

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS  
ÁREA DE GEOLOGIA MARINHA**

**GEOLOGIA E EVOLUÇÃO HOLOCÊNICA DO SISTEMA  
LAGUNAR DA "LAGOA DO PEIXE", LITORAL MÉDIO DO RIO  
GRANDE DO SUL, BRASIL**

**TADEU BRAGA AREJANO**

**ORIENTADOR:**

Prof. Dr. LUIZ JOSÉ TOMAZELLI

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

Prof. Dr. LAURO JULIO CALLIARI

Prof. Dr. NORBERTO OLMIRO HORN FILHO

Prof. Dr. SERGIO REBELO DILLENBURG

**Tese de Doutorado apresentada como requisito parcial para obtenção do  
Título de Doutor em Geociências**

**2006**

*À Luciane e Flora,  
meus motivos,  
minhas paixões....*

*Para Ceres, Raul  
meu ombro amigo....  
minha força...*

*Aos Meus Pais, que  
apostaram naquele guri....*

*Estrelas  
e flores marinhas  
te agradecem  
porque vistes  
mais que um santuário  
o céu dentro das águas.*

*JACQUES COSTEAU*

---

---

## SUMÁRIO

---

<b>AGRADECIMENTOS</b>	i
<b>RESUMO</b>	iii
<b>ABSTRACT</b>	iv
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	v
<b>LISTA DE TABELAS</b>	vii
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1. O TEMA DE ESTUDO E SEUS OBJETIVOS	1
1.2. JUSTIFICATIVA DO ESTUDO	3
1.3. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA	4
1.4. ASPECTOS CLIMÁTICOS	6
1.5. PARÂMETROS OCEANOGRÁFICOS (ONDAS, MARÉS E CORRENTES)	9
1.6. ESTUDOS ANTERIORES NA REGIÃO DA LAGOA DO PEIXE	11
<b>CAPÍTULO 2 - CONTEXTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO</b>	<b>12</b>
2.1. CONTEXTO REGIONAL: A PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL	12
2.2. CONTEXTO LOCAL: O SISTEMA LAGUNA-BARREIRA IV NA REGIÃO DA LAGOA DO PEIXE	15
2.2.1. Introdução	15
2.2.2. A Barreira Arenosa (Barreira IV)	15
2.2.3. O Sistema Lagunar da Lagoa do Peixe	19
<b>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>26</b>
3.1. TRABALHOS DE CAMPO	26
3.1.1. Sobrevôo e Aquisição de Fotografias Aéreas	26
3.1.2. Amostragem Sedimentar de Superfície e Mapeamento Geológico-Geomorfológico	29
3.1.3. Levantamento Topográfico de Nivelamento	31

3.1.4. Amostragem Sedimentar de Sub-superfície (Testemunhagens)	33
<b>3.2. TRABALHOS DE LABORATÓRIO</b>	<b>35</b>
3.2.1. Abertura, Descrição e Análise dos Testemunhos	35
3.2.2. Análises Granulométricas	35
3.2.3. Análises Micropaleontológicas (Palinomorfos e Diatomáceas)	37
3.2.4. Análises Geocronológicas (Carbono 14)	37
3.2.5. Análises de Fotografias Aéreas e Imagens de Satélite	38
<b>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS OBTIDOS</b>	<b>40</b>
4.1. MAPA FACIOLÓGICO DOS SEDIMENTOS SUPERFICIAIS (MAPA TEXTURAL)	40
4.2. MAPA GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO	43
4.3. RESULTADOS DE SUB-SUPERFÍCIE (TESTEMUNHOS)	49
4.3.1. Descrição e Interpretação dos Testemunhos	49
4.3.2..Resultados das Análises Palinológicas	56
4.3.3. Resultados das Análises Geocronológicas	63
<b>CAPÍTULO 5 - INTEGRAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS</b>	<b>64</b>
<b>CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES</b>	<b>67</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>69</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>76</b>

---

---

## AGRADECIMENTOS

Ao final deste trabalho, quero agradecer a **Deus** pela oportunidade maravilhosa de trilhar este caminho de vida ao lado de todos aqueles que de uma forma ou outra esteve sempre ao meu lado, e especialmente ao meu **Anjo da guarda**, por cada dia dessa caminhada.

Aos meus **pais**, pela oportunidade que me deram de sonhar e realizar este sonho.

A **Luciane** minha companheira, por todo amor compreensão e paciência para a conclusão deste trabalho.

A **Flora** por ser uma filha maravilhosa.

A **Ceres e Raul** pelas conversas de varanda junto ao chimarrão, pelo apoio, pela força e luz que sempre direcionaram a mim.

Ao meu amigo Ching, por ser incansável.

A todos os colegas de trabalho que estiveram sempre ao meu lado, **André(Bambam), Felipe Caron, Francisco(Paleochico), Frederico(fred)Antiqueira e outros mais.....**

Em especial ao meu orientador **Prof. Dr. Luiz José Tomazelli**, pela parceria, convivência, paciência, sabedoria e estímulo a mim dedicados.

Ao **Professor Dr. Lauro Júlio Calliari**, colega e amigo de tantas jornadas do LOG/FURG, e que muito me ensinou.

Ao **Professor Dr. Carlos Hartmann** colega e amigo que com sua experiência e dedicação contribuiu no geoprocessamento dos dados e pelo estímulo dispensado

Ao **Professor Gilberto Gripp** colega e amigo, pelo apoio dado pelo **LOG**.

Ao **Professor Dr. Carlos R. Tagliane**, pela colaboração nos trabalhos, figuras e pelas preciosas discussões.

A **Professora Dr<sup>a</sup>. Luciana Slomp Esteves**, colega e amiga, pelas discussões no decorrer deste trabalho.

A **Professora Dr<sup>a</sup> Svetlana Medeanic**, por suas contribuições neste trabalho.

Ao **Professor Dr. Jorge Alberto Villwock**, pelo valioso material cedido, durante este trabalho.

Aos **Professores Dr. Elírio E. Toldo Jr. e Dr. Sergio R. Dillenburg**, que com sua experiência muito contribuíram como Banca no exame de Qualificação.

Ao colega e **Professor Dr. Eduardo Barboza**, pelo estímulo durante o curso.

A Tec. em Laboratório Neusa do Laboratório de Oceanografia Geológica (LOGFURG), por suas análises.

Ao Tec. em Geologia **Gilberto Santos** e amigo **Giba (CECO)**, pelas conversas nos corredores e sua amizade.

Aos motoristas Giba, Candinho e Valdir, por idas e vindas ao longo desse litoral.

---

A Lagoa do Peixe é um corpo lagunar raso que mantém uma ligação temporária com o mar através de um único canal de ligação. Hoje em dia, esta laguna ocupa apenas parte de uma faixa de terras baixas posicionada entre duas barreiras arenosas (Barreira III, pleistocênica, e Barreira IV, holocênica) no Litoral Médio do Rio Grande do Sul. Esta faixa de terras baixas corresponde a uma região de retrobarreira (*backbarrier*) e é definida, para fins deste trabalho, como “Sistema Lagunar da Lagoa do Peixe”.

O Sistema Lagunar da Lagoa do Peixe foi investigado, nesta Tese, em seus aspectos geológicos e evolutivos. Com o uso de uma metodologia que envolveu, no campo, levantamentos topográficos, aerofotográficos, amostragem superficial e testemunhagem e, em laboratório, análises sedimentológicas, paleontológicas e geocronológicas, construiu-se um mapa faciológico (textural) do fundo lagunar, além de um mapa geológico-geomorfológico de todo o sistema lagunar. Os mapas mostram uma reduzida variação faciológica de sedimentos terrígenos, restrita, basicamente, à faixa granulométrica de areia fina a lama. Esta grande homogeneidade textural reflete a limitação de áreas fontes disponíveis uma vez que, em consequência da situação geográfica da área de estudo, os sedimentos têm sua proveniência limitada aos sistemas costeiros e marinhos adjacentes (barreira pleistocênica, barreira holocênica e oceano).

Procurou-se reconstituir a história evolutiva do sistema, desde seu início, há mais de 7000 anos, até o estabelecimento da paisagem atual, retratada no mapa geológico-geomorfológico. Os dados mostram que, ao longo do tempo, a espessura da lâmina de água da Lagoa do Peixe se manteve relativamente rasa porém bastante variável, na dependência de variações climáticas e/ou flutuações do nível do mar. Em consequência, durante determinados períodos de sua história a lagoa secou, total ou parcialmente, expondo seu fundo lagunar.

Provavelmente a expansão máxima do corpo lagunar ocorreu durante o máximo transgressivo holocênico, atingido há cerca de 5000 anos. Desde então, a lagoa vem sofrendo um processo de segmentação e colmatação promovida, na sua maior parte, pelo avanço das dunas eólicas transgressivas da Barreira IV. A paisagem atual mostra que o corpo lagunar está praticamente restrito ao setor central do sistema e permite projetar, para o futuro, o desaparecimento total do sistema lagunar. Esta projeção poderá se modificar, na dependência do comportamento dos parâmetros controladores da dinâmica costeira, especialmente a variação do nível relativo do mar.

## **ABSTRACT**

Peixe lagoon is a shallow water body temporarily connected to the sea by a single inlet. At present, this lagoon occupies part of a stretch of low lands located between two sandy barriers (Barrier III, Pleistocene Barrier, and Barrier IV, Holocene Barrier) at the Middle Littoral of Rio Grande do Sul. This stretch of low lands represents the back barrier region that is defined in this study as “Peixe Lagoon Lagoonal System”. This thesis focuses in the geological and evolutionary aspects of Peixe Lagoon Lagoonal System. Fieldwork methods were topographic and aero photograph surveying, and superficial sampling and coring. Sedimentological, palaeontological and geochronological analyses were made at the laboratory so several maps were obtained: a facies map of the lagoonal bottom; and, a geological-geomorphologic map of the entire system. The maps show that the facies of terrigenous sediments underwent small variations that were limited to the grain size range from fine sand to mud. The textural homogeneity reflects the restriction of the available sources of sediment due to the location of the study area: the only sediment sources are the adjacent coastal and oceanic systems (Pleistocene barrier, Holocene barrier and the shoreface). The aim was to reconstruct the evolutionary history of the system, since the beginning of its formation (7000 years BP) until the establishment of the present landforms in the geological-geomorphologic map. Data show that the thickness of the water column at Peixe Lagoon has stayed relatively shallow along time. There were however, large ranges of variation that were dependent on the climatic variations and/or sea level variations. During certain periods in its history the lagoon dried partially or completely and as a consequence, the lagoon bed was exposed (to the atmospheric climate). Probably, the maximum expansion of the lagoon occurred during the transgressive maximum in the Holocene, 5000 years BP. Since then, the lagoon has been segmenting and infilling, mostly due to the inland advance of the transgressive dunes from Barrier IV. The present landscape shows that the lagoon is mostly restricted to the central part of the system indicating that, in the future, the lagoonal system will probably disappear completely. This prediction may be modified, depending on the behaviour of the parameters that control coastal dynamics, especially due to relative sea level variation.

