundação profunda, o que tornará o solo impróprio para urbanização. O solo orgânico e as dunas apresentam essas características geotécnicas.

Tabela 4.6. Valoração do geoambiente pela compacidade.

| TIPO | PONTUAÇÃO | OBRAS |
|-----------------|------------------|---------------------|
| Compacto | 0 | Não necessita obras |
| Mediano | 0 | Não necessita obras |
| Fofo | 4 | CO, AT, CP, TR |

CO: confinamento; **AT:** aterro; **CP:** compactação; **TR:** terraplenagem.

4.2. VALORAÇÃO DOS AGENTES DINÂMICOS

Os agentes meteorológicos e os oceanográficos atuam sobre os geoambientes, podendo causar riscos ambientais do tipo hidrológico e geológico. Esses processos dinâmicos atuais levam à necessidade de execução de trabalhos de infraestrutura, além do monitoramento de suas ações e trabalhos de manutenção sobre o terreno e nas estruturas instaladas.

Esses agentes atuam sobre os geoambientes em escala regional, provocando impactos em função do risco ambiental. Dessa forma a valoração se dá através do valor do impacto gerado pelo risco ambiental e ainda pelos trabalhos de monitoramento e manutenção, cada um contando 1 ponto..

Na valoração dos agentes dinâmicos atuantes no presente, apresentada na tabela 4.7, que podem causar riscos de alagamentos, deslizamentos, erosão, soterramentos, se consideram também atividades de monitoramento e manutenção. Dessa forma, por ter abrangência regional, já que atua no terreno e não apenas no pátio da obra esses parâmetros tem **peso 3 na valoração**.

4.2.1. Agentes meteorológicos

Os agentes meteorológicos que atuam sobre os geoambientes da planície costeira são a pluviosidade e os ventos, responsáveis pela elevação do nível das águas que pode gerar alagamentos e ainda, no caso dos ventos, promovendo o transporte e deposição dos sedimentos, o que pode gerar risco de soterramentos e erosão.

4.2.1.1. Pluviosidade (PL)

A pluviosidade que atua com regularidade ao longo de um ciclo anual, já que não se constata na região uma estação seca, pode causar risco de alagamento em geoambientes de baixa permeabilidade ou onde o nível freático é aflorante. Nesse caso devem ser realizados trabalhos de infraestrutura para a elevação do nível do terreno, que deverá ter sua cota acima da zona saturada ou proceder ao rebaixamento do nível freático.

Essa condição é observada nos terrenos baixos, ligados aos solos hidromórficos C2 e orgânico.

4.2.1.2. Ventos (VE)

Os ventos, sobretudo aqueles oriundos do quadrante norte, atuam com regularidade ao longo de um ciclo anual. Em seu processo de transporte sedimentar pode levar a risco de erosão e soterramento de edificações instaladas ao longo do corredor eólico. Dessa forma se faz necessário o monitoramento de sua incidência e nível de energia para o transporte de sedimentos ao longo do tempo. Com isso é possível a correta locação da obra e ainda projetar os trabalhos de manutenção necessários para impedir o avanço da erosão e o crescimento da acumulação sedimentar na área edificada.

Nos corredores eólicos a serem urbanizados deverá ser dada atenção ao confinamento das areias para evitar o transporte lateral, com a instalação de muros de proteção e plantio de vegetação fixadora. Os solos afetados pela atividade eólica são as próprias dunas e os solos localizados a sotavento destas.

Já os ventos do quadrante sul, que elevam as marés lagunares e oceânicas, contribuem com alagamentos nos terraços lagunares e erosão costeira, quando as marés atacam a borda da duna frontal.

4.2.2. Agentes oceanográficos

O trabalho conjugado das marés, ondas e correntes litorâneas, que provocam as ressacas, atacam a praia e a duna frontal, promovendo a erosão costeira, enquanto que a elevação da maré atua no interior dos horizontes dos solos, fazendo com que o nível freático se eleve, podendo gerar alagamentos.

Com relação à possibilidade de erosão costeira, se faz necessário o monitoramento ao longo de pelo menos um ciclo anual de atuação dos agentes dinâmicos, tais como a incidência das ondas, sentido do deslocamento das correntes litorâneas e amplitude de variação das marés. Esse tipo de monitoramento permitirá o estabelecimento da locação da área a ser edificada, com o devido afastamento do litoral e ainda projetar as dimensões das estruturas de proteção ao ataque erosivo. Com relação a isso, considera-se, que pelo avanço do processo erosivo, os projetos devem obedecer a um recuo da linha de costa a ser determinado através do monitoramento.

Devido à possibilidade de alagamentos, também por influências das marés, deve ser dada atenção aos terraços baixos, onde o nível freático é

aflorante, tais como os terraços lagunares e os cordões litorâneos situados a cotas inferiores a 1,5m.

Em relação às praias, o agente dinâmico pode, através de processos de erosão, transporte e deposição, causar modificações profundas em seu perfil.

Então, na valoração dos agentes dinâmicos apresentada na tabela 4.7 é levada em conta, além dos riscos ambientais potenciais e também da necessidade de monitoramento da ação do agente dinâmico atuante, a necessidade de trabalhos de manutenção em resposta à ação desses agentes sobre o terreno e sobre as estruturas nele implantadas.

Tabela 4.7. Valoração dos agentes dinâmicos.

| Tipo | Risco ambiental | Pontuação |
|----------------------|---------------------------------|------------------|
| Pluviosidade | Alagamento | 6 |
| Pluviosidade | Deslizamento, erosão geotécnica | 2 |
| Ventos | Soterramento | 9 |
| Marés | Alagamento | 4 |
| Marés e Ondas | Erosão costeira | 6 |

4.3. VALORAÇÃO DOS RISCOS AMBIENTAIS

Na valoração dos riscos ambientais, além dos impactos, são consideradas também as obras necessárias para mitigar ou anular os riscos impostos, seja pela ação dos agentes dinâmicos atuantes ou pelas intervenções geotécnicas para a implantação do empreendimento, o que cria um risco geológico induzido.

Os riscos ambientais naturais, que por terem abrangência regional, afetam o terreno por inteiro e por isso envolvem procedimentos mais onerosos, incluindo atividades como aterros, terraplenagem, compactação, muros de contenção, drenagem e fixação do solo.

Na valoração se considera a extensão, duração e periodicidade do impacto. Em função disso, as operações necessárias para anular os riscos ambientais recebem **peso 3** da avaliação, já que contemplam a totalidade do terreno, e os riscos induzido sobre o pátio da obra que recebem peso 1.

o que corresponde a aproximadamente 3 vezes a valoração dos parâmetros geotécnicos.

4.3.1. Caracterização dos impactos

Na avaliação dos impactos decorrentes da ação dos agentes dinâmicos e das intervenções geotécnicas que geram os riscos ambientais, foram consideradas a extensão, a periodicidade e a duração da ação dos agentes dinâmicos. A valoração dos índices ligados aos impactos obedece a uma ordem aritmética, onde os de maiores magnitudes assumem uma pontuação maior.

A **extensão (E)** diz respeito à abrangência do impacto, que pode ser regional, como no caso dos alagamentos, ou local, como no caso da erosão geotécnica. A extensão pode ser subdividida em três categorias, com valoração apresentada na tabela 4.8:

- **Alta (A):** Quando apresenta grande ação impactante, de caráter regional, como é o caso dos alagamentos e soterramentos causados tanto pela ação das águas, quanto do vento, e que exigem monitoramento e manutenção.

- **Média (M):** Quando a ação impactante é grande, porém localizada. Tal é o caso da erosão costeira, onde se protege os limites do pátio da obra,

que além dos trabalhos de infraestrutura, exige também monitoramento e manutenção das obras realizadas.

- **Baixa (B):** Quando a ação impactante é pequena e de caráter localizado. Aqui podem ser relacionados deslizamentos e erosão, gerados por intervenções geotécnicas tais como cortes.

Tabela 4.8. Valoração pela extensão do impacto.

| Tipo | Risco ambiental | Pontuação |
|--------------|---------------------------------|------------------|
| Alta | Alagamento, soterramento | 3 |
| Média | Erosão costeira | 2 |
| Baixa | Deslizamento, erosão geotécnica | 1 |

A **duração (D):** Refere-se ao tempo de ação contínua do impacto e que pode ter caráter regional ou local, apresentando duas subdivisões descritas abaixo, com valoração apresentada na tabela 4.9.

- **Longa (L):** Quando a ação do agente dinâmico atua por um período medido em dias. Aqui podem ser relacionadas tanto a pluviosidade como os agentes oceanográficos, quando causam alagamentos e erosão costeira. O trabalho do vento responsável pelo transporte e deposição das areias, podendo causar soterramento, se insere nesta categoria.

- **Curta (C):** Quando a ação é momentânea, vindo a gerar o impacto. Tal é o caso das intervenções geotécnicas que geram deslizamentos e erosão.

Tabela 4.9. Valoração pela duração do impacto.

| Tipo | Risco ambiental | Pontuação |
|--------------|--|------------------|
| Longa | Alagamento, soterramento, erosão costeira, | 2 |
| Curta | Deslizamento, erosão costeira | 1 |

A **periodicidade (P)**, que trata da regularidade da repetição da ação dos agentes atuantes, considera três níveis descritos abaixo e valoração apresentada na tabela 4.10.

- **Alta (A):** Quando a ação se repete em uma escala semanal, como no caso da ação dos ventos e da pluviosidade, considerando seus valores médios, que podem gerar soterramento e alagamento.

- **Baixa (B):** Quando a ação se repete de uma forma irregular, como no caso da erosão costeira, gerada pela ação conjunta dos agentes meteorológicos e oceanográficos, que causam a ocorrência de ressaca.

- **Nulo (N):** Quando a ação não se repete no tempo, como no caso das intervenções geotécnicas que geram erosão ou deslizamento.

Tabela 4.10. Valoração pela periodicidade do impacto.

| Tipo | Risco ambiental | Pontuação |
|--------------|---------------------------------|------------------|
| Alta | Alagamento, soterramento | 3 |
| Baixa | Erosão costeira | 1 |
| Nula | Deslizamento, erosão geotécnica | 0 |

4.3.2. Valoração do tipo de impacto pelo risco ambiental

O tipo de risco ambiental tem avaliação apresentada abaixo e leva em consideração a extensão, duração e periodicidade.

- **Soterramento:** Causado pela atuação do vento sobre as dunas que, devido à alta extensão, curta duração e alta periodicidade, gera a necessidade de trabalhos de manutenção para a retirada da areia acumulada. Por isso o impacto é considerado alto (tabela 4.11). Pontuação: 7.

Tabela 4.11. Valoração do tipo de impacto pelo risco ambiental – soterramento.

| Tipo | Classificação | Pontuação |
|----------------------|----------------------|------------------|
| Extensão | Alta | 3 |
| Duração | Curta | 1 |
| Periodicidade | Alta | 3 |
| Total | | 7 |

- **Deslizamento:** Causado por corte ou supressão da vegetação nas bordas dos terraços, levando à necessidade de execução de obras de contenção de talude. A extensão é baixa, a duração é curta e a periodicidade pode ser considerada nula. Por isso o impacto é considerado baixo (tabela 4.12). Pontuação: 2.

Tabela 4.12. Valoração do tipo de impacto pelo risco ambiental – deslizamento.

| Tipo | Classificação | Pontuação |
|----------------------|----------------------|------------------|
| Extensão | Baixa | 1 |
| Duração | Curta | 1 |
| Periodicidade | Nula | 0 |
| Total | | 2 |

- **Alagamento:** Causado por elevação do nível freático ou pela baixa permeabilidade dos terraços arenosos, orgânicos e argilosos, levando à

necessidade de aterramento e execução de drenagem. A extensão é alta, a duração é longa e a periodicidade é baixa. Por isso o impacto é considerado alto (tabela 4.13). Pontuação: 6.

Tabela 4.13. Valoração do tipo de impacto pelo risco ambiental – alagamento.

| Tipo | Classificação | Pontuação |
|----------------------|----------------------|------------------|
| Extensão | Alta | 3 |
| Duração | Longa | 2 |
| Periodicidade | Baixa | 1 |
| Total | | 6 |

- **Erosão costeira:** Causada pelas ressacas, atacando a borda dos depósitos litorâneos que devem ser protegidos com a instalação de muro de contenção. A extensão é alta, a duração é curta e a periodicidade é baixa. Por isso o impacto é considerado alto (tabela 4.14). Pontuação: 5.

Tabela 4.14. Valoração do tipo de impacto pelo risco ambiental – erosão costeira.

| Tipo | Classificação | Pontuação |
|----------------------|----------------------|------------------|
| Extensão | Alta | 3 |
| Duração | Curta | 1 |
| Periodicidade | Baixa | 1 |
| Total | | 5 |

- **Erosão geotécnica:** Causada pelos cortes ou supressão da vegetação das escarpas. A extensão é baixa, a duração é curta e a periodicidade é nula (tabela 4.15). Pontuação: 2.

Tabela 4.15. Valoração do tipo de impacto pelo risco ambiental – erosão geotécnica.

| Tipo | Classificação | Pontuação |
|----------------------|----------------------|------------------|
| Extensão | Baixa | 1 |
| Duração | Curta | 1 |
| Periodicidade | Nula | 0 |
| Total | | 2 |

A síntese da valoração dos riscos ambientais é apresentada na tabela 4.16, que mostra o tipo de risco ambiental e o respectivo impacto, considerando a extensão, duração, periodicidade, a abrangência, se local ou regional, e as obras necessárias para a preparação do terreno que receberá a obra civil.

Tabela 4.16. Valoração dos riscos ambientais.

| Tipo | Impacto | Peso | Pontuação | Obras |
|-------------------------------|----------------|-------------|------------------|--------------------|
| Soterramento (SO) | 7 | 3 | 21 | MC, ES, MO, MA |
| Alagamento (AL) | 6 | 3 | 18 | AT, CD, TR, CP, MC |
| Erosão costeira (EC) | 5 | 1 | 5 | MC, MO, MA |
| Deslizamento (DS) | 2 | 1 | 2 | TR, MC, CD |
| Erosão geotécnica (EG) | 2 | 1 | 2 | TR, MC, CD |

MC: muro de contenção; **ES:** estrutura de fixação do solo; **AT:** aterro; **CP:** compactação; **CD:** canal de drenagem; **TR:** terraceamento; **RT:** retaludamento; **MO:** monitoramento; **MA:** manutenção.

4.4. ESTABELECIMENTO DAS UNIDADES DE FAVORABILIDADE À URBANIZAÇÃO

Em função dos problemas geotécnicos, da ação dos agentes dinâmicos e da possibilidade de ocorrência de eventos que podem gerar riscos ambientais, foram criadas unidades de favorabilidade à urbanização, tendo como base a classificação proposta por Krebs (1994), aplicada a terrenos magmáticos e sedimentares do Mesozoico.

Essas unidades têm sua valoração definida pelo número de operações necessárias para a execução dos trabalhos de infraestrutura em cada geoambiente identificado na área.

4.4.1. Áreas adequadas (AD)

São aquelas em que o geoambiente se encontra naturalmente preparado para receber a obra, sem a necessidade da execução de trabalhos de infraestrutura para a implantação do projeto, já que não existem problemas geotécnicos, ação de agentes dinâmicos e riscos ambientais.

4.4.2. Áreas com restrições moderadas (RM)

Nesta categoria se enquadram os geoambientes que apresentam problemas geotécnicos locais em função das características do solo, mas que, no entanto, não são sujeitos a riscos ambientais, nem à ação dos agentes dinâmicos.

4.4.3. Áreas com restrições sérias (RS)

As áreas são classificadas com restrições sérias quando o meio físico não está preparado para receber a obra sem a execução prévia de trabalhos de infraestrutura, já que, além de apresentar problemas geotécnicos, está também sujeito a riscos ambientais e à ação dos agentes dinâmicos que atuam em caráter regional.

4.4.4. Áreas impróprias. (IM)

Nessa categoria estão incluídos os geoambientes que simultaneamente apresentam problemas geotécnicos, estão sujeitos a riscos ambientais e submetidos à ação dos agentes dinâmicos e que pelas características do solo, necessitam a instalação de fundações profundas.

4.5. VALORAÇÃO DOS GEOAMBIENTES MAPEADOS

O estudo geotécnico de detalhe identificou geoambientes ligados aos ambientes de sedimentação mapeados. Os geoambientes representam unidades ligadas aos solos que, além de seus parâmetros geotécnicos característicos, mostram diferenças morfológicas e altimétricas, onde a posição do nível freático exerce grande influência.

Dependendo da posição ocupada na planície costeira, os geoambientes podem ser submetidos à ação dos agentes dinâmicos ou a intervenções geotécnicas na preparação do terreno para a construção civil, o que pode levar à propensão aos riscos ambientais.

Foram identificados dez geoambientes ligados aos ambientes de sedimentação de ocorrência na área de estudo, com diferentes graus de favorabilidade à urbanização. A partir da integração dos mapas geomorfológico, de solos e da carta de riscos ambientais foi possível a elaboração da carta de favorabilidade, mostrada no anexo 9.

Esses geoambientes estão ligados por um lado, a processos praias marinhos, eólicos e lagunares, ocorridos durante o Pleistoceno e Holoceno, que geraram diferentes relevos e tipos de solo com seus parâmetros geotécnicos característicos. Alguns desses geoambientes são propensos a riscos ambientais decorrentes da ação dos diferentes agentes dinâmicos ou de intervenções geotécnicas.

4.5.1. Solo arenoso

Este solo está ligado aos sedimentos marinhos e eólicos de idade pleistocênica que ocorrem na área estudada. Trata-se de solo com propriedades geotécnicas favoráveis à implantação de obras civis, como determinado no estudo geotécnico.

A textura é constituída de areia quartzosa em mistura com teores de argila. O nível freático é profundo, apresenta permeabilidade moderada, a compacidade é mediana e mostra alta coesão dos grãos.

Em função da morfologia pode estar susceptível a riscos geológicos induzidos pelas intervenções geotécnicas na preparação do terreno que vai receber a obra civil, através de cortes.

A morfologia e os riscos ambientais por intervenções geotécnicas são importantes no estudo da favorabilidade dos geoambientes ligados a este solo arenoso. Foram identificados três geoambientes associados a esses

solos, presentes na forma de terraços arenosos, escarpas arenosas e elevações dunárias.

4.5.1.1. Terraço arenoso (PMT)

Este geoambiente está limitado a oeste com o solo orgânico e elevações dunárias e a leste com o solo hidromórfico de areia quartzosa e duna ativa, segundo pode ser observado no mapa geomorfológico do anexo 2.

O terraço arenoso mostra-se plano-horizontalizado ou levemente ondulado, conforme pode ser observado na foto 4.2. Com altitude de $\pm 6\text{m}$ e pelas características morfológicas que apresenta está isento da propensão a risco ambiental induzido pelas intervenções geotécnicas.

Está desvinculado da ação efetiva dos agentes dinâmicos, tais como o vento e a pluviosidade. Encontra-se também protegido da ação do vento, já que este solo se encontra distante da área fonte dos sedimentos para o transporte eólico. Não está igualmente sujeito à ação das águas pluviais, já que mostra nível freático profundo e permeabilidade moderada, o que permite a infiltração das águas sem gerar alagamentos.

Pelas características geotécnicas do solo, características morfológicas e isenção de riscos ambientais, este geoambiente pode ser considerado como uma das melhores áreas para a execução de obras civis em terrenos de planície costeira, já que não necessita de trabalho de infraestrutura para a preparação do terreno destinado ao empreendimento.

As características físicas do geoambiente são apresentadas na tabela 4.17, que mostra a valoração do solo arenoso. Os valores obtidos mostram que são dispensadas as obras preliminares de infraestrutura para a implantação de obras civis. Dessa forma este geoambiente pode ser classificado quanto ao índice de favorabilidade como **Adequado (AD)** à urbanização.



Foto 4.2. Vista para o sul mostrando o terraço arenoso plano horizontalizado e prédios construídos sem necessidade de trabalhos de infraestrutura. Itapirubá.

4.5.1.2. Escarpa arenosa (PME)

Nas bordas dos terraços arenosos e elevações dunárias, seja no contato com o solo turfoso ou com o solo hidromórfico de areia quartzosa, a morfologia mostra uma escarpa arenosa de erosão com altura de mais de 6m. Por se tratar de terreno inclinado, na sua preparação, há a necessidade de intervenção geotécnica local, com a execução de talude de corte. Esse procedimento torna o geoambiente sujeito a **risco geológico induzido**, com possibilidade de deslizamento ou erosão (foto 4.3), devido ao escoamento e infiltração das águas pluviais.

Os valores apresentados na tabela 4.17 mostram que são necessários trabalhos preliminares de infraestrutura para a implantação de obras civis, já que as intervenções geotécnicas levam à propensão a riscos geológicos.

Os trabalhos de infraestrutura no geoambiente envolvem corte, terraplenagem, instalação de muro de contenção e canalização das águas pluviais. Em função disso este geoambiente mostra uma **restrição moderada (RM)** à urbanização.



Foto 4.3: Moradia construída na escarpa arenosa com necessidade de corte e terraplenagem. Roça Grande.

4.5.1.3. Elevações dunárias (PED)

As elevações dunárias estão ligadas à fácies eólica pleistocênica. Desenvolveram-se sobre o terraço arenoso formando um relevo irregular, na forma de dunas complexas e ainda cristas longitudinais, com altitudes atingindo os 25m. Estão limitadas a oeste e sul com a margem do complexo lagunar e o solo orgânico e a leste com o solo hidromórfico de areia quartzosa, com o qual faz contato erosivo.

Devido a sua morfologia ondulada com cristas, encostas e depressões (fotos 4.4 e 4.5), este geoambiente está sujeito a risco geológico de deslizamento das encostas e soterramento das depressões dunárias, quando da supressão da vegetação protetora do solo ou na execução de cortes.

As encostas podem sofrer com deslizamentos para a acomodação da camada, em caso de execução de cortes. Em decorrência desse risco serão executados trabalhos envolvendo corte, nivelamento, terraplenagem, instalação de muro de contenção e canalização das águas pluviais (foto 4.6).



Foto 4.4. Morfologia das elevações dunárias com cristas, encosta e depressão e urbanização na base da encosta dunária.

As áreas depressivas, sobre a qual pode se espalhar o solo deslizado podem sofrer com soterramento, havendo necessidade de aterro, terraplenagem, instalação de muros de contenção e canalização das águas pluviais.

As características físicas do geoambiente são mostradas na tabela 4.17 de valoração do solo arenoso. Os valores apresentados mostram que são necessárias intervenções preliminares de infraestrutura para a implantação de obras civis.

Em face da possibilidade da ocorrência de risco geológico de deslizamento e soterramento, as elevações dunárias podem ser classificadas, em sua encosta ou nas depressões, como de **Restrição Moderada (RM)**, já que deve ser dada atenção tão somente à execução de cortes verticais ou instalação de aterros no pátio da obra.



Foto 4.5. Vista para NW mostrando a morfologia das elevações dunárias e a preparação do terreno em área depressiva para receber a obra civil. Ribanceira.



Foto 4.6. Detalhe do muro de contenção com marcas de fadiga em corte na escarpa dunária.

Tabela 4.17. Valoração dos geoambientes do solo arenoso.

| GEOAMB | MF | TX | NF | PM | CP | CS | AD | RA | Total | UNID |
|------------|----|----|----|----|----|----|-----|---------------|-------|------|
| PMT | HO | AR | PR | MO | CP | AL | Não | Não | 0 | AD |
| PME | ES | AR | PR | MO | CP | AL | Não | SO, DS, EG | 30 | RM |
| PED | ON | AR | PR | MO | CP | AL | Não | SO, DS, EG | 29 | RM |

PMT: Terraço arenoso; **PME:** escarpa arenosa; **PED:** elevações dunárias; **AD:** adequado; **RM:** restrições moderadas.

| GEOAMB | MF | TX | NF | PM | CP | CS | AD | RA | Total | UNID |
|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|-----------|
| PMT | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | AD |
| PME | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25 | 30 | RM |
| PED | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25 | 29 | RM |

4.5.2. Solo de areia quartzosa

Este solo está ligado aos cordões litorâneos holocênicos e ao pontal arenoso lagunar, dispostos respectivamente no sul e centro – oeste da área. Mostra relevo levemente ondulado com alternância de crista e cavas e leve pendente em direção ao mar, ou em direção à margem lagunar, no sul da área. A textura da areia é fina, bem selecionada e quartzosa.

O estudo geotécnico mostrou que o cordão litorâneo se distribui na forma de terraços situados em uma posição altimétrica. Situa-se entre as cotas de 3,5 e 2,5m designados respectivamente, como C1 terraço arenoso lagunar. A altitude desses dois terraços arenosos tem relação com a posição do nível freático, mostram-se úmidos, porém fora da zona de saturação.

Em vista desse fenômeno este solo foi subdividido em dois geoambientes, classificado como terraço C1, mostrado na foto aérea 4.7, e o terraço arenoso lagunar, gerados em episódios trans/. Esses geoambientes mostram mesmo grau de favorabilidade à urbanização.



Foto 4.7. Imagem aérea mostrando os dois terraços arenosos. No centro, contato por truncamento. À esquerda, o C1 e a direita o C2.

4.5.2.1. Terraço arenoso C1

O terraço arenoso C1 (foto 4.8) mostra morfologia levemente ondulada, alternando cristas e cavas. Com o nível freático mais profundo que 2,5m apresenta-se seco, podendo, em condições de maré alta ou volumosa pluviosidade, tornar o solo úmido em suas cavas. Em função da textura arenosa e da umidade a permeabilidade é moderada, o que, em condições de pluviosidade normal, mantém este geoambiente isento de alagamentos.

Também em função da sua textura e umidade baixa, mostra-se compacto, o que se reflete em grande capacidade de carga. A coesão, ditada também pela textura e umidade e que influencia na escavabilidade, mostra-se alta, se traduzindo em boa escavabilidade do terreno.

Em função das características geotécnicas, do relevo aplainado e da ausência de riscos ambientais, com pontuação apresentada na tabela 4.18,

esse geoambiente apresenta-se **adequado (AD)** à urbanização, já que não são necessários trabalhos de infraestrutura para a implantação de obra civil.



Foto 4.8. Vista para o oeste mostrando o cordão litorâneo C1, com relevo levemente ondulado. Barbacena, Laguna.

4.5.2.2. Terraço arenoso lagunar

O pontal arenoso mostra morfologia terraceada horizontal e nível freático mais profundo que 2,5m, o que preserva úmido o horizonte superficial. Em função da textura arenosa e da umidade, a permeabilidade do solo é classificada como moderada, o que mantém este geoambiente isento de alagamentos. Esse parâmetro influencia também na compactidade, que confere um índice classificado como compacto para o geoambiente, o que se reflete em grande sua capacidade de carga. A coesão, ditada também pela textura e umidade, mostra-se alta, se traduzindo em boa escavabilidade, sem desmoronamento das paredes do poço ou trincheira.

Esse geoambiente está isento da ação dos agentes dinâmicos e não corre risco ambiental natural ou induzido.

Em função das características geotécnicas, do relevo aplainado e da ausência de riscos ambientais esse geoambiente, com pontuação apresentada na tabela 4.18, apresenta-se **adequado (AD)** à urbanização, já

que não são necessários trabalhos de infraestrutura para a implantação de obra civil.

Tabela 4.18. Valoração dos geoambientes do solo de areia quartzosa.

| GEOAMB | MF | TX | NF | PM | CP | CS | AD | RA | Total | UNID |
|-----------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-------|-----------|
| C1 | HO | AR | PR | MO | CP | AL | Não | Não | 0 | AD |
| PA | HO | AR | PR | MO | CP | AL | Não | Não | 0 | AD |

C1: Terraço arenoso; **PA:** pontal arenoso; **AD:** adequado.

| GEOAMB | MF | TX | NF | PM | CP | CS | AD | RA | Total | UNID |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|-----------|
| C1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | AD |
| PA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | AD |

4.5.3. Solo hidromórfico de areia quartzosa

Este solo está ligado aos cordões litorâneos holocênicos, terraços intercordões, dispostos de forma contínua ao longo da área estudada e ocupando maior extensão dentre os diferentes solos. Mostra relevo terraceado limitado por cristas arenosas e leve pendentes em direção a porção central do solo. A textura da areia é fina, bem selecionada e quartzosa.

O estudo geotécnico mostrou que os cordões litorâneos se distribuem na forma de terraços situados nas cotas situadas entre 2,5 e 1,5m, designados C2. A altitude dois terraços arenosos tem relação com a posição do nível freático, já que o terraço C2 mostra nível freático aflorante, dentro da zona saturada quando da ocorrência de pluviosidade.

4.5.3.1. Terraço arenoso C2

O terraço arenoso C2 (foto 4.9) tem textura formada de areia fina com baixos teores de MO no horizonte A, enquanto no horizonte C, mineral, mostra apenas areia fina. A permeabilidade é baixa em função da posição aflorante do nível freático, o que permitiu o desenvolvimento de feição paludial. A compacidade é alta, conferindo ao geoambiente uma grande capacidade de carga. A coesão, no entanto, é baixa, devido à fluidificação do horizonte B mineral, sempre situado no interior da zona saturada.