## **LISTA DE FIGURAS**

---

---

Figura. 1 – Mapa de Localização da Área de Estudo.	5
Figura 2. Localização esquemática dos centros de alta e baixa pressão, com as principais zonas de convergência da circulação atmosférica da América do Sul. Modificado de Tozzi (1999).	7
Figura 3. – Províncias Geomorfológica do Rio Grande do Sul (Carraro <i>et all.</i> ,1974) e mapa geológico simplificado da Planície Costeira (Tomazelli & Willvock,2000).(Fonte: Souza, 2002).	12
Figura. 4. Perfil esquemático transversal dos sistemas deposicionais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. As barreiras são correlacionadas aos últimos maiores picos na curva isotópica de oxigênio, (Tomazelli & Villvock ,1999).	13
Figura. 5. Lamas Lagunares exposta na praia oceânica correspondente ao setor norte da Lagoa do Peixe.	16
Figura. 6. Turfa exposta na praia oceânica, setor sul da Lagoa do Peixe, ao fundo Farol da Conceição.	16
Figura. 7. Concentração de minerais pesados na praia oceânica da Barreira IV na região da Lagoa do Peixe.	17
Figura. 8. Arenitos praias pleistocênicos(correlativos a Barreira III) expostos na praia oceânica adjacente ao setor sul da lagoa do Peixe.	18
Figura. 9. Barcanas e cadeias de dunas barcanoides orientadas perpendicularmente ao vento dominante NE avançando sobre o sistema lagunar adjacente.	19
Figura. 10. Área provida de macrofitas submersas, baixa profundidade e grande concentração de aves pela busca de alimento.	20
Figura. 11 Barra da Lagoa oclusa pela deposição de areia, Março 2002.	21
Figura. 12. Aves migratórias e residentes dividem o espaço na lagoa.	22
Figura. 13 Margem leste da lagoa exposta durante o dia devido ao efeito dos ventos que represam as águas contra a margem oeste.	24
Figura. 14. Ao final da tarde o nível da lagoa volta a normalizar inundando as áreas exposta durante o dia.	24
Figura. 15. Foto Índice UTM das linhas de vôo sobre a área de estudo.	28
Figura. 16. Mapa de localização dos pontos amostrados.	30
Figura. 17. Mapa de localização dos perfis.	32

Figura. 18. Principais componentes do sistema de testemunhagem a vibração Motor, Mangote, Braçadeira, Ponteira e Tripé.	33
Figura. 19. Mapa de localização dos Testemunhos.	34
Figura. 20. Fluxograma das etapas da análise granulométrica das amostras.	36
Figura. 21. Mosaico Ilustrando o Perfil 02 Setor Norte.	39
Figura. 22 Mapa faciológico dos sedimentos superficiais de fundo da LP	42
Figura. 23 Mapa Geológico – Geomorfológico.	45
Figura. 24. Perfil Esquemático.	48
Figura. 25 Seção colunar do testemunho T 09 com a descrição e interpretação das fácies e a profundidade de coleta de amostras para datação por radiocarbono. Observe-se, também, a posição da fácies C ilustrada na fotografia da Figura 26.	50
Figura. 26 Fotografia de uma seção do testemunho T 09, mostrando uma fácies com interestratificação de areia e lama (estratificação lenticular – <i>linsen</i> ). A fácies é granocrescente com o conteúdo e a espessura das lentes de areia aumentando da base para o topo.	51
Figura. 27 Seção colunar do testemunho T 01, com a descrição e interpretação das fácies e a profundidade de coleta de amostra para datação por radiocarbono. Observe-se, também, a posição da camada de cascalho biodetrítico, dentro da Fácies C, ilustrada na fotografia da Figura 28.	53
Figura. 28 Fotografia de uma seção do testemunho T 01 (Fácies C), mostrando uma fácies de lama arenosa contendo, de forma dispersa, conchas (inteiras e fragmentadas) de moluscos.	54
Figura. 29 Fotografias ilustrativas de algumas das principais espécies de moluscos encontradas nos testemunhos analisados e que apresentam um excelente grau de preservação. A – <i>Tagelus plebeus</i> (T06); B – <i>Erodona mactroide</i> (T09); C – <i>Buccinanops gradatum</i> (T09); D – <i>Strigilla carnaria</i> (T02).	55
Figura. 30 Palinodiagrama resultante da análise de 43 amostras do testemunho T09.	62

---

---

## LISTA DE TABELAS

Tabela. 01. Descrição dos componentes do Sistema ADAR 1000	26
Tabela. 02. Localização geográfica dos marcos e alinhamentos dos perfis topográficos na área da Lagoa do Peixe.	31
Tabela. 03. Localização (coordenadas) dos testemunhos e comprimento recuperado.	49
Tabela. 04. Idades radiocarbono e tipo de material amostrado nos testemunhos. Amostras processadas no laboratório Beta Analytic Inc (Miami, Florida). Calibração $2\sigma$ .	63



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. O TEMA DE ESTUDO E SEUS OBJETIVOS

As lagunas costeiras são corpos de água separados do mar adjacente por uma barreira, em geral de natureza arenosa (Barnes, 1980). Possuem profundidades rasas e se desenvolvem, preferencialmente, em costas dominadas pela ação das ondas. São ambientes abrigados, de nível energético relativamente baixo uma vez que a barreira os protege da ação direta das ondas. A conexão – permanente ou temporária – com o mar, faz-se através de um ou mais canais de ligação. A presença dos canais de ligação interceptando a barreira, e o seu papel na troca de água entre o mar e a laguna, é o fator principal que diferencia, sob o ponto de vista geomorfológico e ambiental, as lagunas dos lagos costeiros.

As características geomorfológicas acima descritas conferem às lagunas uma importância ecológica muito grande dentre os sistemas ambientais costeiros. As lagunas são locais propícios para o desenvolvimento de uma rica biota. São sítios de alta produtividade orgânica. Além das espécies essencialmente lagunares que nelas vivem, muitas espécies marinhas necessitam igualmente de habitats lagunares ou estuarinos para sobreviver, passando nestes ambientes uma parte de seu ciclo vital.

Sob o ponto de vista geológico, de registro estratigráfico, os sistemas do tipo laguna/barreira também apresentam uma importância de destaque dentre os sistemas deposicionais costeiros. Muitos recursos econômicos (placers de minerais pesados, óleo, gás, água, areias para construção civil) têm sido explorados de depósitos acumulados neste tipo de sistema em muitas bacias sedimentares do mundo.

O trabalho aqui apresentado pretende contribuir para um melhor conhecimento da geologia, geomorfologia e história evolutiva de um destes sistemas lagunares – o sistema lagunar da Lagoa do Peixe, desenvolvido no Litoral Médio do Rio Grande do Sul. A contribuição ao conhecimento deste sistema será feita através da busca dos seguintes objetivos:

1. A construção de um mapa representativo das fácies texturais dos sedimentos superficiais acumulados no sistema deposicional de retro-barreira (*backbarrier*) da Lagoa do Peixe;
2. A construção de um mapa geológico-geomorfológico da região, com base em levantamentos topográficos (perfis transversais ao sistema) e interpretação por sensoriamento remoto (fotografias aéreas e imagens de satélite);
3. O estabelecimento de uma história evolutiva para o sistema, a partir de dados sedimentológicos, micropaleontológicos e geocronológicos obtidos em testemunhos.

As informações mapas geradas poderão compor um banco de dados que hoje integrado a um sistema Geográfico de Informações (SGI), permitira a espacialização da informação, fundamental para um programa gestor da área.

Por outro lado a automatização das informações tem por objetivo facilitar o gerenciamento, ao mesmo tempo o acompanhamento da continuidade deste sistema lagunar e costeiro.

## 1.2. JUSTIFICATIVA DO ESTUDO

A Lagoa do Peixe apresenta algumas características peculiares que a tornam um ambiente bastante singular dentre os inúmeros corpos lagunares existentes na Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Ao longo da costa do Estado ela é a única laguna intermitente, ou seja, que possui uma ligação direta com o mar apenas durante determinados períodos de tempo. É um corpo de água alongado (cerca de 35 km de extensão e largura média de 1 km), extremamente raso (profundidades em geral menores que 30 cm) e que se conecta com o mar através de um único canal de ligação. Na dependência da hidrodinâmica lagunar e marinha, ou da interferência direta do homem, o canal permanece aberto ou fechado, ocasionando importantes mudanças ambientais no sistema.

As águas rasas da laguna facilitam a obtenção de alimentos por parte da avifauna, um dos fatores determinantes para que a região seja considerada um dos mais importantes locais de alimentação, descanso e reprodução de aves aquáticas. Este comportamento ambiental foi um dos principais estímulos que levou à criação, em 1986, do Parque Nacional da Lagoa do Peixe (PARNA), uma Unidade de Conservação de importância em nível mundial, considerada como Reserva da Biosfera da Mata Atlântica na categoria de Zona de Núcleo. Este diploma é concedido pela UNESCO, dentro do Programa MAB (L'Homme et la Biosphère) através do COBRAMAB- Comitê Brasileiro do Programa Homem e a Biosfera e representa o reconhecimento oficial da UNESCO sobre a importância deste ecossistema para a sobrevivência da vida no Planeta. Como Sítio em junho de 1993, quando da adesão do Brasil como parte contratante à Convenção de Ramsar relativa à conservação de ambientes aquáticos de importância internacional e em 1991 na Rede Hemisférica de Reserva de Aves Limícolas pela International Association of Fish Wildlife Agency na categoria de Reserva Internacional.

As reservas da Biosfera formam uma rede planetária cuja finalidade é conservar a diversidade biológica e ensinar ao homem como viver em harmonia com a natureza. A chave do êxito consiste na utilização racional da zona – tampão, que deve ao mesmo tempo assegurar a sobrevivência econômica das populações da região e permitir que adquiram uma certa consciência ecológica.

Apesar de sua reconhecida importância ecológica, o sistema lagunar da Lagoa do Peixe é ainda muito pouco conhecido nos aspectos relacionados à geologia, geomorfologia

e sua história evolutiva, temas principais aqui abordados e que justificam plenamente este trabalho. O estudo aqui apresentado deverá também contribuir para um melhor conhecimento da evolução da costa do Rio Grande do Sul durante o Holoceno, trazendo novos dados sobre a geologia do Litoral Médio, um segmento costeiro ainda muito pouco estudado.

### 1.3. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

A área de estudo localiza-se na porção média do litoral do Rio Grande do Sul, na estreita faixa de terras que separa a Lagoa dos Patos do Oceano Atlântico, e que é conhecida, na literatura, como Restinga da Lagoa dos Patos ou Barreira Múltipla Complexa da Lagoa dos Patos (Villwock, 1984). É delimitada pelas coordenadas geográficas  $31^{\circ} 26' S / 51^{\circ} 10' W$  e  $31^{\circ} 14' S / 50^{\circ} 54' W$ , pertencendo, na sua maior parte, ao município de Tavares e, em porção menor, ao município de Mostardas (Fig. 1).

O acesso à área, a partir de Porto Alegre, é feito utilizando-se a RS-040 em direção a Pinhal, dobrando a direita no município de Capivari (km 80) e seguindo pela RST-101 até o município de Mostardas. A partir de Mostardas a área de estudo pode ser acessada através de estradas secundárias sem pavimentação e que, em determinadas épocas do ano, tornam-se quase que intransitáveis devido à grande quantidade de areia presente.