A baixa coesão dos grãos e os alagamentos, ditados pela ação da maré e da pluviosidade, levam a considerar esse geoambiente, com pontuação apresentada na tabela 4.19, como de **restrição séria (RS)** à urbanização, necessitando a execução de aterros e ainda a construção de canais de drenagem para o rebaixamento do nível freático.



Foto 4.9. Terraço arenoso C2 mostrando relevo aplainado sujeito à alagamento, levando a necessidade de aterro. Itapiruba.

Tabela 4.19. Valoração dos geoambientes do solo hidromórfico.

| GEOAMB | MF | TX | NF | PM | CP | CS | AD | RA | Total | UNID |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|------|
| C2 | HO | AR | AF | BX | CP | BX | PL | AL | 37 | RS |

C2: Terraço arenoso; **RS:** restrições sérias.

| GEOAMB | MF | TX | NF | PM | CP | CS | AD | RA | Total | UNID |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|------|
| C2 | 0 | 0 | 5 | 4 | 0 | 4 | 6 | 18 | 37 | RS |

| GEOAMB | MF | TX | NF | PM | CP | CS | AD | RA | Total | UNID |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|------------------|-------|------|
| Praia | HO | AR | VA | VA | VA | VA | OC | SO, ER, AL | 68 | IM |
| Praia | 0 | 0 | 5 | 5 | 4 | 4 | 6 | 44 | 68 | IM |

4.5.4. Solo orgânico

Esse solo está ligado à exposição do fundo lagunar, devido ao rebaixamento do nível marinho do Holoceno, ditado por episódios regressivos com breves intervalos de estabilização que permitiram a formação de dois terraços separados por faixas altimétricas. Limita-se com os terrenos pleistocênicos a leste e com o corpo lagunar atual a oeste.

Apresenta o horizonte A orgânico, com espessura de 1m, recobrendo o horizonte B mineral. Apresenta uma morfologia plana na forma de dois terraços identificados como T2, situado entre as cotas de 2,5 e 1,5m e o terraço T3, entre 1,5 e 00m. Ambos apresentam-se sub-horizontalizados e com leve declividade em direção ao corpo lagunar atual (foto 4.10).



Foto 4.10. Vista para oeste mostrando o solo orgânico na forma de terraço aplainado. Ponta Rasa.

O estudo geotécnico mostra que este solo é composto de uma camada superficial identificada como horizonte A, constituída de areia fina com MO, que atinge teores de 22%, enquanto que o horizonte B é constituído de areia fina quartzosa. O nível freático é aflorante em função do trabalho da maré e da pluviosidade.

O solo, considerando o horizonte A, é impermeável em função da posição do nível freático e da textura do sedimento, o que o situa dentro da zona saturada. Mostra baixa compacidade, já que o conteúdo de MO torna o

solo fofo e, conseqüentemente sujeito a recalque, traduzindo-se em baixa capacidade de carga. A coesão do solo é alta em função também da textura e umidade, o que implica em boa escavabilidade.

Por apresentarem parâmetros geotécnicos semelhantes, os dois terraços são estudados aqui como um único geoambiente, identificado como terraço turfoso.

4.5.4.1. Terraço turfoso

O terraço turfoso, pela atuação dos agentes dinâmicos representados pela maré e pluviosidade, é propenso a risco hidrológico de alagamento, em função de sua baixa altitude e impermeabilidade.

A tabela 4.20 mostra a valoração do geoambiente, com base nas propriedades geotécnicas do solo, na ação dos agentes dinâmicos e nos riscos ambientais. O solo, juntamente com o geoambiente associado, apresenta problemas geotécnicos ligados a seus constituintes orgânicos e a posição do nível freático aflorante.

Essas características geotécnicas que levam a recalque quando da aplicação de uma carga, juntamente com a ação dos agentes dinâmicos, levam a risco ambiental de alagamento, exigindo que, para a execução de obras civis, seja instalada fundação profunda, de forma que atinja a camada de subsuperfície representada pelo horizonte B, mineral, que é compacto.

Dessa forma, considerando que o trabalho é voltado para a instalação de fundação rasa, esse solo é classificado como **impróprio (IM)** à urbanização.

Tabela 4.20. Valoração do geoambiente do solo orgânico.

| GEOAMB | MF | TX | NF | PM | CP | CS | AD | RA | Total | UNID |
|--------|----|----|----|----|----|----|--------|----|-------|------|
| HLT | HO | MO | AF | BX | FO | AL | PL, OC | AL | 56 | IM |

HLT: Terraço turfoso; **IM:** impróprio.

| GEOAMB | MF | TX | NF | PM | CP | CS | AD | RA | Total | UNID |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|------|
| HLT | 0 | 5 | 5 | 5 | 4 | 0 | 22 | 18 | 56 | IM |

4.5.5. Dunas

As dunas constituem terrenos onde a atividade eólica permite a deposição de diferentes feições geomorfológicas, disseminadas ao longo da área de estudo. Recobrem parcialmente o solo arenoso e o solo hidromórfico de areia quartzosa, conforme pode ser observado no mapa de solos do anexo 3. Mostram duas camadas que se diferenciam pela coesão dos grãos. A camada superficial, métrica e sem coesão das partículas e a camada inferior coesa. Podem ser ativas ou fixadas pela vegetação, conforme pode ser observado nas fotos 4.12 e 4.13, porém, em ambas os casos, mostram mesmo comportamento geotécnico.

As características físicas da camada superficial, obtidas no estudo geotécnico e mostradas na tabela 4.20, revelam uma textura constituída de areia fina, com nível freático profundo e alta permeabilidade. A compactidade aponta para um terreno fofo e o índice de coesão mostra um terreno incoeso. Tanto a compactidade quanto a coesão se devem a mobilidade do pacote arenoso, que é submetido a transporte lateral pelo vento. Já a camada inferior, se diferencia por apresentar coesão dos grãos.

O estudo geomorfológico permitiu a identificação de dois geoambientes chamados de elevações dunárias (D1) e lençóis de areia (D2), ligados às dunas e que se distinguem pela morfologia do terreno.

4.5.5.1. Elevações dunárias (D1)

No interior do campo dunário o relevo é ondulado, com alturas que atingem os 20m, ditado pelos diferentes tipos de dunas que compõem sua formação, representando o primeiro geoambiente identificado (foto 4.11).

A efetividade do transporte eólico leva a riscos de soterramento e de erosão ao longo da pista de atuação do vento.

Dessa forma, para a urbanização desse geoambiente, deve-se identificar a camada inferior, compacta e coesa, que evite a ocorrência de recalque e problemas de escavabilidade, para a implantação da fundação. É necessário ainda proteger a obra dos riscos geológicos de erosão e soterramento. Nessas condições torna-se necessário a execução de obras de infraestrutura para a preparação do terreno.



Foto 4.11. Vista do campo de dunas a sotavento. A duna avança sobre o solo hidromórfico. Itapiruba.

Essas obras de infraestrutura se referem ao confinamento da areia, através da implantação de muro de contenção que envolva todo o terreno destinado a construção civil, a execução de aterro e terraplenagem e ainda a construção de fundação, na sua porção aérea, com uma altura que permita o transporte eólico, evitando o risco de soterramento da obra instalada.

Na zona frontal da duna frontal a ação do mar em períodos de ressaca pode levar à erosão costeira, conforme mostrado na foto 4.12. A ocupação da duna frontal deve levar em conta a ação do agente marinho, seja com o recuo da área a ser construída ou com instalação aterro e de muros de arrimo e trabalhos de manutenção.



Foto 4.12. Erosão costeira e ação eólica sobre zona frontal da duna frontal. Danos na estrutura construída. Em primeiro plano, limite superior do estrêncio. Itapiruba.

Em vista do exposto, observa-se que, em função dos problemas geotécnicos e riscos geológicos ligados a esse terreno, deve-se proceder à instalação de fundação profunda, ou ainda proceder ao recuo do pátio da obra em relação à borda da duna frontal, o que torna este geoambiente **impróprio (IM)** à construção civil, considerando que o trabalho é voltado para a instalação de fundação rasa.

4.5.5.2. Lençóis de areia (D2)

O segundo geoambiente, representado pelos lençóis de areia, tem seus parâmetros geotécnicos mostrados na tabela 4.21. Mostra uma morfologia na forma de cristas alongadas e de pequena largura, sem expressão no relevo, onde as alturas atingem 1,5m, orientadas na direção geral NE – SW. Recobre parcialmente o solo hidromórfico de areia quartzosa C2, estando, portanto, limitando com áreas alagadiças, paludiais (foto 4.13). Esse

geoambiente apresenta pequenas dimensões em área, com larguras em média inferiores a 10m, não se ajustando as dimensões mínimas para a implantação de obra civil.

As áreas onde ocorrem os lençóis de areia necessitam de fundação profunda, já que a camada superficial mostra grande mobilidade pela atividade eólica e é incoesa, enquanto que a camada inferior é coesa. Ao mesmo tempo deverão ser executados trabalhos de infraestrutura voltados à prevenção de risco de soterramento. Em função da reduzida área útil para a construção civil e da necessidade da execução de fundação profunda, este geoambiente é classificado com **impróprio (IM)** à urbanização, quando considerada a instalação de fundação rasa.

Tabela 4.21. Valoração dos geoambientes das dunas.

| GEOAMB | MF | TX | NF | PM | CP | CS | AD | RA | Total | UNID |
|--------|----|----|----|----|----|----|-----------|-----------|-------|-----------|
| D1 | ES | AR | PR | AL | FO | BX | VE, OC | SO, EC | 47 | IM |
| D2 | HO | AR | PR | AL | FO | BX | VE, | SO | 38 | IM |

D1: Duna; **D2:** Lençóis de areia. **IM:** impróprio.

| GEOAMB | MF | TX | NF | PM | CP | CS | AD | RA | Total | UNID |
|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|-----------|
| D1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 9 | 21 | 47 | IM |
| D2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 9 | 21 | 38 | IM |

Também pelas dimensões reduzidas da área de ocorrência dos lençóis de areia, já que são cristas estreitas, esses terrenos não são destinados a urbanização.



Foto 4.13. Lençóis de areia recobrando o cordão litorâneo C2.

4.5.5.3. Praia atual

Apresenta grande mobilidade de areia associada a ampla variação do nível das águas. Os parâmetros geotécnicos são extremamente variáveis e os riscos ambientais são o soterramento, a erosão e alagamentos.

A instalação de obras exige monitoramento do terreno e manutenção das obras. Em função da mobilidade da areia as fundações devem ser profundas o que faz com que esse ambiente seja classificado como **impróprio** à urbanização.

4.6. VALORAÇÃO DAS UNIDADES DE FAVORABILIDADE À URBANIZAÇÃO

Da análise dos parâmetros geotécnicos, da ação dos agentes dinâmicos, da propensão a riscos ambientais e do somatório da pontuação atribuída a cada item, considerando os diferentes índices para cada geoambiente, pôde-se construir a tabela 4.21 de valoração da favorabilidade à urbanização dos geoambientes, apresentado abaixo.

Nesse quadro estão lançados os valores concedidos a cada um dos geoambientes analisados e enquadrados nas diferentes unidades de favorabilidade estabelecidas neste trabalho.

As áreas consideradas **adequadas** obtiveram pontuação zero, já que os parâmetros geotécnicos são apropriados para a obra civil a ser executada. Estão isentas da ação efetiva dos agentes transportadores e não são propensos a riscos ambientais naturais ou induzidos pelas intervenções geotécnicas sobre o terreno. Nessa unidade aparecem o terraço arenoso, o terraço arenoso C1 e o terraço arenoso lagunar. Esses geoambientes estão ligados respectivamente ao solo arenoso e ao solo de areia quartzosa.

As áreas com **restrições moderadas** obtiveram pontuação entre 29 e 30. Os parâmetros geotécnicos são apropriados para a obra civil a ser executada e estão isentas da ação efetiva dos agentes transportadores. No entanto, pela morfologia, são propensos a riscos ambientais induzidos pelas intervenções geotécnicas sobre o terreno, sendo suscetíveis a soterramento, deslizamento e erosão. Nessa unidade aparecem a escarpa arenosa e as elevações dunárias. Esses geoambientes estão ligados ao solo arenoso.

A área com **restrição séria** obteve 37 pontos, justificados pela posição do nível freático e pelos parâmetros geotécnicos ligados ao solo, já que a permeabilidade e coesão são baixas. Sofrem a ação efetiva da pluviosidade e tem propensão a risco de alagamento. Nessa unidade aparece o terraço arenoso C2, ligado ao solo hidromórfico de areia quartzosa.

As áreas **impróprias** obtiveram pontuação entre 42 e 56. O terraço turfoso ligado ao solo orgânico, que somou 56 pontos, mostrou nível freático aflorante, permeabilidade baixa e solo fofo. Está sujeito a ação efetiva da pluviosidade e das marés e mostra propensão a risco de alagamento. As dunas têm problemas na compactidade e coesão, são submetidas à ação efetiva dos ventos e mostram propensão a riscos de soterramento.

Tabela 4.22. Valoração das unidades de favorabilidade à urbanização.

| Unidade | Pontuação |
|-----------------------------------|------------------|
| - AD: Adequado | 0 |
| - RM: Restrições moderadas | 29 – 30 |
| - RS: Restrições sérias | 37 |
| - IM: Impróprio | 38 – 47 – 56 |

4.7. ANÁLISE DA FAVORABILIDADE

A análise da favorabilidade realizada sobre os geoambientes identificados no estudo geotécnico considerou a valoração dos parâmetros geotécnicos, da ação dos agentes dinâmicos e os riscos ambientais. Os resultados são apresentados na tabela 4.22 e propiciou a elaboração de carta de favorabilidade mostrada no anexo 10.

Quadro 4.1. Quadro geral de valoração dos geoambientes.

| Geologia | Marinho Pleistoceno | Marinho Pleistoceno | Eólico Pleistoceno | Marinho Holoceno | Marinho Holoceno |
|-----------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Nível freático | Profundo | Profundo | Profundo | Profundo | Aflorante |
| Geomorfologia | Terraço arenoso | Escarpa arenosa | Elevações dunárias | Cordão arenoso C1 | Cordão arenoso C2 |
| Solo | Arenoso | Arenoso | Arenoso | Areia quartzosa | Hidromórfico |
| Textura | Areia, argila (5%) | Areia, argila (5%) | Areia, argila (5%) | Areia | Areia |
| Permeabilidade | Moderada | Moderada | Moderada | Moderada | Baixa |
| Compacidade | Compacto | Compacto | Compacto | Compacto | Compacto |
| Coesão | Alta | Alta | Alta | Alta | Média |
| Geoambiente | Terraço arenoso | Escarpa arenosa | Elevações dunárias | Cordão arenoso C1 | Cordão arenoso C2 |
| Geotécnica | Areia compacta | Rampa arenosa | Rampas arenosas | Areia compacta | Terraço alagadiço |
| Risco ambiental | Estável | Deslizamento, erosão | Deslizamento, erosão | Estável | Alagamento |
| Favorabilidade | Adequado | Restrição moderada | Restrição moderada | Adequado | Restrição séria |
| Observações | - | Risco local | Risco local | - | Risco regional |

...continuação

| Geologia | Praia | Eólico Holoceno | Eólico Holoceno | Lagunar | Lagunar |
|------------------------|-------------------|------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|
| Nível freático | Variável | Profundo | Profundo | Aflorante | Profundo |
| Geomorfologia | Praia atual | Dunas holocênicas | Lençóis de areia | Terraço turfoso | Terraço arenoso |
| Solo | Praia | Duna | Duna | Orgânico | Arenoso |
| Textura | Areia | Areia | Areia | Areia, MO | Areia |
| Permeabilidade | Variável | Alta | Alta | Impermeável | Moderada |
| Compacidade | Variável | Fofo | Fofo | Fofo | Compacto |
| Coesão | Variável | Baixa - incoeso | Baixa - incoeso | Média | Alta |
| Geoambiente | Praia atual | Duna holocênica | Lençóis de areia | Terraço turfoso | Terraço arenoso |
| Geotécnica | Praia | Areia móvel | Areia móvel | Solo fofo | Areia compacta |
| Risco ambiental | SO, AL, ER | Soterramento, erosão | Soterramento, erosão | Alagamento, recalque | Estável |
| Favorabilidade | Impróprio | Impróprio | Impróprio | Impróprio | Adequado |
| Observações | Fundação profunda | Fundação profunda | Fundação profunda | Fundação profunda | - |

4.8. COMENTÁRIOS

A aplicação do método de investigação geotécnica revelou que a área de estudo é composta por diferentes solos subdivididos em geoambientes, representados por subfeições determinadas pelo mapeamento geomorfológico. Apresentam diferentes graus de aptidão física à urbanização, determinados pelas características físicas dos solos, pela ação dos agentes dinâmicos e pela propensão a riscos ambientais sobre os geoambientes.

A análise do comportamento geotécnico dos solos mostrou que os problemas geotécnicos afetam o terreno num plano local, no pátio da construção. Nesse caso as operações voltadas para a adaptação da área que deverá receber a obra civil são sempre pouco onerosas, já que as intervenções são localizadas.

Quanto à ação dos agentes dinâmicos, que atuam em escala regional e levam a riscos ambientais naturais, as operações de implantação da infraestrutura para receber a obra civil contemplam a totalidade do terreno e não apenas o pátio da obra. São, portanto mais onerosas, considerando o número de operações necessárias para a concretização dos trabalhos de infraestrutura, além da maior dimensão dessas operações.

Dependendo do tipo de agente dinâmico atuante, a preparação do terreno pode carecer ainda de trabalhos de monitoramento do impacto causado pela ação dos agentes dinâmicos, voltado ao planejamento da localização da obra no interior do terreno destinado à construção. Além disso, atenção deverá ser dada aos trabalhos de manutenção que visem à preservação da estabilidade do solo, assim como das estruturas instaladas, atividade esta que deverá ser perpetrada ao longo do tempo, após a obra ser concluída.

Por sua vez, além dos riscos ambientais decorrentes de causas naturais ligados à ação dos agentes dinâmicos, o terreno pode ser submetido a riscos ambientais induzidos pelas intervenções geotécnicas sobre o terreno.

Da análise e integração do conjunto de parâmetros geotécnicos foi estabelecida pontuação para cada um dos geoambientes mapeados, sendo possível proceder ao zoneamento da área, quanto aos diferentes níveis de favorabilidade à urbanização.

O estudo geotécnico identificou os geoambientes que foram analisados individualmente, valorados e apresentados neste capítulo. Dos valores aferidos a cada um dos geoambientes foi possível distribuí-los em diferentes unidades de favorabilidade à urbanização, criadas neste trabalho,

incluindo geoambientes adequados, com restrições moderadas, restrições sérias e ainda aqueles considerados impróprios à urbanização.

Os resultados da investigação mostraram que os sedimentos pleistocênicos têm seus geoambientes classificados como adequados e com restrições moderadas, em função da necessidade de intervenções geotécnicas no geoambiente. Os sedimentos holocênicos, que ocupam a maior parte da área, dependendo do geoambiente, podem se enquadrar nas diferentes unidades de favorabilidade à urbanização, indo de adequado a impróprio.

Os geoambientes do **solo arenoso** estão desvinculados da ação dos agentes dinâmicos e isentos de riscos ambientais por causas naturais. A posição do nível freático e as características geotécnicas do solo favorecem à construção de fundações rasas, dispensando os trabalhos de infraestrutura, tão importantes naqueles geoambientes submetidos a atuação dos agentes dinâmicos.

Porém, se observa que a morfologia influencia a pontuação concedida aos geoambientes ligados a esse solo arenoso. Os sedimentos de origem marinha, pela sua gênese, formam terraços aplainados e horizontalizados, o que dispensa intervenções geotécnicas tais como cortes e aterros. Dessa forma, considerando a pontuação recebida, esse geoambiente se torna o mais **adequado à urbanização**.

As bordas escarpadas associadas ao solo arenoso constituem uma segunda unidade ligada aos sedimentos marinhos, onde, para sua urbanização, se recomenda a execução de cortes verticais para a criação do pátio da obra. Considera-se aqui que essa intervenção geotécnica gera um pequeno impacto, de fácil remediação, já que o risco de deslizamento ou erosão é local e pode ser eliminado com a instalação de muro de contenção e controle da drenagem. Apesar da perda de pontuação na avaliação do risco geológico que, como frisado anteriormente, tem caráter local, esse geoambiente se mostra com **restrição moderada à urbanização**.

Outro geoambiente ligado ao solo arenoso refere-se às elevações dunárias que, em alguns setores, pela sua morfologia ondulada, abrange encostas que necessitam de corte, ou depressões que exigem aterros para a preparação do pátio da obra. Esse geoambiente apresenta, portanto, risco ambiental reduzido e de caráter local. As operações geotécnicas aqui são de abrangência local, e por isso as elevações dunárias são classificadas como de **restrições moderadas à urbanização**.

Os geoambientes ligados ao solo de areia quartzosa não apresentam problemas geotécnicos pelas suas características físicas. Estão isentos da ação dos agentes dinâmicos e não mostra propensão a riscos ambientais naturais. Dessa forma são adequados a urbanização.

Segundo o estudo geotécnico realizado, constatou-se que o solo hidromórfico de areia quartzosa com geoambiente identificado como terraço arenoso C2 se situa a uma cota mais baixa e maior proximidade com o litoral, o que significa nível freático aflorante e ação transportadora dos ventos. Pela posição do nível freático, esse geoambiente pode se tornar alagadiço, enquanto o trabalho dos ventos pode levar a risco geológico de soterramento.

Esses riscos ambientais, por terem abrangência regional, exigem a execução de trabalhos de infraestrutura, acompanhados de monitoramento e manutenção, na totalidade do terreno. Com isso o geoambiente ganha pontuação alta, sendo considerado como de **restrição séria à urbanização**.

As dunas, que são subdivididas em lençóis de areia e elevações dunárias, pela sua mobilidade decorrente do transporte e deposição de sedimentos, resultam em problemas geotécnicos para o terreno, sobretudo em relação à coesão e aos riscos geológicos, tais como avalanches em suas bordas e soterramento no interior do campo dunário. Em vista disso deve ser instalada fundação profunda, já que a camada superficial não é coesa. Associado a esse problema há também o trabalho de monitoramento e manutenção que deve ser executado na área, o que permite classificar esse geoambiente como **impróprio à urbanização**.

Finalmente, o solo orgânico, originado em ambiente lagunar, mostra apenas um geoambiente identificado com terraço turfoso. O nível freático aflorante, aliado ao trabalho dos ventos que podem represar as águas lagunares que, associado à pluviosidade, geram risco de alagamentos. Soma-se a isso a ocorrência de solo fofo, de espessura métrica, sujeito a recalque, exigindo a instalação de fundação profunda. Tanto o risco de alagamento quanto o de recalque tornam este geoambiente **impróprio à urbanização**.

PARTE 5

CONCLUSÕES GERAIS E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

5.1. CONCLUSÕES GERAIS

O estudo geológico mostrou que a área apresenta 5 fácies sedimentares formadas em ambiente transicional geradas em episódios ocorridos no Pleistoceno Superior e no Holoceno.

A análise da morfologia revelou que as feições presentes se apresentam como terraços, escarpas, elevações dunárias e cristas em função do tipo de agente dinâmico responsável pela sua formação.

O estudo sedimentológico revelou que os sedimentos presentes na área de estudo são constituídos basicamente de areia fina quartzosa que podem ocorrer em mistura com MO. Em função dos processos sedimentares atuantes sobre essa areia fina foram geradas as diferentes fácies sedimentares.

O estudo geotécnico revelou a presença de 3 solos e dunas mostrando parâmetros geotécnicos importantes para a construção civil. Os parâmetros geotécnicos ligados aos solos são importantes para a avaliação da capacidade de suporte e a propensão a riscos ambientais locais. A textura, permeabilidade, compacidade e coesão foram os parâmetros utilizados. Esses parâmetros determinaram o horizonte do solo a ser instalada a fundação e a propensão a riscos ambientais.

A morfologia e o nível freático, que caracterizam os geoambientes, além da ação dos agentes dinâmicos definiram a necessidade de intervenções geotécnicas locais e os riscos ambientais regionais.

As feições morfológicas e a posição do nível freático permitiram identificar 8 geoambientes ligados aos solos estudados. Esses geoambientes foram avaliados levando em conta a influência dos agentes dinâmicos atuantes no presente e da propensão a riscos ambientais naturais ou induzidos pelas intervenções geotécnicas.

O estudo da favorabilidade a urbanização levou em conta as propriedades geotécnicas dos solos e a propensão a riscos ambientais a que estão sujeitos os geoambientes. Esses parâmetros foram valorados e integrados o que permitiu aferir a cada geoambiente um valor numérico levando em conta a necessidade de executar obras de infraestrutura para preparar o terreno a construção civil.

O método de valoração dos geoambientes consistiu na subdivisão dos parâmetros geotécnicos, impacto dos agentes dinâmicos e os riscos ambientais em classes onde a pontuação estabelecida levou em conta a necessidade ou não de intervenções geotécnicas locais e regionais para a preparação do terreno que receberá a obra civil. Ao geoambiente foi atribuído um valor numérico correspondente a classe em que o qual foi enquadrado.

Em atenção a propensão do terreno a riscos ambientais em função dos parâmetros geotécnicos, da ação efetiva dos agentes dinâmicos atuantes e dos riscos ambientais naturais e induzidos foram criadas 4 unidades de favorabilidade a urbanização. A criação dessas unidades teve como finalidade a identificação dos geoambientes, que pelas suas características físicas são apropriados ou não a urbanização. Dentro desta proposta foram identificadas áreas adequadas, com restrições moderadas, restrições sérias e impróprias a urbanização.

De posse da valoração atribuída a cada geoambiente identificado e das unidades determinadas no estudo da favorabilidade foi possível relacionar os diferentes geoambientes as unidades criadas na pesquisa. Os terraços arenosos com nível freático profundo foram classificados como adequados. Com restrições moderadas aparecem as escarpas arenosas e as elevações dunárias com necessitam intervenções geotécnicas locais devido a sua morfologia. O terraço arenoso com nível freático aflorante aparece com restrição séria e as áreas impróprias, pela necessidade da instalação de fundação profunda, estão ligadas as dunas, terraço turfoso e as praias.

Dessa forma, foi possível apresentar um zoneamento geotécnico da área mostrando o índice de favorabilidade a urbanização para cada um dos geoambientes. Os resultados são apresentados na forma de quadro de favorabilidade e na forma de carta de favorabilidade a urbanização.

O objetivo maior que visava a apresentação da aptidão física dos geoambientes a urbanização com base na identificação, avaliação e valoração de parâmetros geológicos e geotécnicos foi atendido através da aplicação da metodologia proposta neste trabalho. As observações empíricas foram confirmadas através da aplicação de operações matemáticas voltadas a valoração dos geoambientes que permitiram a identificação de áreas com diferentes índices de favorabilidade a urbanização.

A aplicação prática deste método de estudo da favorabilidade torna-se útil a projetos de engenharia civil já que de posse dessas informações o planejamento para a elaboração de projetos pode ser iniciado em gabinete. Isso pode ser feito através da consulta do quadro e da carta de favorabilidade, de onde o profissional passa a ter uma visão prévia dos níveis de favorabilidade a urbanização referentes a área pretendida a execução de obras civis pelo empreendedor.

Finalmente, é preciso dizer que este método pode ser estendido com eficácia a outras áreas de planície costeira constituída de sedimentos terrígenos inconsolidados.

5.2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABGE. 1998. Geologia de Engenharia. Ed. Antonio Manoel dos Santos Oliveira, Sérgio Nertan Alves de Brito. São Paulo: ABGE.
- ABMS. 1996. Fundações: teoria e prática no Brasil. São Paulo: Pini.
- Alves, M. G. 2000. Análise ambiental da região oceânica de Niterói e Distrito de Enoã – Marica (RJ): Uma visão por geoprocessamento e mapeamento geológico-geotécnico com ênfase nos impactos de uso e ocupação. **Tese de Doutorado**. Rio de Janeiro. IG – UFRJ.
- Bigarella, J. J. & Becker, R. D. 1975. Sea level Changes. In: International Symposium on the Quaternary, Curitiba. Topics for Discussion, XIII... Bol. Paranaense Geoc., v. 33, p.245 – 251.
- Bigarella, J.J. & Andrade, G.O. 1965. Contribution to the study of Brazilian Quaternary. **Geological Society of America Special Papers**, New Cork, v.84, p.433-451.
- Bittencourt, A.C.S.P.; Dominguez, J.M.L.; Vilas-Boas, G.S. & Flexor, J.M.1979. Quaternary marine formations of the coast of the state of Bahia, Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COASTAL EVOLUTION IN THE QUARTENARY, São Paulo, 1978. **Proceedings...**São Paulo. p. 232-253.
- Calliari, L. J., Muehe, D., Hoefel, F., G., Toldo Jr., E. 2003. Morfodinâmica praias: uma breve revisão. Rev. bras. oceanogr.. 51(único):63-78.
- Caruso Jr, F. 1995. Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Sudeste de Santa Catarina, Brasília: DNPM,. 52 p., escala 1:100.000. Programa Cartas de Síntese e Estudos de Integração Geológica, ISSN 1413-3407: n.1.
- Caruso Jr., F. 1992. Geologia dos depósitos de conchas calcárias no estado de Santa Catarina. Geosul, n. 14, p 101 – 136.
- Carvalho, V. C de., RIZZO, H. G. 1994. A zona costeira brasileira: subsídios para uma avaliação ambiental. Brasília: MMA, 221 p.
- Castro E. C. & Castro V. H. S. 1969. Geologia da Quadrícula de Laguna, Santa Catarina. Porto Alegre, DNPM. 38 p. (Relatório Interno).
- Cavedon, F. de., Diehl, F. P. 2000. Praias e dunas: proteção legal e conflitos. In: I Simpósio Brasileiro Sobre Praias Arenosas, Itajaí (SC). Anais... Ed. UNIVALI, p: 341-341.
- Cordazzo, C. V. & Seeliger, U. 1988. **Guia ilustrado da vegetação costeira**. Editora da FURG, Rio Grande.
- Costa, A. 2007. Mapeamento geológico-geotécnico para o planejamento urbano do Município de Goitacazes – RJ utilizando geoprocessamento.