O acesso à área de estudo, a partir do sul do Estado, pode ser feito pelo município de Rio Grande, utilizando-se uma balsa até o município de São Jose do Norte e seguindo-se, pela Br 101, em direção a Bujuru, Tavares e Mostardas. O acesso pode também ser feito utilizando-se a praia oceânica em direção ao Litoral Norte, passando-se pelos balneários dos municípios citados anteriormente.

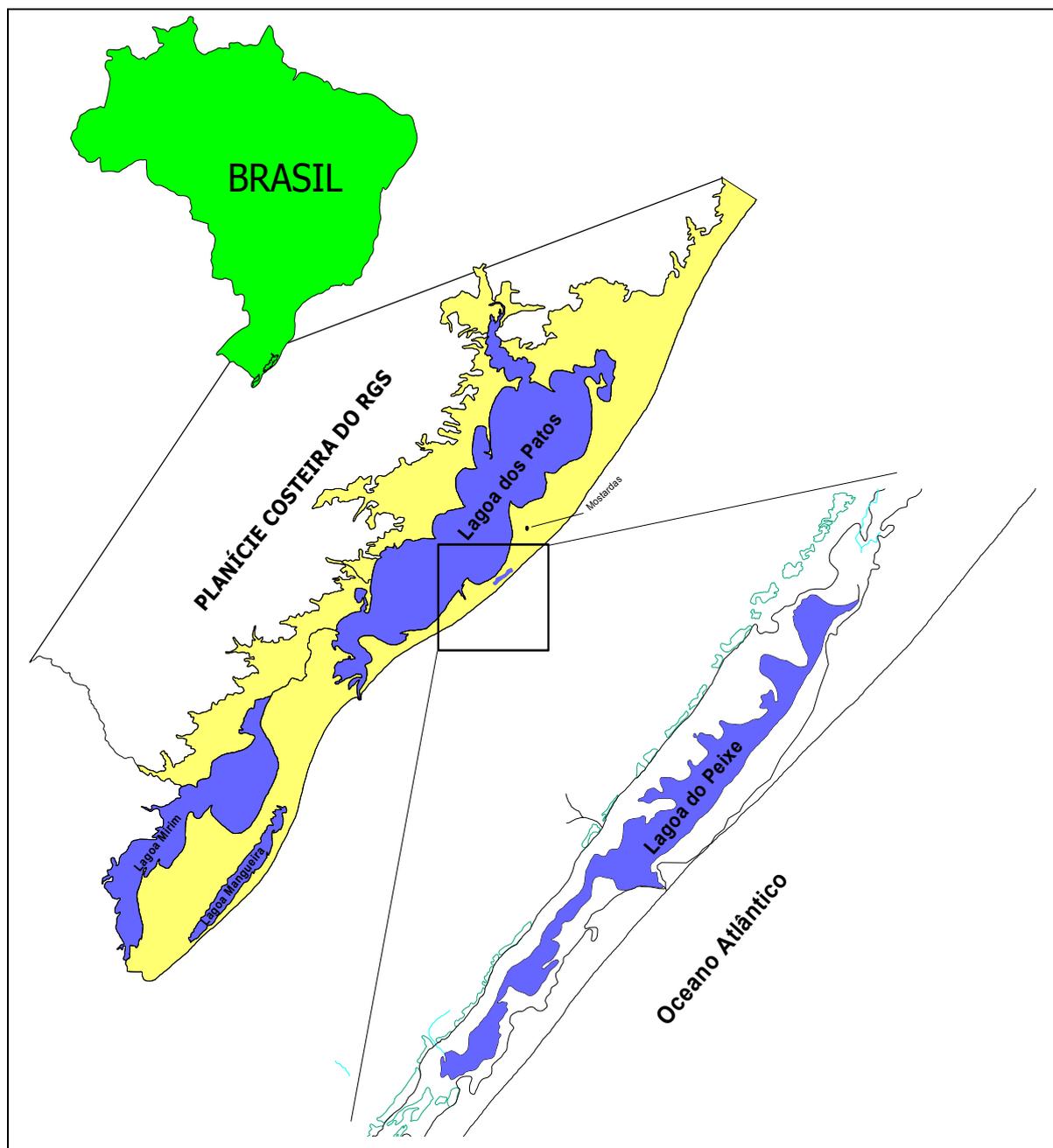


Fig. 1 – Mapa de Localização da Área de Estudo

#### 1.4. ASPECTOS CLIMÁTICOS

O Rio Grande do Sul está numa posição geográfica e latitudinal singular, do ponto de vista climático e meteorológico, pois o paralelo 30° representa a passagem da zona tropical à temperada, obedecida à escala de temperaturas decrescentes das baixas para as altas latitudes. A região sul do Brasil é dominada pelo clima mesotérmico brando, superúmido, sem estação seca definida e por Köppen (1948) como clima (Cic), apresentam taxas de precipitação média entre 1200 e 1500 mm anuais, porém bastante variáveis, sazonal e anualmente. Tal variação se explica pela intensidade e frequência da passagem de sistemas frontais (frente frias) predominantes nas condições meteorológicas de inverno, provocando tempestades e ocorrência de marés meteorológicas, pois há a pré-condição à evaporação devido ao extenso litoral regido por correntes quentes (Nimer, 1977).

Segundo Nobre (1986), a região situa-se na fronteira entre as latitudes subtropicais e latitudes médias temperadas da borda oeste do Atlântico Sul Ocidental, o que confere um papel importante no condicionamento climático.

Na classificação de Köppen (1948), as adjacências da laguna dos Patos são enquadradas no tipo climático C<sub>fag</sub>, mesotérmico sem estação seca, de verão quente varrido pelos ventos de nordeste durante a maior parte do ano, com chuvas distribuídas e temperaturas amenizadas pela vizinhança do Atlântico associado às massas de águas interiores. A temperatura média anual fica em torno de 17,5° C, com máximas e mínimas absolutas acima de 38 ° C e baixo de 0 ° C, respectivamente. Os ventos predominantes são de nordeste. As chuvas são bem distribuídas, com médias de 1.300 mm anuais, com aumento dos índices no inverno (Nimer, 1977).

A Figura 2 mostra o regime de ventos e massas de ar no sul do Brasil, vinculado às altas pressões tropicais e polares, representadas pelo Anticiclone Tropical semi-fixo do Atlântico Sul (ATAS) e o anticiclone Polar Migratório (APM) (Fonzar, 1994). Segundo Godolphim (1976), a alternância entre estes dois sistemas favorece a predominância de ventos do quadrante NE nos meses de setembro à março e a influência dos ventos do quadrante SW de abril à agosto. O movimento zonal do Anticiclone Tropical semi-fixo do Atlântico Sul (ATAS) permite a alternância com o Anticiclone Polar Móvel determinando a circulação de ventos, massas de ar e a sazonalidade do deslocamento de sistemas frontais e linhas de instabilidade (Fonzar, 1994). Os ventos da região atuam e são provenientes de todas as direções, no qual os ventos de NE, NNE, ENE constituem o grupo dos ventos predominantes, sendo o NE o principal. Entre os ventos de E-S, os que atuam no quadrante

SE são predominantes. Os ventos dos quadrantes SSW, SW e WSW são associados a eventos de tempestades e, juntamente com os ventos de SE e S, provocam o empilhamento de água junto à costa elevando o nível do mar, principalmente nos meses de inverno, quando aumentam de intensidade (Delaney, 1965; Calliari, 1980; Tomazelli, 1993).

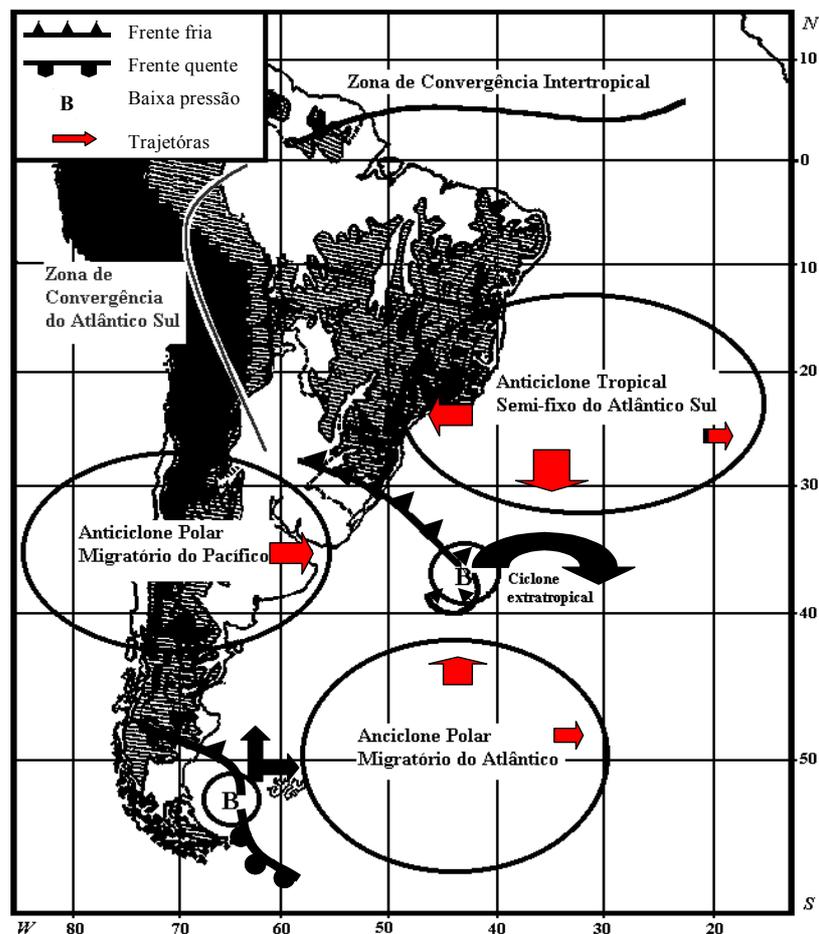


Fig. 2. Localização esquemática dos centros de alta e baixa pressão, com as principais zonas de convergência da circulação atmosférica da América do Sul. Modificado de Tozzi (1999).

A região sul do Brasil é afetada por vários sistemas sinópticos e subsinópticos, assim como por alguns fatores associados à circulação de grande escala e às circulações locais da América do Sul. Para a escala sinóptica, os sistemas frontais (Sfs) (i), formam-se com o encontro da APM e da ATAS, passam pela Argentina e seguem para o Nordeste. Existem os sistemas que se desenvolvem no sul e sudeste do Brasil (ii), associados a vórtices ciclônicos ou cavados de altos níveis que chegam pela costa oeste da América do Sul vindos do Pacífico. Outros sistemas, são os que se organizam no sul e sudeste do Brasil (iii) com intensa convecção associada a instabilidade causada pelo jato subtropical e os sistemas que se organizam ao sul do Brasil resultantes de frontogênese ou ciclogênese (iv) (Nobre, 1986).