- In: 6º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. Uberlândia, MG.
- Diehl, F.L. & Horn Filho, N. O. 1996. Compartimentação geológico-geomorfológica da zona litorânea e planície costeira do Estado de Santa Catarina. **Notas Técnicas**. 9:39-50.
- DNPM. DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL–DNPM.1986. **Mapa geológico do Estado de Santa Catarina**. Escala 1:500.000.
- Folk, R. L. & Ward, W. C. 1957. Brazos River Bar: A study in the signification of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, Tulsa, 27 (1): 3-26.
- Fonzar, B. C. 1994. A circulação atmosférica na América do Sul: os grandes sistemas planetários e subsistemas regionais que atingem o continente – localização e trajetória. **Caderno de Geociências**. 11:35-60.
- Franzoni, A. M. B. 2005. Diagnóstico das áreas favoráveis à expansão urbana da Ilha de Santa Catarina a partir de técnicas de sensoriamento remoto como subsídio a gestão ambiental. XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Porto Alegre, RS.
- GAPLAN, GABINETE DO PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GERAL DO ESTADO DE SANTA CATARINA. 1986. **Atlas do Estado de Santa Catarina**. Governo do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral.
- Giannini, P. C. F. 1993. **Sistemas deposicionais do Quaternário costeiro entre Jaguaruna e Laguna, SC**. 277p. Tese de Doutorado em Geologia Sedimentar. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo.
- Gré, J. C. R. , Horn Filho, N. O, Klingebiel, A. 1992. Contribution to the study of the marine and coastal Quaternary of the Laguna Region, Santa Catarina State, southeast Brazil. 29th International Geological Congress 2: 382. Kyoto.
- Gré, J. C. R , Klingebiel, A., Horn Filho, N. O, Caruso Junior, F. 1993. Morphologie structure et evolution du cadre geologique du système lagunaire “Santo Antonio” Etat de Santa Catarina, Brésil. Bull. Instit. Géol. Bassin D’Aquitaine. n.85, p. 159 – 167. Bordeaux, France.
- Gré, J. C. R, Horn Filho, N. O., Klingebiel, A. 1993. Lês plaines progradantes de cordon littoraux holocènes du littoral de l’Etat de Santa Catarina (Brésil meridional): étapes morphosedimentologique de leur evolution. In : International Geological Correlation Programm – Project 274. DaKar, Senegal.

- Gré, J. C. R. (2012). Gestão do uso do solo na planície costeira de Santa Catarina, Brasil. II ANTRÓPICOSTA Workshop Ibero Americana. Resumos. Montevideu. Uruguai.
- Gré, J. C. R. 1983. Aspectos sedimentares da plataforma continental de Santa Catarina – Brasil. Porto Alegre. 91 p. **Dissertação de Mestrado**. Instituto de Geociências. UFRGS.
- Gré, J. C. R. 2005. Favorabilidade á Ocupação Urbana na zona costeira: Exemplo da Planície costeira de Ingleses – Rio Vermelho, município de Florianópolis, SC, Brasil. In: 11º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. Florianópolis, SC.
- Gré, J. C. R., Comerlato, T. 2007. Favorabilidade a ocupação urbana na zona costeira: exemplo da planície costeira de Estreito, município de Laguna, SC. In: 6º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. Uberlândia, MG.
- Guerra, A. T. 1950. Contribuição ao estudo da geomorfologia e do Quaternário do litoral de Laguna (Santa Catarina). **Revista Brasileira de Geografia**, v. 13, n. 4, p. 535-564.
- Guidicini, G. Relato geral: Geologia Aplicada à Mecânica das Rochas. In: Simpósio Sul-Americano de Mecânica de Rochas, 2, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ABMS\CBMR. V1, P.251-160.
- Hare, F. K. 1963. **Restless Atmosphere**. 8ª ed., London, Huthcinson, 348p.
- Higashi & Figueiredo 2005. Análise geotécnica preliminar de São Francisco do Sul como subsídio ao estudo de impactos ambientais utilizando sistema de informações geográficas. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 2003, Belo Horizonte. XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 2003.
- Horn Filho, N. O. Gré, J. C. R., Diehl, F. 1994. The coastal pleistocene of the State of Santa Catarina, southern Brazil. In: Quaternary of South America and Antarctic Peninsula. Jorg Rabass & Monica Salemme ed. Vol. 10. Ushuaia, Argentina.
- Horn Filho, N. O.; Diehl, F. L. Geologia da planície costeira de Santa Catarina.. Alcance (UNIVALI), Itajaí, v. 1, n.1, p. 95-102, 1994.
- SANTA CATARINA, 2012. <http://www.laguna.sc.gov.br/>. Acessado em 20/06/2012.
- IAEG. 1976. Engineering geological maps: a guide to their preparation. Paris: Unesco Press, 79p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 1976. **Folhas topográficas de Laguna e Vila Nova – SC**. Escala 1:50.000.

- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. 8º Distrito de Meteorologia. Ministério da Agricultura. Brasília.
- Klein, R. M. 1978. Mapa fitogeográfico do Estado de Santa Catarina. *In: Flora Ilustrada Catarinense*. Herbário Barbosa Rodrigues. Itajaí, SC.
- Komar, P. D. 1976. **Beaches processes and sedimentation**. New Jersey, Prentice-Hall, 429p.
- Koppen, W. 1948. Climatologia. México, Fundo de cultura Econômica. 380p.
- Kowsmann, R. O., Costa, M. P. A., Vicalvi, M. A., Coutinho, M. G. N., Gamboa, L. A. P. 1977. **Modelo de sedimentação holocênica na plataforma continental sul brasileira**. *In: Projeto REMAC - Evolução sedimentar holocênica da plataforma continental e do talude do sul do Brasil*. Petrobras/CENPES, 2:7-26 (Série Projeto REMAC).
- Kowsmann, R. O., Francisconi, O., Leyden, R. 1974. Refração sísmica marinha nas Bacias de Pelotas, Santos e na Plataforma de Torres. *In: Simpósio de Geologia Marinha, 2., e Congresso Brasileiro de Geologia, 28., Anais...v.3. p. 283 – 296.*
- Krebs, A. J. J. 1994. Uso recomendado do solo do Município de Estância Velha, RS. CPRM/METROPLAN. Porto Alegre, RS. 54 p.
- Maak, R. 1949. Espessura e sequência dos sedimentos quaternários no litoral do Estado do Paraná. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v.44, p.271-295.
- Martin, L. & Suguio, K. 1986. Coastal Quaternary deposits of the States of Paraná and Santa Catarina. *In: Rabassa, J. (ed.), INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SEA LEVEL CHANGES AND QUATERNARY SHORELINES*, São Paulo. **Quaternary South America and Antarctic Peninsula**. Rotterdam, Balkema, 124 p.
- Martin, L; Suguio, K.; Flexor, J. M.; Azevedo, A, E, G. 1988. Texto explicativo do mapa geológico do Quaternário Costeiro dos Estados do Paraná e Santa Catarina. DNPM. Série Geologia n. 28. Seção Geologia Básica n. 18. Brasília.
- Mello, V. F. B. & Teixeira, A. H. 1960. Fundações e Obras de Terra. Escola de Engenharia de São Carlos. SP.
- Nimer, E. 1989. **Clima - Região Sul**, Geografia do Brasil, IBGE.
- Oliveira, A. M. S., Bitar, O. Y. Fornasari Filho, N. 1995. Geologia de engenharia e meio ambiente. *In: Bitar, O. Y. (coord.). Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo: ABGE\IPT. P. 5-15.
- Pimenta, J. 1958. A faixa costeira meridional de Santa Catarina. Rio de Janeiro. Boletim do DNPM/DGM, n. 176, 104 p.

- Rebêlo, L. P. & Brito, P. O. 2004. A importância das dunas frontais na avaliação da evolução da linha de costa- O caso da Praia da Manta Rota. V Encontro de Professores de Geociências do Algarve Vila Real de Santo Antonio. Portugal.
- Rego Neto, C. B., Uceda, A. C. 2007. Considerações sobre a utilização de indicadores e índices no mapeamento e gestão ambiental de municípios: aplicação em Florianópolis, SC. In: 6º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. Uberlândia, MG.
- Rosenack, S. 1963. Soil Mechanics . B.R. Batsford Ltda. London.
- Strahler, A. N. 1967. **Physical Geography**. 3ª edition, John Wiley. New York, 462p.
- Suguió, K. & Martin, L. 1987. Classificação de costas e evolução geológica das planícies litorâneas quaternárias do sudeste e sul do Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA. Anais...Cananéia: Academia de Ciências do Estado de São Paulo., v. 2, p. 1-28.
- Suguió, K. & Martin, L. 1987. Classificação de costas e evolução geológica das planícies litorâneas quaternárias do sudeste e sul do Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA. Anais...Cananéia: Academia de Ciências do Estado de São Paulo., v. 2, p. 1-28.
- Suguió, K., Martin, L., Bittencourt, A. C. S. P., Dominguez, J. M. L., Flexor, J. M., Azevedo, A. E. G. 1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 15, n. 4, p.273-286.
- Taylor, D. W. 1961. Principios Fundamentales de Mecanica de suelos. 1961. Compañia Editorial S.A. Mexico.
- Toldo Jr, E. E; Dillenburg, S. R; Almeida, L. E. S. B; Tabajara, L. L.; Martins, R. R. & Cunha, L. O. B. P. 1993. Parâmetros morfodinâmicos da Praia de Imbé, RS. **Pesquisas**, 20 (1) : 27-32.
- Tomazolli, E. R. et al. 2007. Compartimentação do setor nordeste da Ilha de Santa Catarina com base em critérios geoambientais. In: 6º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. Uberlândia, MG.
- Villwock, J. A. (1994). A Costa Brasileira: Geologia e Evolução. **Notas Técnicas**. IG. UFRGS. 7:38-49.
- Villwock, J. A. & Tomazelli, L. J. 1995. Geologia costeira do Rio Grande do sul. **Notas Técnicas**. IG. UFRGS. 8:1-45.
- Villwock, J. A.; Tomazelli, L. J; Loss, E. L.; Horn Filho, N. O.; Bachi, F. A. & Dehnhardt, B. A. 1986. *Geology of the Rio Grande do Sul coastal*

province. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula, 4: 79-97.

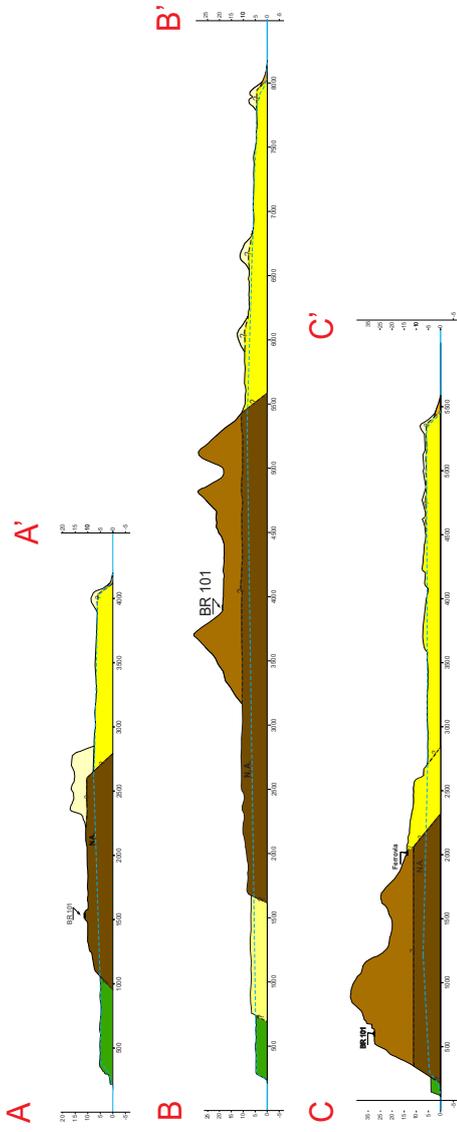
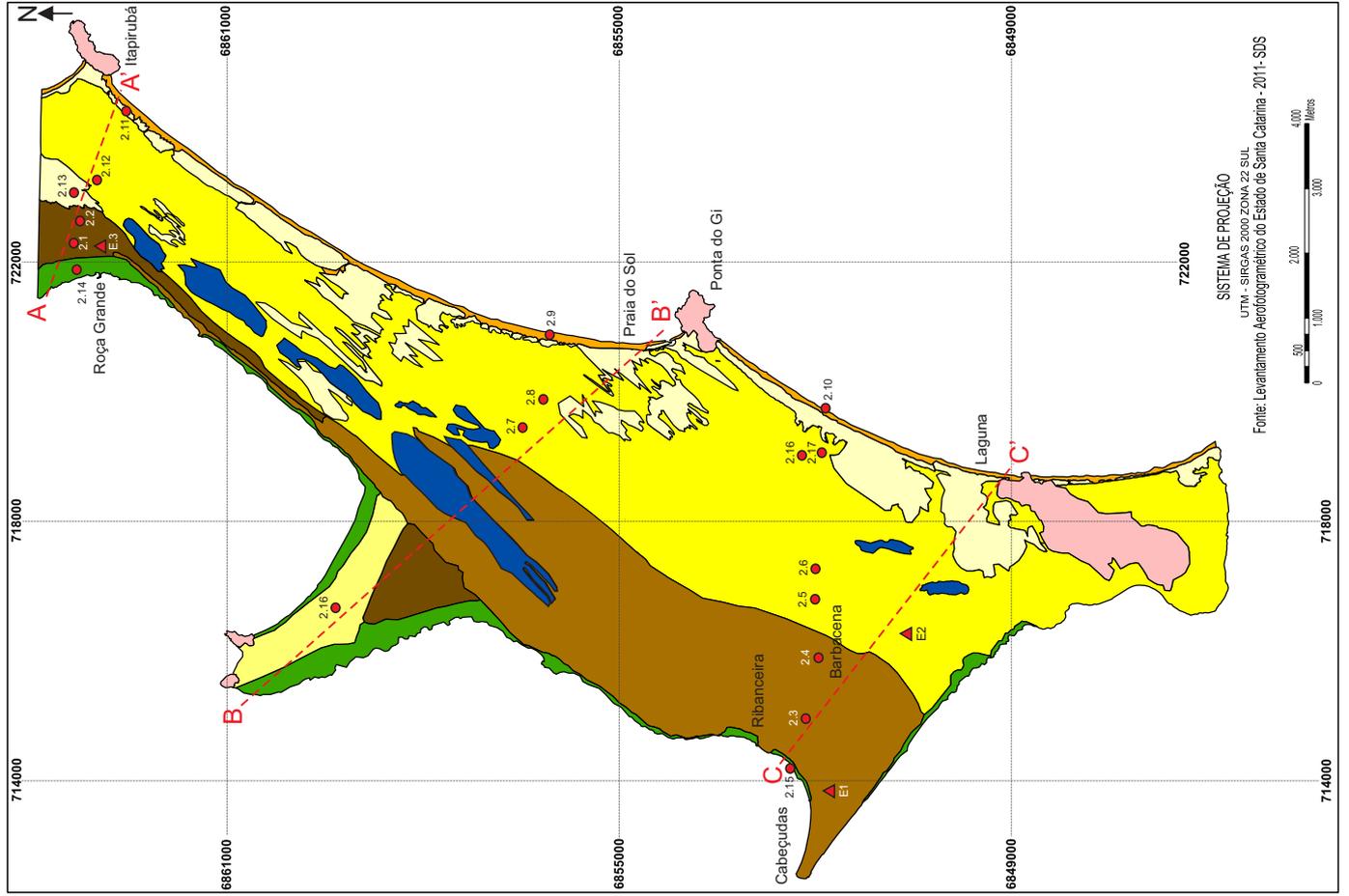
Wentworth, C. K. 1922. **The mechanical composition of sediments in graphic form.** Studies. In: Natural History. Iowa, Iowa University.

Zalan, P. V., Astolfi, M. A. M., Wolff, S., Vieira, I. S., Conceição, J. C. J., Appi, V. Y., Marques, A., Zanotto, O. A. 1990. Bacia do Paraná. In: Raja Gabaglia. Origem e evolução das bacias sedimentares brasileiras. Petrobras, Rio de Janeiro. p. 135 – 168.

Zuquette, L. V. 1993. Importância do mapeamento geotécnico no uso do solo e ocupação do meio físico: Fundamentos e guia para elaboração. **Tese de Doutorado.** São Carlos. Esc. Eng. São Carlos. USP.

Zuquette, L.V. et al. 1999. Mapeamento geotécnico: Parte 1 – Atributos e procedimentos básicos para a elaboração de mapas e cartas. **Geociências.** Vol. 16. 2, p. 491-524.

ANEXO 1
MAPA GEOLÓGICO



COLUNA ESTRATIGRÁFICA

| ERA PERÍODO ÉPOCA | FÁCIES | DESCRIÇÃO LITOLÓGICA | SÍMBOLO |
|--------------------------|--------------------------------|--|--------------------|
| CENOZOICO QUATERNÁRIO | Fácies Arenosa Lagunar | Areia quartzosa, em mistura com teores de lama e matéria orgânica, acinzentada, formando terraços turfosos. | [Green Box] |
| | Fácies Arenosa Lagunar | Areia quartzosa muito fina, bem selecionada, formando pontais | [Yellow Box] |
| | Fácies Eólica | Areia quartzosa fina esbranquiçada, formando dunas e lençóis de areia. | [Light Yellow Box] |
| | Fácies Praia Atual | Areia quartzosa fina esbranquiçada, formando terraço subhorizontal. | [Orange Box] |
| | Fácies Marinho Praia | Areia quartzosa fina esbranquiçada, formando cordões litorâneos regressivos. | [Yellow Box] |
| | Fácies Eólica | Areia quartzosa fina com baixos teores de argila e óxido de ferro, amarronzada, formando elevações dunárias. | [Brown Box] |
| EOPALEOZOICO | Suite Intrusiva Pedras Grandes | Granitóides de granulometria grossa a média, textura porfiróide e coloração rósea. | [Pink Box] |
| | Fácies Marinho Praia | Areia quartzosa fina com baixos teores de argila e óxido de ferro, amarronzada, formando terraços levemente ondulados. | [Dark Brown Box] |

MAPA DE FÁCIES SEDIMENTARES

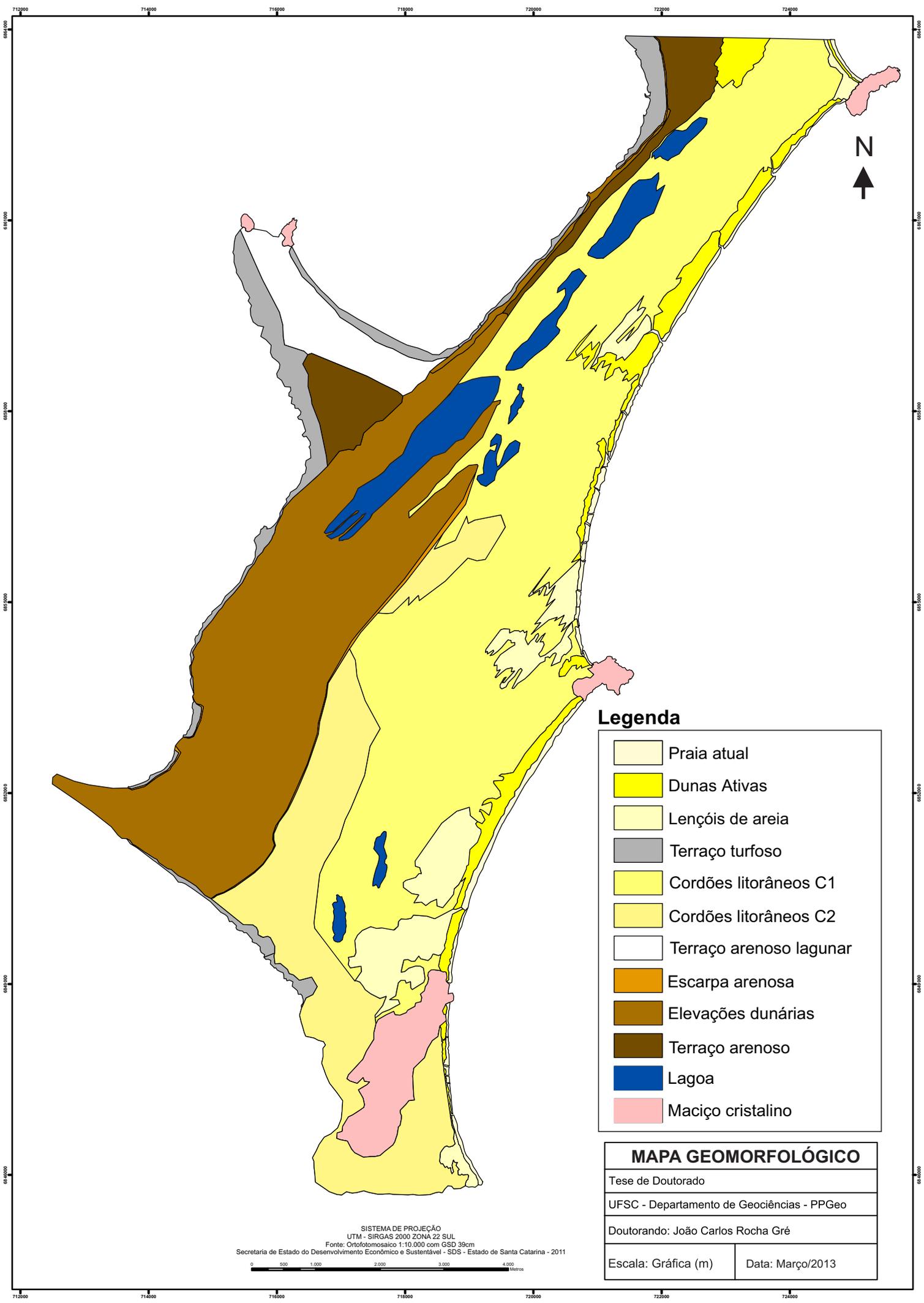
Tese de Doutorado
 UFSC - Departamento de Geociências - PPGeo
 Doutorando: João Carlos Rocha Gré
 Escala: Gráfica (m) Data: Março/2013

LEGENDA

- - Amostragem de sedimentos
- ▲ - Sondagens geotécnicas
- A - A' - Perfis topogeológicos

ANEXO 2

MAPA GEOMORFOLÓGICO



Legenda

| | |
|--|-------------------------|
| | Praia atual |
| | Dunas Ativas |
| | Lençóis de areia |
| | Terraço turfoso |
| | Cordões litorâneos C1 |
| | Cordões litorâneos C2 |
| | Terraço arenoso lagunar |
| | Escarpa arenosa |
| | Elevações dunárias |
| | Terraço arenoso |
| | Lagoa |
| | Maciço cristalino |

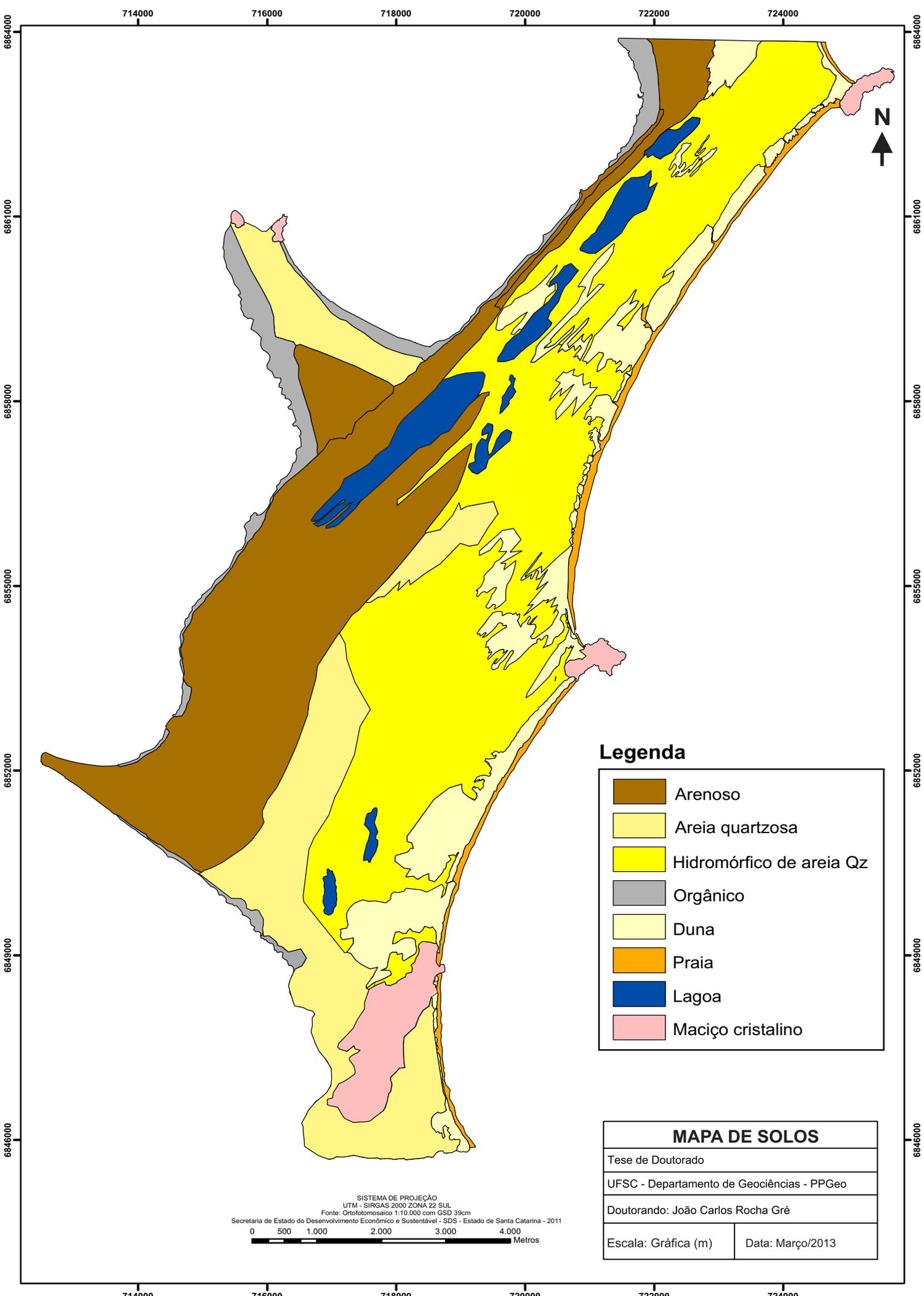
| | |
|--|------------------|
| MAPA GEOMORFOLÓGICO | |
| Tese de Doutorado | |
| UFSC - Departamento de Geociências - PPGeo | |
| Doutorando: João Carlos Rocha Gré | |
| Escala: Gráfica (m) | Data: Março/2013 |

SISTEMA DE PROJEÇÃO
 UTM - SIRGAS 2000 ZONA 22 SUL
 Fonte: Ortofotomosaico 1:10.000 com GSD 39cm
 Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e Sustentável - SDS - Estado de Santa Catarina - 2011

0 500 1.000 2.000 3.000 4.000 Metros

ANEXO 3

MAPA DE SOLOS



Legenda

| | |
|---|--------------------------|
|  | Arenoso |
|  | Areia quartzosa |
|  | Hidromórfico de areia Qz |
|  | Orgânico |
|  | Duna |
|  | Praia |
|  | Lagoa |
|  | Maciço cristalino |