Os sistemas frontais (Sfs) que se deslocam sobre o Brasil estão entre as mais importantes perturbações atmosféricas responsáveis pela precipitação e mudanças de temperatura em quase todo o país, mesmo em regiões tropicais (Climanálise, 1986), tendo grande importância e influência no clima do RS. Originários de ondas baroclínicas de latitudes médias, com escala espacial de 3000 km, que estão imersas nos ventos de oeste de altos níveis, os Sfs propagam-se de sudoeste para nordeste ao longo da costa leste da América do Sul, onde chegam a atingir latitudes tropicais (Nobre, 1986).

Durante a maior parte do ano (com exceção do inverno) estes Sfs sobre a América do Sul interagem com a convecção tropical (nuvens cúmulos profundos responsáveis pela maior parte da precipitação da região tropical e subtropical do país), organizando e acentuando tal convecção (Climanálise, 1986).

Seis a sete sistemas frontais por mês atingem a região costeira do sul do Brasil, diminuindo para 4 a 5 na região sudeste (Oliveira, 1986). Segundo Oliveira (1986), o número de frentes é ligeiramente maior no período inverno (6-7) e mínimo em março e abril (5-6) na região sul. Na região sudeste, o número máximo de frentes ocorre em outubro (6) e mínimo em fevereiro (3). Britto e Krusche (1996) estudaram os sistemas frontais que ocorreram no período de 1993 a 1995, na região de Rio Grande, RS. As autoras mostraram que a média sazonal das frentes frias é de 16 por estação, ocorrendo no inverno e primavera as maiores médias de frequência.

## 1.5. PARÂMETROS OCEANOGRÁFICOS (Ondas, Marés e Correntes)

O Rio Grande do Sul apresenta uma costa tipicamente dominada por ondas com baixa influência da maré astronômica. Suas praias são amplamente expostas à ação das ondas devido a seu caráter aberto, sendo por elas diretamente influenciadas. Esse regime, associado à alta disponibilidade de areia na plataforma, favorece a formação de longas barreiras arenosas que apresentam uma grande continuidade ao longo da costa.

Poucos são os estudos do clima de ondas para a região. Trabalhos e dados significativos foram inicialmente registrados por Wainer (1963) e posteriormente foram aplicados por Motta (1967, 1969) na região de Tramandaí e desembocadura da Lagoa dos Patos, respectivamente.

De acordo com Motta (1969), Tomazelli & Villwock (1992), Calliari & Klein (1993, 1995) e Tozzi (1995), dois tipos de onda principais atuam na zona costeira do Rio Grande do Sul, as vagas (“*sea*”) geradas por ventos locais e as ondulações (“*swell*”) originadas a longa distância da costa. Também ocorrem ondas mistas, que é a mistura dos dois tipos descritos. Motta (1969) concluiu que o período significativo de maior frequência corresponde a 9 segundos, podendo passar de 12 segundos em eventos de tempestade, mas dificilmente ultrapassando 15 segundos.

Este autor constatou que as ondulações de maior energia e menor esbeltez são provenientes de sudeste, vagas e ondulações pequenas com menor energia e maior esbeltez provenientes do quadrante leste-nordeste. As ondas de sul são raras e associadas a fortes tempestades. A altura significativa mais frequente, para profundidades entre 15 e 20 m, é de 1,5 m. A altura máxima anual é de 3,5 m e, esporadicamente (estimada para um período de 30 anos), alcança 7 m.

Coli e Mata (1993) obtiveram, através de altimetria por satélite, valores médios de alturas significativas mínimas e máximas de 1,4 a 2,8 m no verão e 1,8 a 3,8 m no inverno para a região sul. Analisando dados históricos e altimétricos, Coli (1994) observou que a média da altura significativa de onda é maior no inverno em relação ao verão e que o outono e a primavera apresentam um padrão transicional, menos definido que no inverno e no verão.

As tábuas de marés da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) mostram que as marés astronômicas na costa do Rio Grande do Sul são classificadas como diurnas, com preamares máximas de 1.2 m, baixa-mares mínimas de 0.22 m, tendo amplitude média de 0,46 m e máxima de 0,80 m para o outono e primavera. A maré astronômica não representa grande influência para os processos sedimentares da região, mas o aumento das

condições dinâmicas do mar devido a fatores meteorológicos amplia o efeito das micromarés. Em certas situações, a maré meteorológica pode ultrapassar em até 1 m a maré astronômica, constituindo-se em um agente modelador responsável por bruscas alterações na morfologia das praias e no volume de sedimentos disponibilizados (Calliari *et al.*, 1998).

Com respeito às correntes litorâneas e o seu efeito na deriva dos sedimentos, Tomazelli & Villwock (1992), observando indicadores geomorfológicos, mostraram que a deriva resultante se faz de SW para NE, concordando com os estudos já realizados anteriormente por Motta (1967).

Raros são os estudos quantitativos sobre a capacidade de transporte das correntes na costa do Rio Grande do Sul. Conforme Motta (1969), o volume estimado de transporte de sedimentos na costa gaúcha é da ordem de 200.000 m<sup>3</sup>/ano, com direção preferencial de sudoeste-nordeste, a partir do qual tais valores de balanço sedimentar estabelecem um perfil de equilíbrio entre a plataforma interna e a setores praias.

Em seu estudo para a praia de Tramandaí, Motta (1963) atribuiu o predomínio de correntes de deriva litorânea para SW, devido ao domínio dos ventos de NE, porém reconheceu que as correntes que têm maior papel erosivo e de transporte de sedimentos são as correntes de sentido SW-NE, originadas da maior energia de ondulações providas de SE e S.

Através de dados de intensidade da corrente de deriva litorânea, Alvarez *et al.* (1981), estudou a região de São José do Norte, litoral médio sul do estado. Este autor obteve médias de velocidade de corrente entre 0,2 e 0,60 m/s para inverno e verão. De maneira geral, as correntes foram mais intensas no inverno do que no verão. O valor máximo foi de 1 m/s no inverno, havendo o predomínio de correntes no sentido SW-NE para esta estação. Já no verão, segundo este estudo, o sentido predominante das correntes de deriva seria de NE-SW.

Calliari & Fachin (1993) obtiveram respostas instantâneas das correntes superficiais em função da variação da direção dos ventos, para o litoral sul do Estado. Os autores sugerem que correntes de NE seriam responsáveis pelo transporte de sedimentos finos em direção ao sul, pela maior frequência e menor intensidade desta corrente. Já os sedimentos arenosos seriam transportados em direção ao norte por correntes originadas pela incidência de ondas oblíquas em relação a linha de costa.

Toldo Jr. *et al.* (1993), realizaram medições de corrente de deriva para região praias de Tramandaí, verificando alta variação na direção das correntes.

Buchmann *et al.*(1999) e Buchmann & Tomazelli (2000), atribuem a atuação de correntes perpendiculares (“*cross-shore*”) em períodos de tempestade ao transporte de fragmentos rochosos e de fósseis erodidos de altos topográficos submersos (parcéis) localizados na antepraia correspondente a área de estudos deste trabalho (Farol da Conceição, Mostardas, Farol da Solidão).

#### 1.6. ESTUDOS ANTERIORES NA REGIÃO DA LAGOA DO PEIXE

Devido à sua importância ambiental, a região da Lagoa do Peixe tem sido objeto de vários estudos, principalmente por parte de pesquisadores ligados à ecologia. Dentre os vários trabalhos dedicados aos aspectos bióticos da região podem ser citadas as contribuições de Loebmann(2004), Knak(1998), Waldemarin(1997) e Dorneles(2004 ).

Já os estudos precedentes voltados ao meio físico, e especialmente à geologia e geomorfologia, são bastante reduzidos. Estes aspectos da região em geral foram abordados como partes integrantes de trabalhos mais amplos que envolviam todo o Litoral Médio ou, até mesmo, toda a Planície Costeira do Rio Grande do Sul, como mostram as contribuições de Delaney (1965), Zeltzer(1976), Villwock (1984), Villwock e Tomazelli (1995) e Tomazelli e Villwock (2000).

Dentre os poucos trabalhos que focalizaram especificamente a geologia e geomorfologia da área de estudo podem ser destacadas as contribuições de Tagliani (1991) e de Tagliani *et al.*(1992). Este autor participou de um projeto de pesquisa com o objetivo de realizar um estudo da geologia e morfodinâmica do Parque Nacional da Lagoa do Peixe, cujos resultados parciais foram publicados em um resumo na IV Semana Nacional de Oceanografia da UERJ, Rio de Janeiro (Tagliani.1991). No ano seguinte, publicou um mapa geomorfológico da parte sul do Parque, elaborado pela interpretação de fotografias aéreas na escala 1:60.000 (Tagliani *et al.*,1992). Posteriormente, em várias oportunidades, contribuiu com estudos de impacto ambiental realizados na região, elaborando um banco de dados digitais de toda a restinga da Lagoa dos Patos, com digitalização de mapas existentes e elaboração de mapas interpretativos e prescritivos, utilizando técnicas de geoprocessamento.

## 2. CONTEXTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO

### 2.1.CONTEXTO REGIONAL: A PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL

Carraro et al. (1974) propuseram a divisão do Estado do Rio Grande do Sul em quatro províncias geomorfológicas: o Planalto, a Depressão Periférica, O Escudo Sul-Rio-Grandense e a Planície Costeira. A Planície Costeira, com cerca de 33.000 km<sup>2</sup> possui uma linha de costa que se estende por cerca de 630 km, desde Torres, ao Norte, até a foz do Arroio Chuí, ao Sul (Fig. 3).