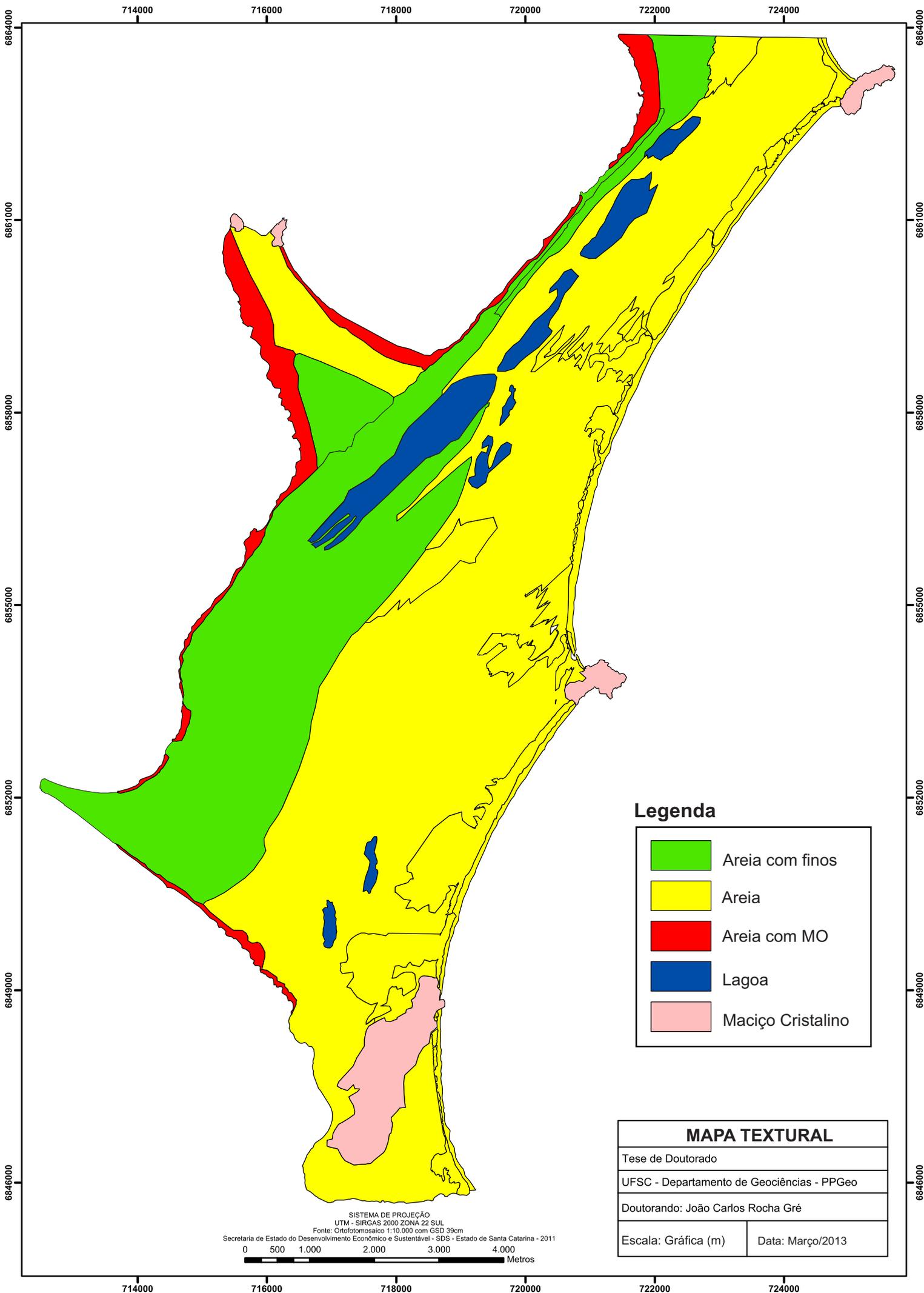
| | |
|--|------------------|
| MAPA DE SOLOS | |
| Tese de Doutorado | |
| UFSC - Departamento de Geociências - PPGeo | |
| Doutorando: João Carlos Rocha Gré | |
| Escala: Gráfica (m) | Data: Março/2013 |

SISTEMA DE PROJEÇÃO
 UTM - SIRGAS 2000 ZONA 22 SUL
 Fonte: Ortofotomosaico 1:10.000 com GSD 39cm
 Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e Sustentável - SDS - Estado de Santa Catarina - 2011



ANEXO 4

MAPA TEXTURAL



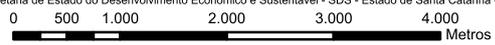
Legenda

| | |
|---|-------------------|
|  | Areia com finos |
|  | Areia |
|  | Areia com MO |
|  | Lagoa |
|  | Maciço Cristalino |

MAPA TEXTURAL

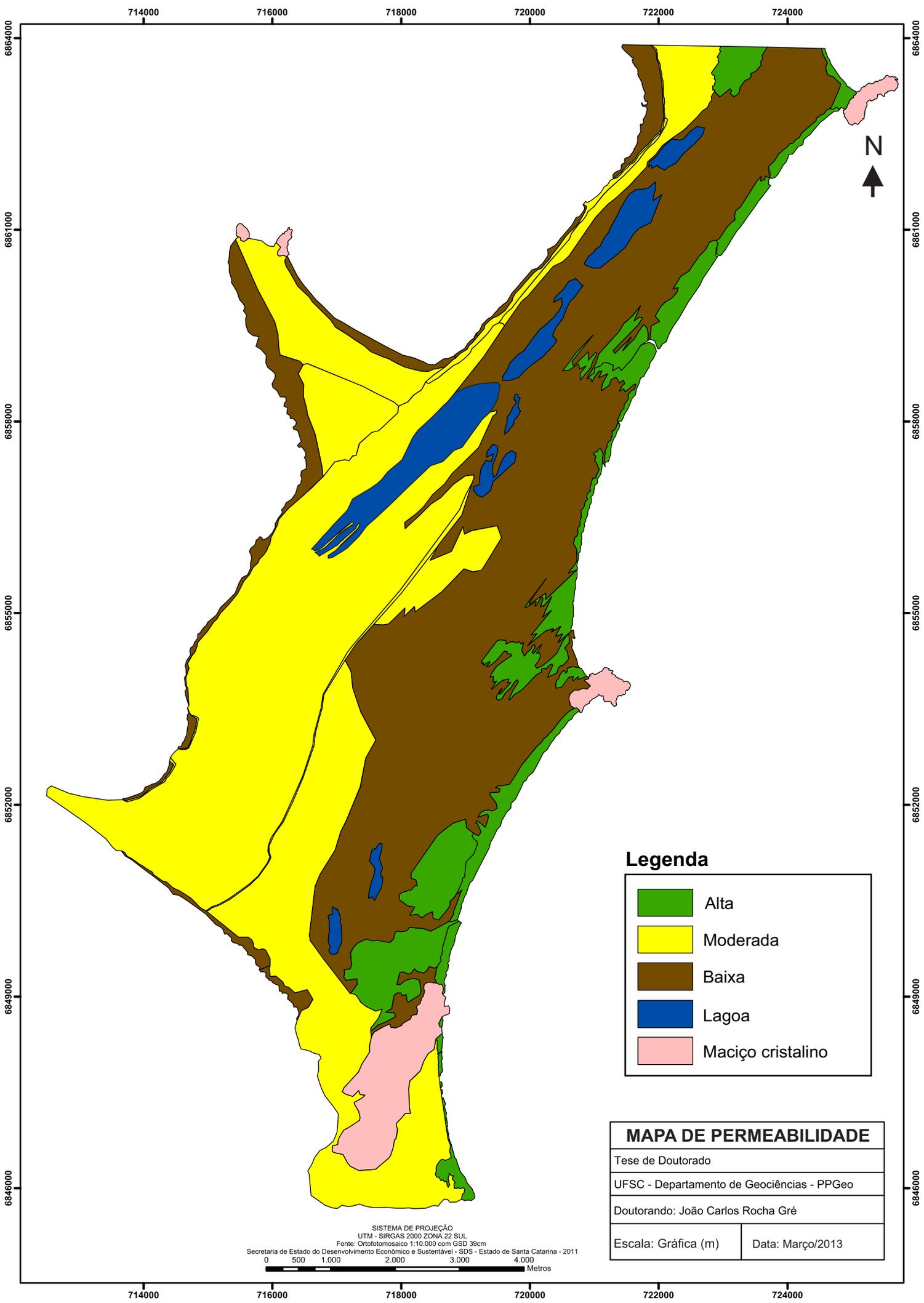
| | |
|--|------------------|
| Tese de Doutorado | |
| UFSC - Departamento de Geociências - PPGeo | |
| Doutorando: João Carlos Rocha Gré | |
| Escala: Gráfica (m) | Data: Março/2013 |

SISTEMA DE PROJEÇÃO
 UTM - SIRGAS 2000 ZONA 22 SUL
 Fonte: Ortofotomosaico 1:10.000 com GSD 39cm
 Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e Sustentável - SDS - Estado de Santa Catarina - 2011



ANEXO 5

MAPA DE PERMEABILIDADE



Legenda

| | |
|---|-------------------|
|  | Alta |
|  | Moderada |
|  | Baixa |
|  | Lagoa |
|  | Maciço cristalino |

MAPA DE PERMEABILIDADE

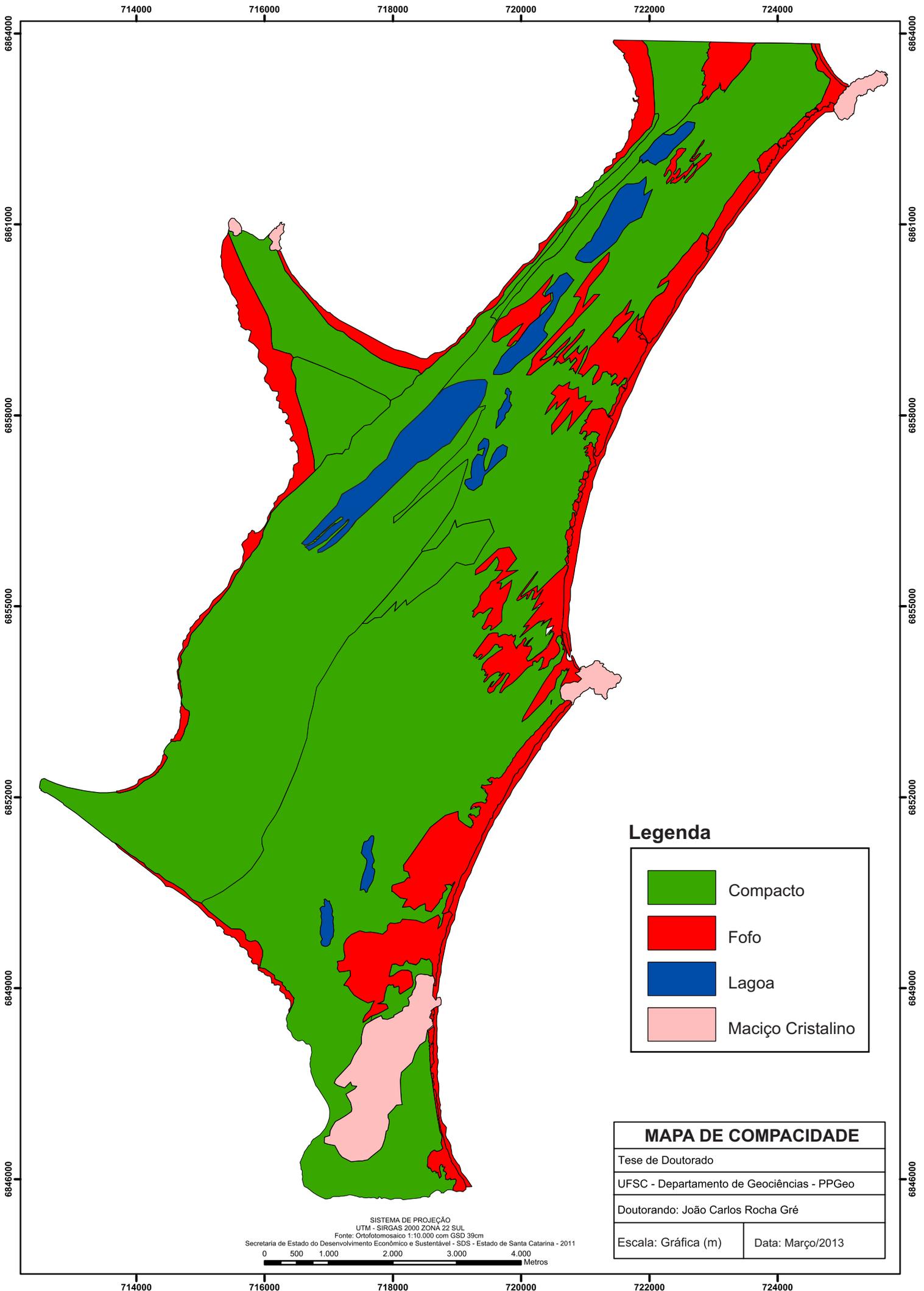
| | |
|--|------------------|
| Tese de Doutorado | |
| UFSC - Departamento de Geociências - PPGeo | |
| Doutorando: João Carlos Rocha Gré | |
| Escala: Gráfica (m) | Data: Março/2013 |

SISTEMA DE PROJEÇÃO
 UTM - SIRGAS 2000 ZONA 22 SUL
 Fonte: Ortofotomosaico 1:10.000 com GSD 39cm
 Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e Sustentável - SDES - Estado de Santa Catarina - 2011



ANEXO 6

MAPA DE COMPACIDADE



Legenda

| | |
|---|-------------------|
|  | Compacto |
|  | Fofo |
|  | Lagoa |
|  | Maciço Cristalino |