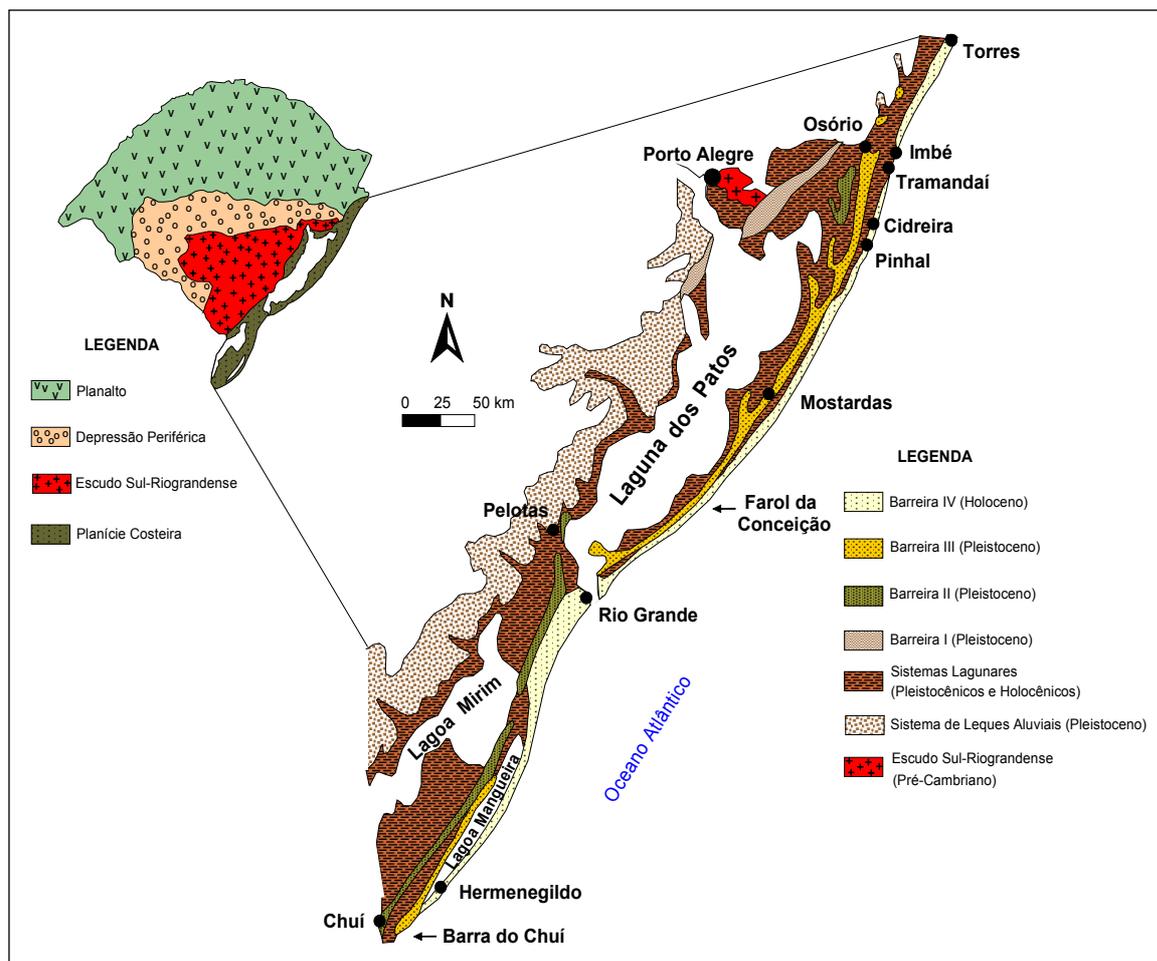


Fig. 3. – Províncias geomorfológica do Rio Grande do Sul (Carraro *et al.*,1974) e mapa geológico simplificado da Planície Costeira (Tomazelli & Willvock,2000).(Fonte: Souza, 2002).

Os mais recentes trabalhos de síntese da geologia e geomorfologia da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (Villwock, 1984; Villwock et al., 1986; Villwock e Tomazelli, 1995; Tomazelli e Villwock, 2000) mostram que a mesma se desenvolveu, durante o Quaternário, através do retrabalhamento dos depósitos de leques aluviais acumulados na parte mais interna da planície, junto às terras altas adjacentes. Estes depósitos foram retrabalhados durante os vários ciclos transgressivos-regressivos glacio-eustáticos do Quaternário, levando à geração de pelo menos quatro sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira, denominados, do mais antigo ao mais moderno, de sistemas I, II, III e IV (Villwock et al., 1986). Os estudos mostraram que os sistemas I, II e III são de idade pleistocênica, enquanto o sistema IV é de idade holocênica tardia (Fig.4.). Dentre esses sistemas deposicionais, os sistemas III (Barreira III) e IV apresentam um interesse maior para este estudo por afetarem diretamente a área da Lagoa do Peixe.

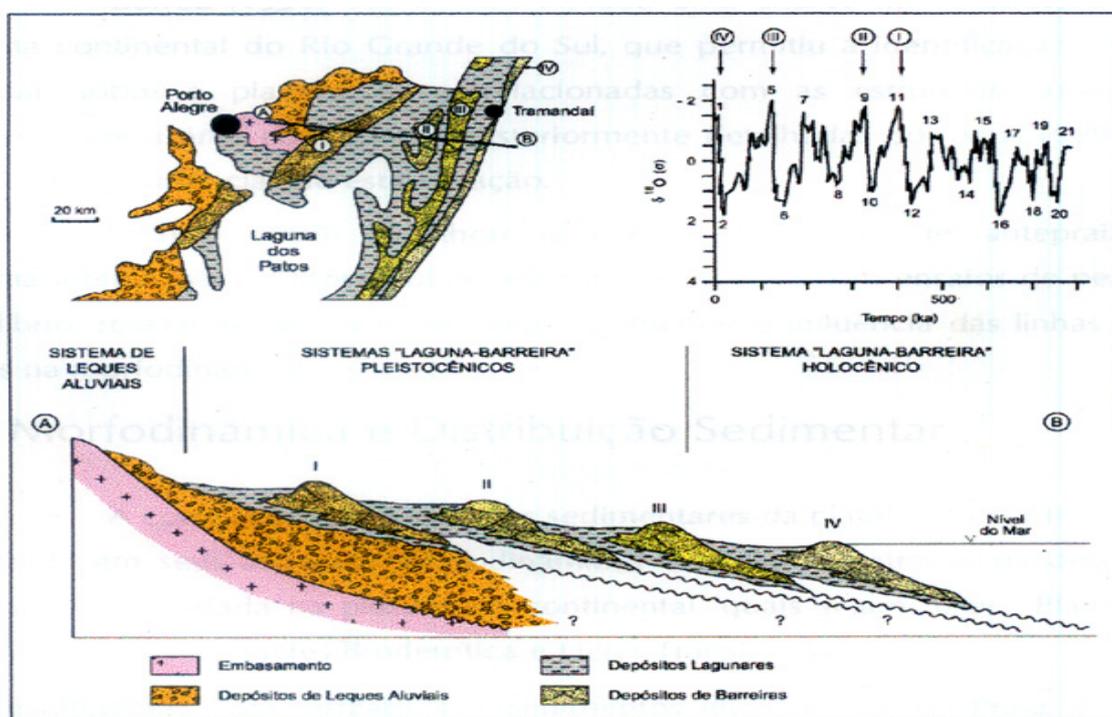


Fig. 4. Perfil esquemático transversal dos sistemas deposicionais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. As barreiras são correlacionadas aos últimos maiores picos na curva isotópica de oxigênio, (Tomazelli & Villwock, 1999).

A Barreira III possui idade pleistocênica, aproximadamente 125 ka. De acordo com Tomazelli (1985) ela é constituída por uma sucessão vertical de fácies arenosas praias e

marinho raso recobertas por depósitos eólicos, indicando claramente uma natureza regressiva. Os sedimentos praias são compostos por areias quartzosas, de cor clara, granulometria fina, bem selecionados e com estratificações bem desenvolvidas. As areias eólicas da cobertura apresentam uma coloração avermelhada e um aspecto maciço.

O sistema Laguna-Barreira IV se estende de forma contínua ao longo de toda a linha de costa. Por ser o sistema mais recente, de idade holocênica, preservou uma maior complexidade de subsistemas deposicionais.

A Barreira IV instalou-se no final da última transgressão pós-glacial, há cerca de 5-6 ka (Villwock & Tomazelli, 1998). Ela é constituída essencialmente por areias praias e eólicas provenientes da erosão da Barreira III e de sedimentos disponíveis na plataforma continental interna. As areias possuem composição quartzosa, granulação fina a muito fina (Martins, 1967; Villwock, 1972) e, em certos locais, apresentam expressivas concentrações de minerais pesados (Martins da Silva, 1976; Villwock et al., 1979; Munaro, 1994; Dillenburg et al., 2004).

De acordo com Dillenburg et al. (2000) a Barreira IV evoluiu de forma diferenciada ao longo da costa, em resposta à gradientes de energia das ondas controlados pela topografia antecedente à transgressão pós-glacial. Em alguns segmentos costeiros ela possui uma natureza regressiva enquanto em outros ela é claramente transgressiva.

O sub-sistema Lagunar IV situa-se entre os sedimentos da Barreira IV e os sedimentos pleistocênicos da Barreira III. No pico transgressivo holocênico, o espaço do sistema lagunar IV foi ocupado por grandes corpos lagunares que, posteriormene, evoluíram para um variado sistema de ambientes deposicionais, como a Lagoa Mangueira, na região sul da planície costeira, a Lagoa do Peixe, na parte média do litoral e o rosário de lagoas interligadas existentes no Litoral Norte do estado. Atualmente, este sub-sistema é constituído por um conjunto complexo de ambientes e sub-ambientes deposicionais, incluindo: corpos aquosos costeiros (lagos e lagoas), sistemas aluviais (rios meandantes e canais inter-lagunares), sistemas deltaicos (deltas flúvio-lagunares e deltas de maré lagunar) e sistemas paludiais (pântanos, banhados e turfeiras) (Tomazelli, 1990; Tomazelli & Villwock, 1991).

A origem e o desenvolvimento da Lagoa do Peixe, tema central deste estudo, vinculam-se aos processos geológicos associados a este evento transgressivo-regressivo holocênico, responsável pelo desenvolvimento do sistema deposicional Laguna-Barreira IV.

## 2.2. CONTEXTO LOCAL: O SISTEMA LAGUNA-BARREIRA IV NA REGIÃO DA LAGOA DO PEIXE

### 2.2.1. Introdução

O Sistema Laguna-Barreira IV está representado, no Litoral Médio do Rio Grande do Sul, por uma barreira arenosa relativamente estreita (largura máxima em torno de 3 Km) e por um terreno de *backbarrier* que se encontra ocupado, na sua maior parte, por um corpo lagunar, a Lagoa do Peixe. Embora a barreira arenosa (Barreira IV) faça parte intrínseca do sistema, ela não será estudada em detalhe neste trabalho. A ênfase maior deste trabalho será voltada ao estudo dos componentes que ocupam o espaço de *backbarrier*, ou seja, o Sistema Lagunar da Lagoa do Peixe. Assim, neste estudo, sempre que nos referirmos ao “Sistema Lagunar da Lagoa do Peixe” estamos nos referindo ao complexo de ambientes que ocupam o espaço de *backbarrier*, dentre os quais, se destaca a Lagoa do Peixe.

### 2.2.2. A Barreira Arenosa (Barreira IV)

De acordo com Dillenburg *et al.* (2000), a barreira arenosa que se desenvolveu durante o Holoceno ao longo do Litoral Médio do RS foi controlada, em grande parte, por uma topografia antecedente caracterizada por uma protuberância (projeção) costeira. Este condicionamento morfológico favoreceu o desenvolvimento, na região da Lagoa do Peixe, de uma barreira relativamente estreita, com características transgressivas. A natureza transgressiva da barreira é evidenciada, junto à praia oceânica, pela exposição de lamas lagunares e turfas de idade holocênica (Tomazelli *et al.*, 1998). As figuras 5 e 6 ilustram estes depósitos de retro-barreira atualmente expostos na praia oceânica.



Fig. 5. Lamas Lagunares exposta na praia oceânica correspondente ao setor norte da Lagoa do Peixe.



Fig.6. Turfa exposta na praia oceânica, setor sul da Lagoa do Peixe, ao fundo Farol da Conceição.

Além da exposição de depósitos de *backbarrier*, a praia oceânica da Barreira IV apresenta, na região, importantes concentrações de minerais pesados, constituindo jazidas economicamente exploráveis formadas, principalmente, por ilmenita, rutilo, zircão e magnetita (Villwock *et al.*, 1979; Munaro, 1994; Dillenburg, *et al.*, 2004).