MAPA DE COMPACIDADE

Tese de Doutorado

UFSC - Departamento de Geociências - PPGeo

Doutorando: João Carlos Rocha Gré

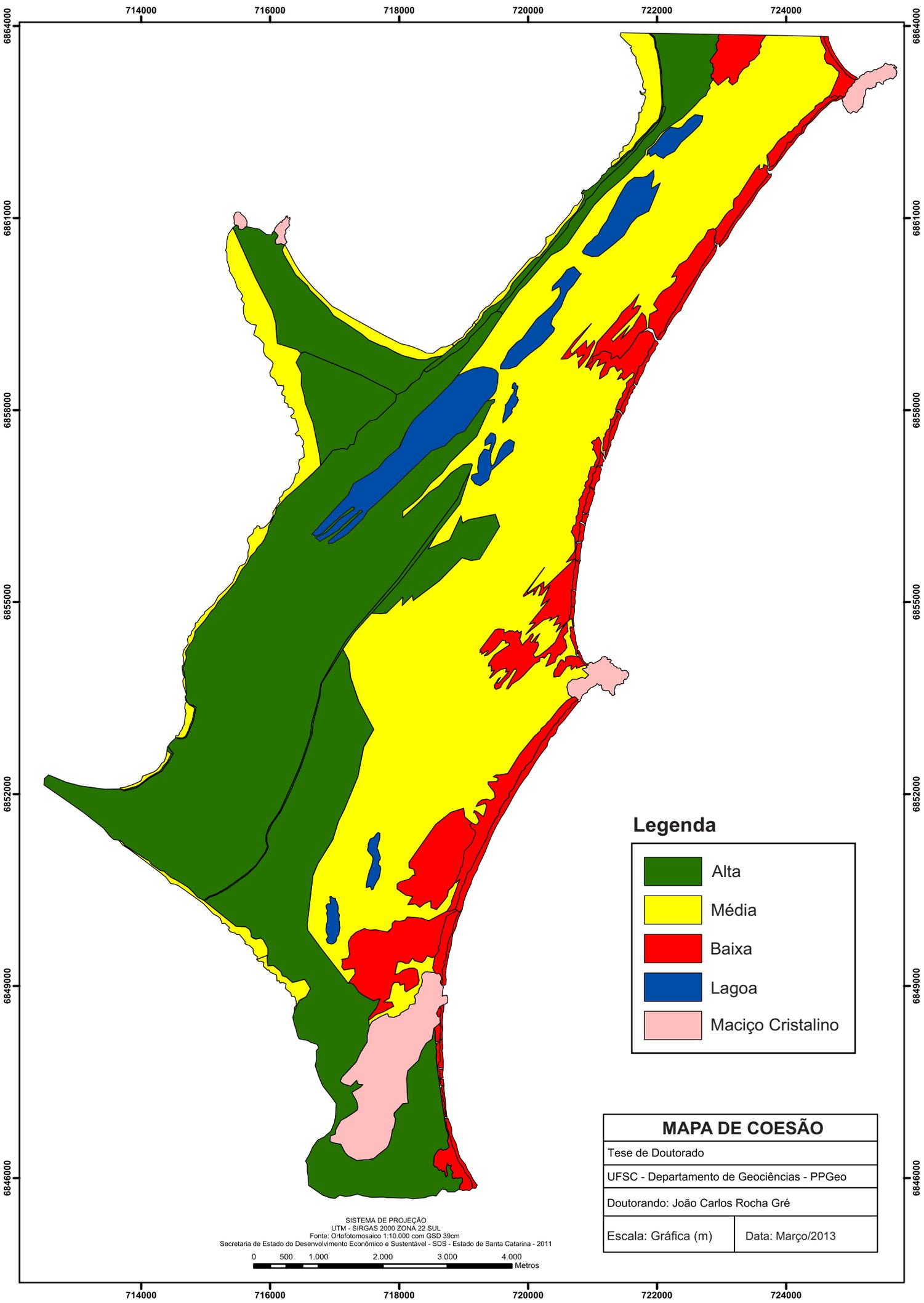
Escala: Gráfica (m)

Data: Março/2013

SISTEMA DE PROJEÇÃO
 UTM - SIRGAS 2000 ZONA 22 SUL
 Fonte: Ortofotomosaico 1:10.000 com GSD 39cm
 Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e Sustentável - SDS - Estado de Santa Catarina - 2011



ANEXO 7
MAPA DE COESÃO



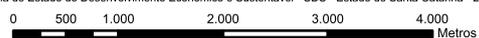
Legenda

| | |
|---|-------------------|
|  | Alta |
|  | Média |
|  | Baixa |
|  | Lagoa |
|  | Maciço Cristalino |

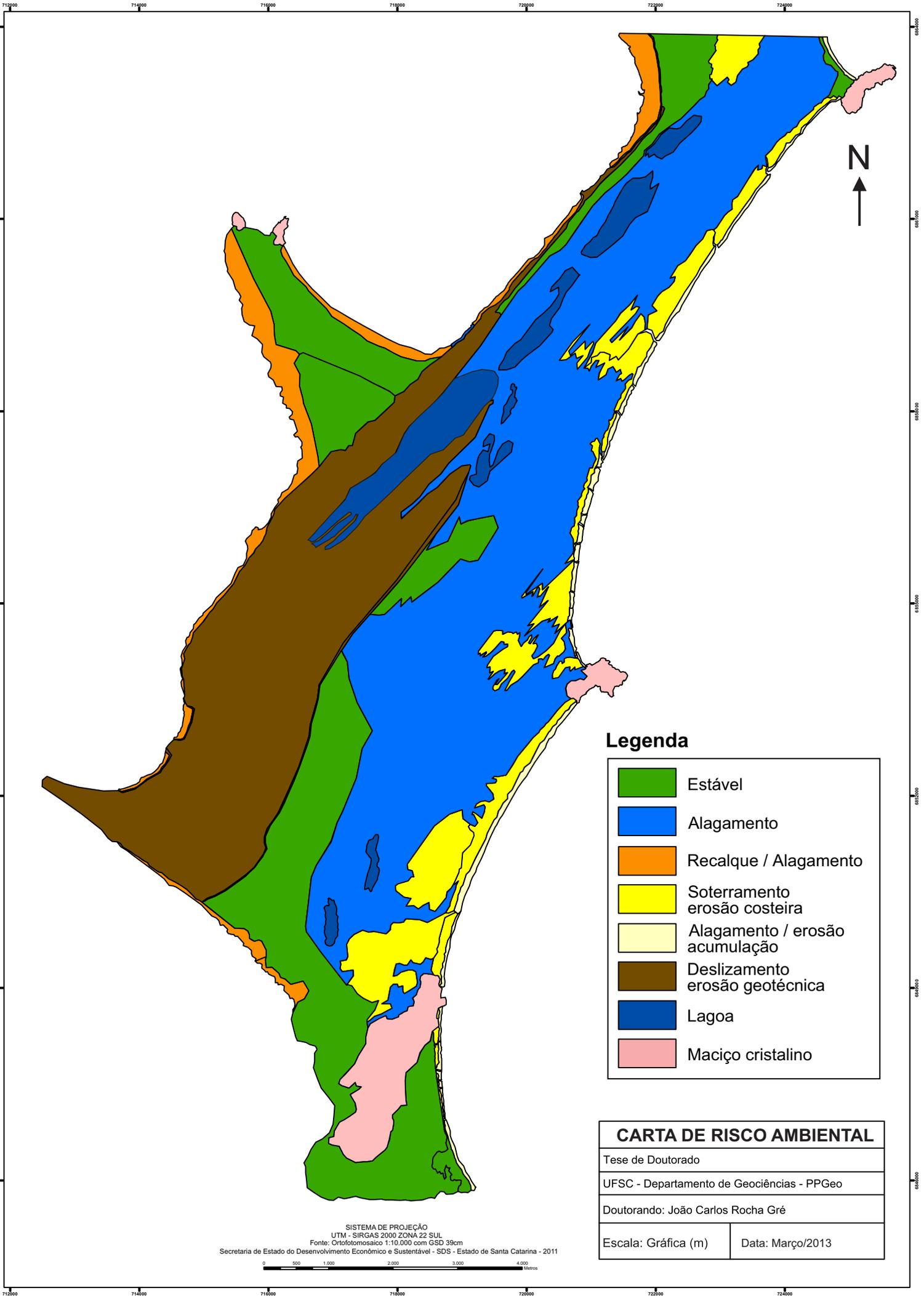
MAPA DE COESÃO

| | |
|--|------------------|
| Tese de Doutorado | |
| UFSC - Departamento de Geociências - PPGeo | |
| Doutorando: João Carlos Rocha Gré | |
| Escala: Gráfica (m) | Data: Março/2013 |

SISTEMA DE PROJEÇÃO
 UTM - SIRGAS 2000 ZONA 22 SUL
 Fonte: Ortofotomosaico 1:10.000 com GSD 39cm
 Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e Sustentável - SDS - Estado de Santa Catarina - 2011



ANEXO 8
CARTA GEOTÉCNICA



Legenda

- Estável
- Alagamento
- Recalque / Alagamento
- Soterramento erosão costeira
- Alagamento / erosão acumulação
- Deslizamento erosão geotécnica
- Lagoa
- Maciço cristalino

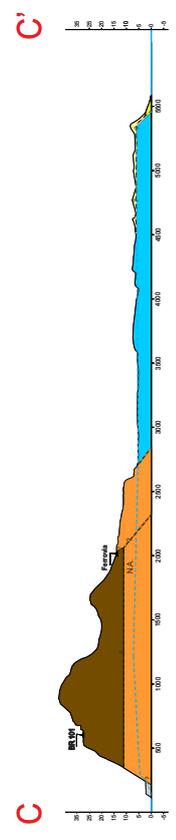
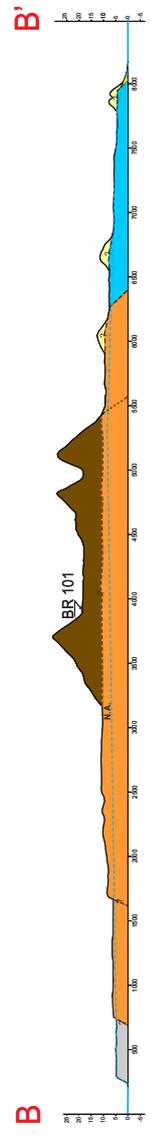
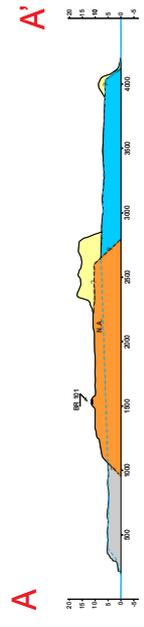
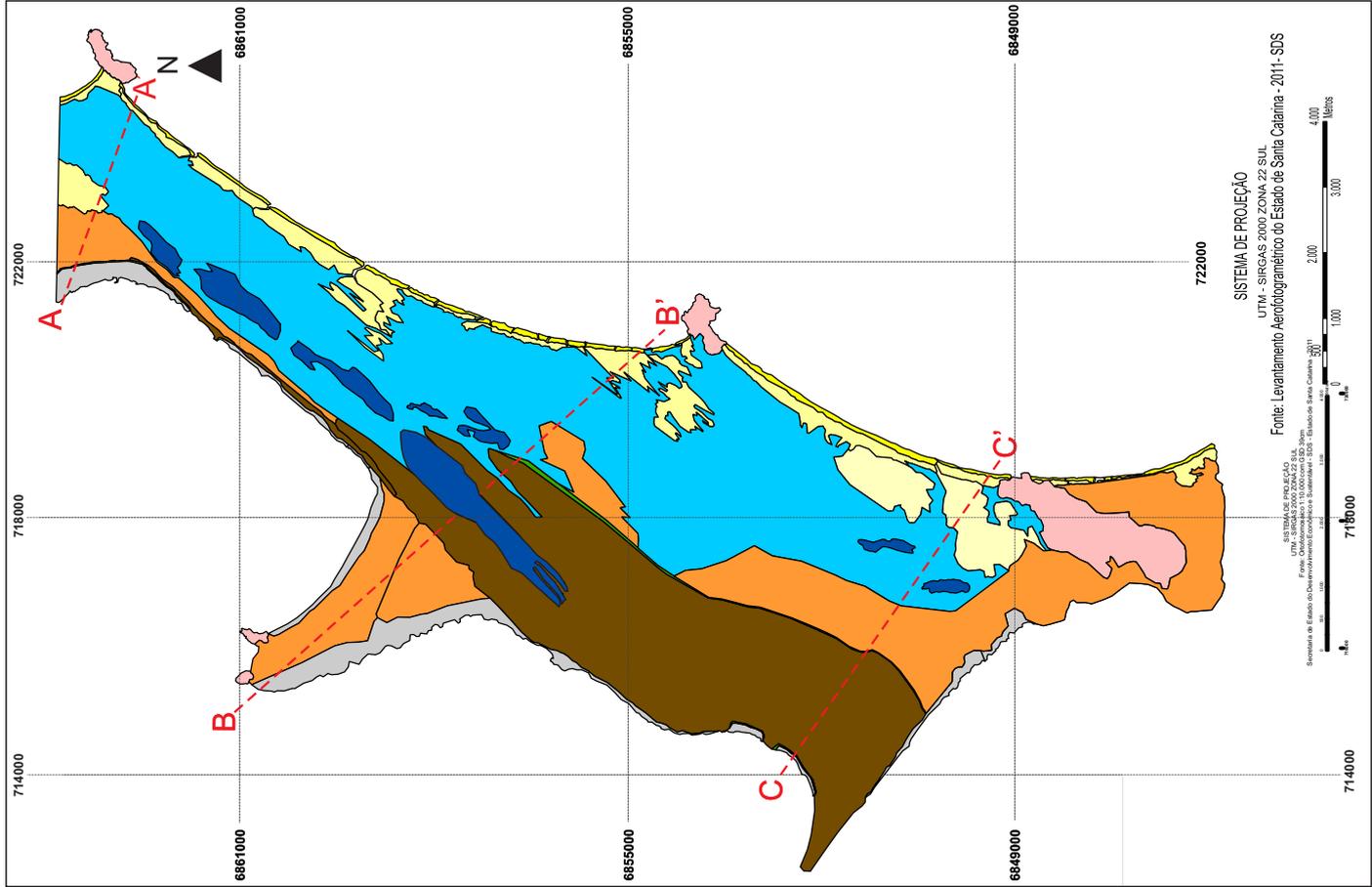
| | |
|--|------------------|
| CARTA DE RISCO AMBIENTAL | |
| Tese de Doutorado | |
| UFSC - Departamento de Geociências - PPGeo | |
| Doutorando: João Carlos Rocha Gré | |
| Escala: Gráfica (m) | Data: Março/2013 |

SISTEMA DE PROJEÇÃO
 UTM - SIRGAS 2000 ZONA 22 SUL
 Fonte: Ortofotomosaico 1:10.000 com GSD 39cm
 Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e Sustentável - SDS - Estado de Santa Catarina - 2011

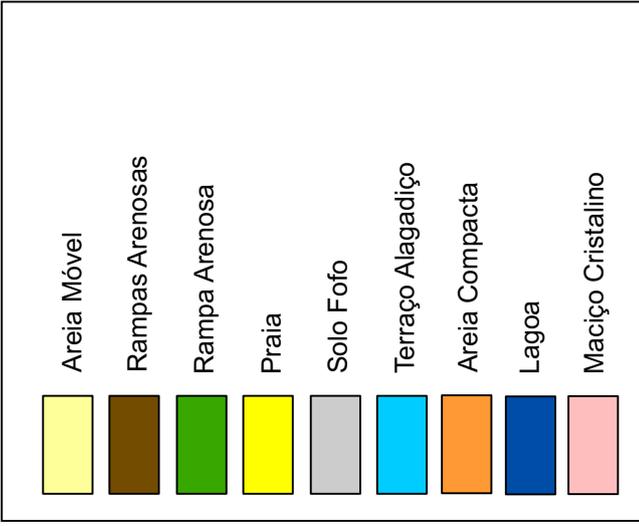


ANEXO 9

MAPA DE RISCO AMBIENTAL



Legenda



| | |
|--|------------------|
| CARTA GEOTÉCNICA | |
| Tese de Doutorado | |
| UFSC - Departamento de Geociências - PPGeo | |
| Doutorando: João Carlos Rocha Gré | |
| Escala: Gráfica (m) | Data: Março/2013 |

ANEXO 10

CARTA DE FAVORABILIDADE