Fig.7. Concentração de minerais pesados na praia oceânica da Barreira IV na região da Lagoa do Peixe.

A presença de depósitos pleistocênicos (correlativos à Barreira III) diretamente expostos na praia ou submersos na antepraia (parcéis) evidencia a pequena espessura dos depósitos arenosos da Barreira IV, na área de estudo (Buchmann, 2002). Esta característica também concorda com a natureza transgressiva da barreira holocênica na região.(Fig.8).



Fig.8. Arenitos praias pleistocênicos(correlativos a Barreira III) expostos na praia oceânica adjacente ao setor sul da lagoa do Peixe.

As areias eólicas constituem a maior parte dos depósitos da Barreira IV na área de estudo, desenvolvendo-se, principalmente, no segmento da barreira situado ao norte da desembocadura da Lagoa do Peixe. As cadeias barcanóides, orientadas perpendicularmente ao vento dominante proveniente de NE, constituem o principal tipo de duna. São dunas que alcançam em torno de 10-15 m de altura e comprimentos de até 2 km. Outras feições eólicas presentes na área incluem dunas barcanas, dunas parabólicas, dunas frontais, *nebkhas* e os mantos de aspersão eólica (lençóis de areia).(Fig.9).

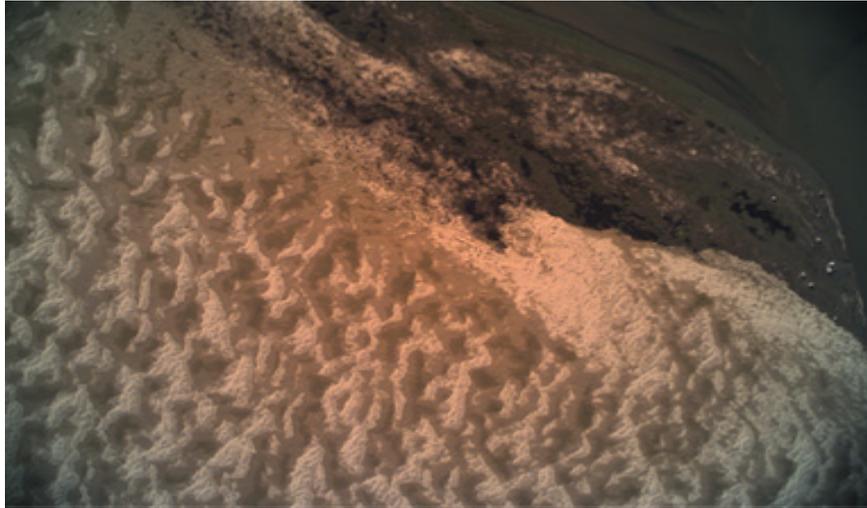


Fig.9. Barcanas e cadeias de dunas barcanoides orientadas perpendicularmente ao vento dominante NE avançando sobre o sistema lagunar adjacente.

No conjunto, as feições eólicas formam um campo de dunas transgressivas que avança sobre o sistema lagunar adjacente. Esse fenômeno tem causado, ao longo do tempo, uma progressiva colmatação dos corpos de água e uma diminuição do sistema lagunar como um todo. Atualmente as dunas avançam, em algumas partes, inclusive sobre a escarpa da Barreira III, causando o assoreamento da Lagoa do Peixe e das lagoas menores situadas ao norte e ao sul da mesma. O alinhamento dessas pequenas lagoas costeiras atualmente isoladas, e sua morfologia semelhante, sugere que as mesmas estariam conectadas no passado, formando um único sistema lagunar com a Lagoa do Peixe, a qual parece encontrar-se em fase terminal deste processo evolutivo.

### 2.2.3. O Sistema Lagunar da Lagoa do Peixe

O estudo da geologia, geomorfologia e evolução do sistema de *backbarrier* na área da Lagoa do Peixe é o objeto principal deste trabalho e será detalhado nos capítulos posteriores. Neste tópico serão apenas introduzidos alguns aspectos deste sistema, já conhecidos e descritos na literatura.

Segundo Müller (1989), a Lagoa do Peixe comporta-se como um ambiente lagunar-estuarino semi-fechado, onde ocorrem trocas e variações nas características físico-químicas, intercâmbios com os sistemas vizinhos, ecótonos e elevada dinâmica. Com

comprimento de 35 km, largura média de 1 km e morfologia cordiforme, a Lagoa do Peixe caracteriza-se por apresentar baixas profundidades (Resende & Lewemberg 1987), sendo, em decorrência, um local propício para a alimentação de aves aquáticas. Fig.10



Figura 10. Área provida de macrofitas submersas, baixa profundidade e grande concentração de aves pela busca de alimento.

Profundidades mais elevadas (da ordem de 2 m) somente são encontradas no canal que liga a laguna ao oceano.

A comunicação com o mar ocorre normalmente durante os meses de inverno e primavera, mantendo-se, em geral, até o verão (fim de dezembro, início de janeiro). A oclusão da barra se desenvolve devido à deposição de areia na sua desembocadura ocasionada pela predominância dos ventos de norte e nordeste. (Fig.11).



Fig.11 Barra da Lagoa oclusa pela deposição de areia, Março 2002

No inverno (normalmente no mês de agosto), quando os níveis de precipitação tornam-se mais acentuados, ocorre a inundação das marismas e campos marginais à lagoa. Durante estes períodos em que a lagoa alcança níveis mais elevados é realizada a abertura artificial da barra por meio de máquinas, uma vez que a abertura natural ocorre somente esporadicamente. Este processo artificial de abertura da barra é efetuado atualmente por pressão dos agricultores-pecuaristas da região sobre o IBAMA e a Prefeitura de Tavares, uma vez que suas terras ficam com as áreas de pasto e de plantio completamente inundadas. Nos anos em que ocorrem elevados índices pluviométricos, como foi o ano de 1997, a barra pode não fechar totalmente, devido à forte drenagem continental que impede a deposição sedimentar na sua desembocadura.

É esta comunicação periódica com o mar que possibilita as migrações de inúmeras espécies anádromas e catádromas, além de definir um ambiente propício para pouso de aves na rota migratória entre a América do Norte e a Patagônia, bem como para outras aves residentes. É neste ambiente que também muitas espécies se reproduzem. (Fig.12).



Fig.12. Aves migratórias e residentes dividem o espaço na lagoa.

Pela sua grande extensão e tendência à compartimentalização, a laguna possui nomes para cada um de seus setores. Em decorrência do seu formato e desembocadura central, a hidrodinâmica da lagoa depende basicamente do regime de ventos predominante. Quando da abertura da barra e predominância de ventos Sul e Sudeste, ocorre a entrada de água salgada na lagoa. Já, com a barra fechada, na época de maior precipitação, há uma diminuição da salinidade (Polette & Tagliani 1990). Devido a sua baixa profundidade, a mistura irá ocorrer rapidamente pela ação do vento em toda a coluna de água.

Segundo o padrão de distribuição de salinidade, diferenciam-se três regiões: a porção norte, limnética devido às margens irregulares funcionarem como barreira à água salgada; a porção do canal da barra, euhalina e a porção centro-sul, mixohalina. Segundo Truccolo (1993), a Lagoa do Peixe apresenta vários padrões mensais de salinidade, sendo que a porção sul é a que demonstra a maior amplitude de variação. Segundo Knak (1998), as salinidades médias das águas superficiais da laguna durante o período de 1991 à 1996, apresentaram-se mais elevadas no verão e outono (23,6 e 24,5 respectivamente) significativamente diferentes das mais baixas obtidas no inverno e primavera (9,6 e 12,5 respectivamente). Durante o verão a salinidade é incrementada, podendo chegar a condições hipersalinas pela forte evaporação ocasionada pelas baixas profundidades que ocorrem nesta época. Salinidades máximas de 42 ppm foram alcançadas no outono de

1991 na região próxima à barra. Entretanto, salinidades também elevadas de 30ppm e 34ppm foram determinadas nos meses de inverno e primavera respectivamente. Valores iguais ou inferiores a 2 ocorreram em todas as estações. As salinidades médias mais elevadas foram encontradas no canal da barra da laguna.

A temperatura superficial da água apresentou médias de 22,9° C, com diferenças significativas entre os anos de estudo. Entre os diferentes locais as diferenças na temperatura são decorrentes das maiores ou menores profundidades (Knak, 1998).

O nível de água da laguna variou de 0 cm a 65 cm no período deste estudo, com média 29,7 cm. Exceção é o canal que pode atingir até 2 m de profundidade durante o inverno. A variação do nível de água aumenta progressivamente em direção à margem oeste. Constatou-se que a hidrodinâmica da laguna é controlada pelo regime de ventos (intensidade e direção) bem como pela precipitação. Grandes extensões da margem leste (300 a 400 m) podem ficar expostas durante o dia uma vez que os ventos predominantes (norte e nordeste), aumentando de intensidade no decorrer do período, empurram a massa de água em direção à margem oeste. (Fig.13).

No período da noite, com a diminuição da intensidade dos ventos, as águas tendem a voltar, inundando as áreas que haviam ficado expostas. Fato semelhante, porém mais raro, ocorre em períodos de baixa precipitação com o vento sul, uma vez que devido à pequena ou inexistente drenagem dos banhados e arroios que descem da barreira e terraços marinhos, os fundos da ponta sul da laguna ficam expostos aumentando a profundidade das áreas situadas mais ao norte. A diminuição do índice pluviométrico nas estações quentes associada ao fechamento natural da barra pode causar a evaporação total da água do sistema (Knak, 1998).(Fig.14).



Fig.13 Margem leste da lagoa exposta durante o dia devido ao efeito dos ventos que represam as águas contra a margem oeste.



Fig.14. Ao final da tarde o nível da lagoa volta a normalizar inundando as áreas exposta durante o dia.

A transparência da água, devido às baixas profundidades, depende quase que unicamente dos ventos que recolocam em suspensão os sedimentos finos. A região da barra, por ser uma área mais aberta, apresenta maiores variações na transparência da água do que no extremo sul da laguna, embora lá as profundidades sejam maiores e exista nas imediações um pequeno canal de drenagem dos banhados adjacentes.

A composição textural dos sedimentos é pouco variável. Praticamente todas as margens, bancos e planos de maré regularmente alagados são formados de sedimentos arenosos. Nas desembocaduras de arroios, nas proximidades dos extensos marismas e banhados, no canal principal e nas áreas providas de macrófitas submersas, o sedimento torna-se mais lodoso, pela contribuição de material fino e detritos. A concentração de material em suspensão tende a crescer em direção ao norte, devido principalmente à profundidade da laguna e ao aporte continental de sedimentos.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

### 3.1. TRABALHOS DE CAMPO

#### 3.1.1. Sobrevôo e Aquisição de Fotografias Aéreas

Para que se pudesse trabalhar com fotografias aéreas recentes da área de estudo, e em escala apropriada aos objetivos do trabalho, procedeu-se um programa de aquisição de aerofotos de pequeno formato (33 mm), georreferenciadas, registradas a 3600 pés (aproximadamente 1116 m de altitude), através de vôo controlado utilizando o sistema fotográfico digital ADAR 1000 (*Airbone Data Acquisition and Registration*) e GPS de Navegação GARMIN 95, pertencente à Fundação Universidade Federal de Rio Grande (FURG). O georreferenciamento das aerofotos foi realizado a partir das coordenadas adquiridas em campo através de um GPS MNS<sup>®</sup> da marca BRUNTON.

O Sistema ADAR 1000, fabricado pela indústria de sistemas aerofotográficos Positive System de Montana – EUA e, utilizado nesse estudo, constitui-se de uma câmara NIKON N90, de 35 mm e um sistema CCD da KODAK. Isso permite a captura de aerofotos coloridas digital na faixa do visível (VV) e Infravermelho (IV) Falsa Cor, com um quadro de 2036x3060 pixels e resolução de 0,15 a 1,0 mpp (metro por pixel), em uma altitude de 300 a 2200 metros. A descrição sucinta do sistema utilizado e as informações das aerofotos estão relacionadas na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição dos componentes do Sistema ADAR 1000

<b>COMPONENTES ADAR 1000</b>	<b>ESPECIFICAÇÃO</b>
Fabricação sistema ADAR 1000	Positive System – USA
Captura, armazenamento das imagens	Lap Top
Formato imagens	Tiff
Câmara	KODAK DCS 460
Corpo da Câmara	Nikon N90
Lente	20 mm
Sistema CCD	2036x3060 pixel
Modo	Colorido normal e Infravermelho
Altitude de vôo	Variável
Tempo de exposição	Automática
Navegação	GPS ou Câmara de TV

Para esse estudo, realizaram-se 06 linhas de vôo sobre a área de interesse, obtendo-se 295 aerofotos na faixa espectral do visível, com sobreposição longitudinal de 60% necessária para estereoscopia.

Optou-se por seis linhas de vô, porque o objetivo era obter uma representação da área ocupada entre a linha de costa da praia oceânica e a borda da Barreira III, visto que, o foco desse estudo é a identificação geológica e geomorfológica superficial e de fundo do corpo hídrico propriamente dito.

Durante o sobrevôo, as imagens, no formato *tiff*, foram armazenadas em um *laptop* e, ao mesmo tempo, foram registradas informações de localização do centro das aerofotos, através do uso de um GPS (GARMIN 95). Posteriormente, as imagens foram transferidas a um sistema computacional para análise, cópia em CD-ROM e, tratamento digital.

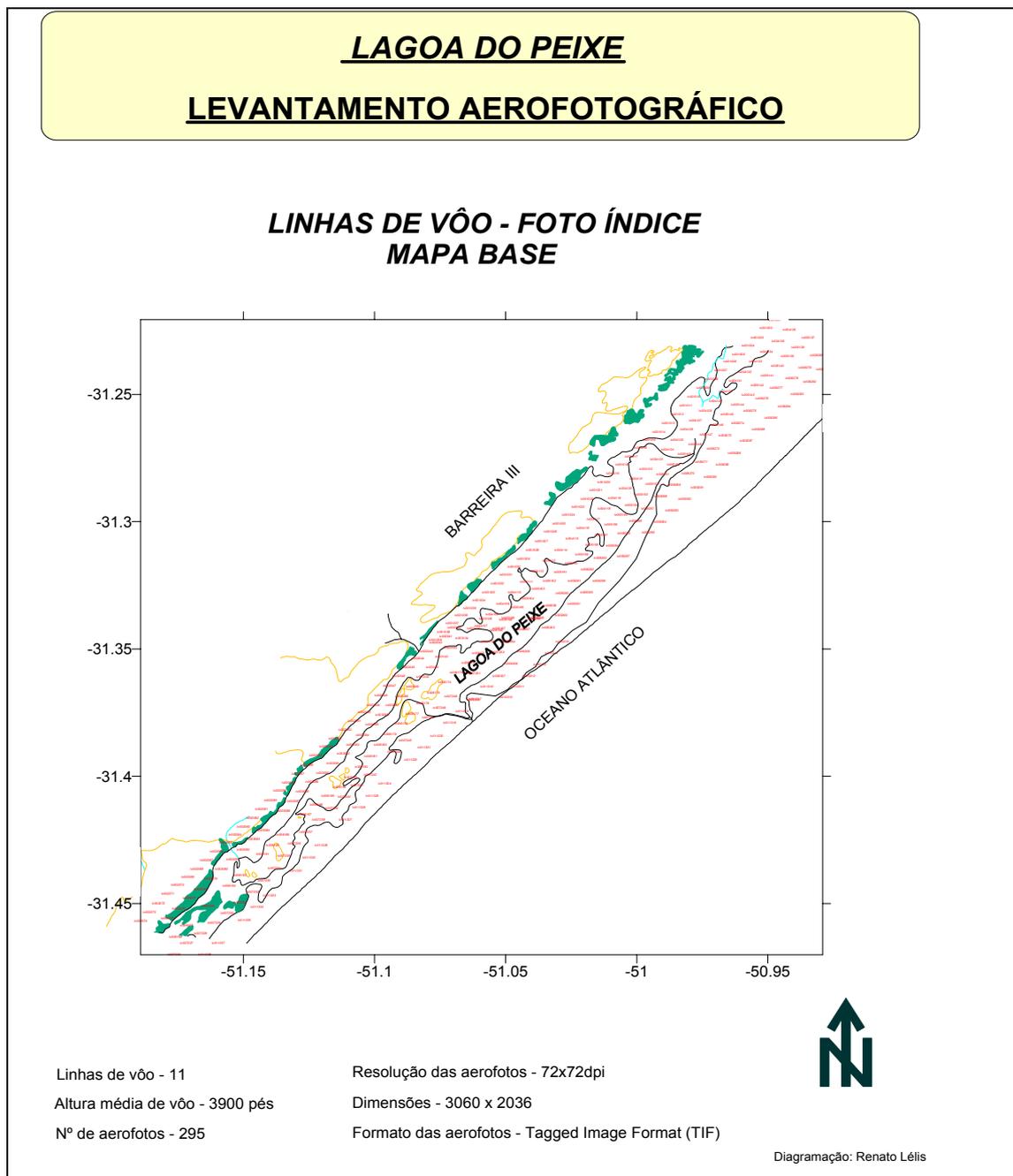


Fig. 15. Foto Índice UTM das linhas de vôo sobre a área de estudo.

### **3.1.2. Amostragem Sedimentar de Superfície e Mapeamento Geológico-Geomorfológico**

Tendo em vista o objetivo de construir um mapa faciológico (mapa textural) dos sedimentos superficiais do Sistema Lagunar da Lagoa do Peixe, foi executado um programa de coleta de amostras e de descrição do terreno ao longo de perfis topográficos transversais ao sistema. As amostras não foram coletadas segundo um espaçamento fixo, predeterminado, mas sim sempre que se observava algum tipo de mudança no terreno, fosse essa mudança faciológica ou, mesmo, geomorfológica. Assim, procurou-se coletar amostras que fossem representativas de todos as feições e subambientes encontrados. Além da coleta de amostras foram descritas e registradas feições geomorfológicas como terraços, escarpas de erosão, mantos de aspersão eólica, campo de dunas, etc.

No total foram coletadas 123 amostras superficiais. Os pontos de amostragem encontram-se representados na Figura 16.

Com relação ao estudo geológico e dinâmico deste sistema o mesmo permitira a construção de um mapa geral das informações básicas geológicas – geomorfológicas, com base no levantamento realizado em campo auxiliado por imagens digitais de pequeno formato aerofotografias (35mm) e imagens satélites TM LANDSAT(arquivo).

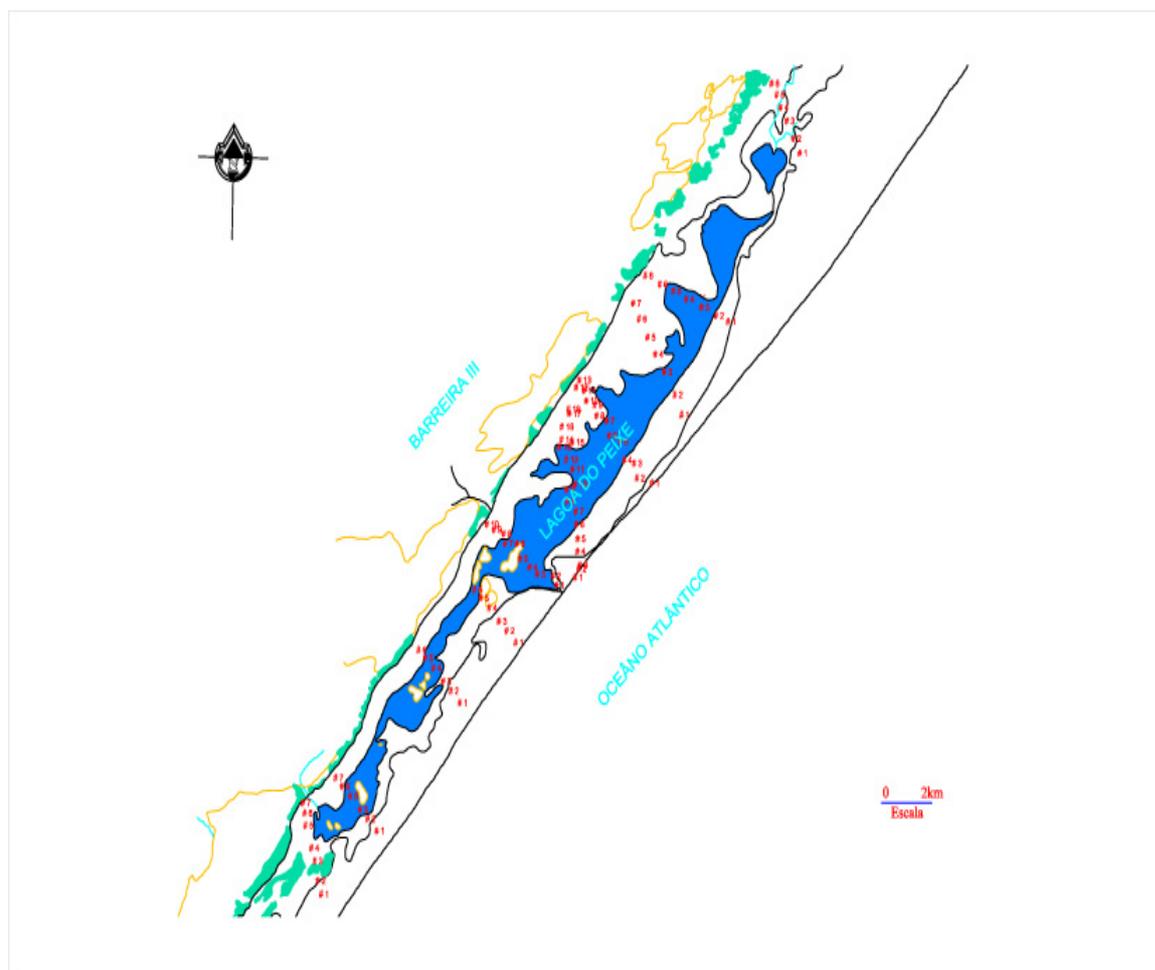


Fig.16. Mapa de localização dos pontos amostrados.

### 3.1.3. Levantamento Topográfico de Nivelamento

Procedeu-se o levantamento topográfico através da construção de perfis das feições morfológicas representativas da região segundo o método de nivelamento proposto por (Birkemeier, 1981), utilizando-se aparelho de leitura topográfica (nível), balizas, régua de leitura graduada, bússola e gps. Foram executados 10 perfis topográficos orientados transversalmente ao sistema estudado, tendo sua origem na zona da praia oceânica nível e seu término, sempre que possível junto à paleo-falésia da Barreira III na margem oeste do sistema lagunar.

O posicionamento e orientação dos perfis contaram com a utilização de um GPS (*Global Position System*) MNS da BRUNTON, com 12 canais, o qual possui uma precisão compatível com a escala de trabalho. Para a execução do levantamento topográfico foi coletada uma coordenada no início de cada perfil e outra no seu final. Foram instalados marcos de concreto (RN) localizados no campo de dunas, sua localização foi obtida com (gps) cujas coordenadas planas são XY (utilizando-se como *datum* o UTM Córrego Alegre), e tendo por base pontos notáveis. Os perfis foram referenciados a um *datum*, neste trabalho estabelecido ao nível zero da maré astronômica (0,0m). Para o processamento dos perfis foram utilizados os programa computacional *ISRP*®, adaptado do corpo de Engenheiros do Exército Americano e idealizado por Biekemeier (1985), e o *Beach Map*®, versão para ambiente *WINDOWS*®. A localização dos perfis pode ser observada na Figura 17.

Tabela 02: Localização dos Marcos dos alinhamentos dos perfis topográficos na área da Lagoa do Peixe

PERFIL Nº	LOCALIZAÇÃO	DIST.PERC.	RUMO V	OBS
01	BLP	4598,3	N 55 W	EMBOCADURA
02	12,1 KM	3414,8	N 44 W	NORTE DA BARRA LP
03	1,0 KM	4396,8	N 05 W	NORTE DA BARRA LP
04	6,0 KM	6171,0	N 20 W	VILA PAIVA NORTE DA BARRA
05	8,0 KM	5217,2	N 30 W	LAGAMAR NORTE DA BARRA
06	18.0 KM	4122,0	N 15 W	FAROL DE MOSTARDAS
07	17,9 KM	3724,6	N 13 W	SUL DA BARRA LP
08	5,8 KM	3918,9	N 47 W	SUL DA BARRA LP
09	12,1KM	1909,0	N 35 W	NORTE DA BARRA LP
10	2,4KM	3068,4	N46 W	SUL DA BARRA LP

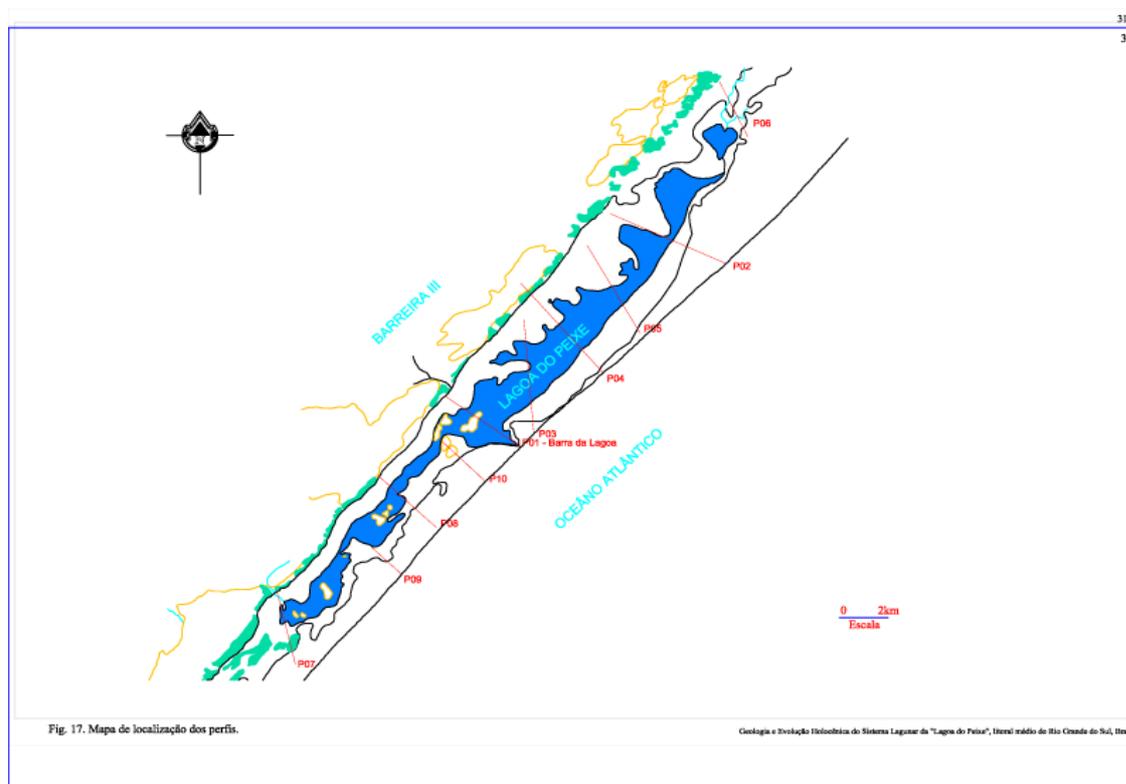


Fig 17. Mapa de localização dos perfis

### 3.1.4. Amostragem de sub-superfície (Testemunhagem)

Com a finalidade de buscar informações sobre a história evolutiva do sistema, procedeu-se a execução de uma série de testemunhos de sondagem utilizando testemunhadores *Vibracore* com o objetivo de integrar alguns dos perfis representativos das feições morfológicas. (Fig.18).

Dados dos testemunhos, como localização, posicionamento (GPS), comprimento do testemunho, compactação, entre outros, foram registrados no local da testemunhagem numa ficha apropriada.

As testemunhagens foram realizadas com o uso de um testemunhador à vibração (*vibrocore*). Impulsionado por um motor a gasolina, o testemunhador transmite vibração, através de um mangote, para um tubo de alumínio de 7,5 cm de diâmetro e 6 m de comprimento. A retirada do testemunho foi feita com o auxílio de um tripé e talha manual (Fig.19).

A penetração e recuperação dos testemunhos mostrou-se bastante boa nas fácies de sedimentos finos e teve uma menor eficiência nas fácies arenosas. Foram obtidos 11 testemunhos, com uma recuperação máxima de 5,9 m. Visando facilitar o manuseio e transporte, os testemunhos foram cortados em seções de 1,3 m.



Fig.19. Principais componentes do sistema de testemunhagem a vibração (Motor, Mangote, Braçadeira, Ponteira e Tripé).

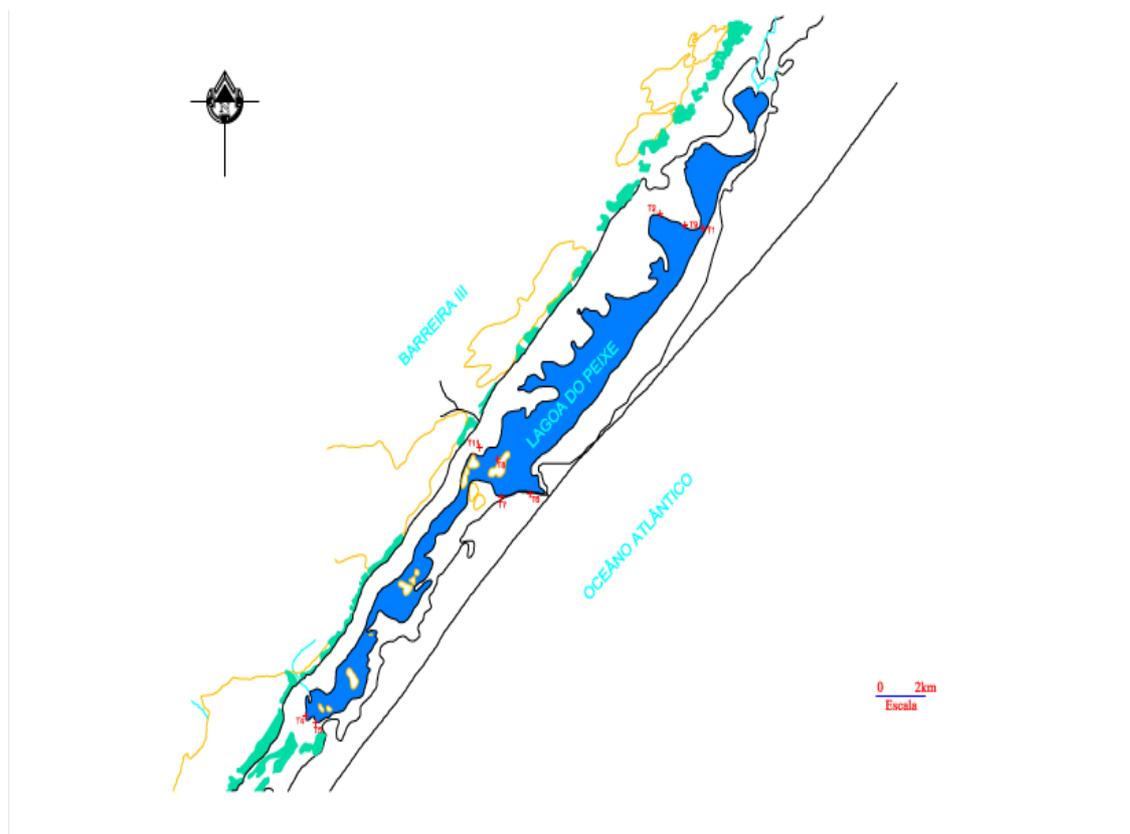


Fig.18. Mapa de localização dos Testemunhos.

## **3.2. TRABALHOS DE LABORATÓRIO**

### **3.2.1. Abertura, Descrição e Análise dos Testemunhos**

Os testemunhos coletados foram abertos, descritos e analisados nos laboratórios do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO) do Instituto de Geociências da UFRGS. Cada seção (tubo de alumínio) foi cortada longitudinalmente com uma serra elétrica e, o sedimento, cortado com fio de aço. Após a abertura, os testemunhos foram descritos procurando-se observar as principais características faciológicas como cor, textura, estruturas, componentes bióticos, etc.

Os testemunhos foram fotografados integralmente, do topo à base. As fotos (digitais) foram posteriormente tratadas com software (CORELDRAW 12), o que possibilitou a montagem de cada testemunho em um único plano, possibilitando uma melhor descrição e interpretação das diferentes fácies presentes.

Foram coletadas dos testemunhos 56 amostras para análise granulométrica, 15 amostras para análise micropaleontológica e 04 amostras para análise geocronológica (datação por C14).

### **3.2.2. Análises Granulométricas**

As amostras coletadas em superfície (123 amostras) e retiradas dos testemunhos (56 amostras) foram submetidas à análise granulométrica no Setor de Sedimentologia do Laboratório de Oceanografia Geológica da FURG, empregando-se técnicas consagradas de análise, de acordo com o fluxograma da Figura 20.

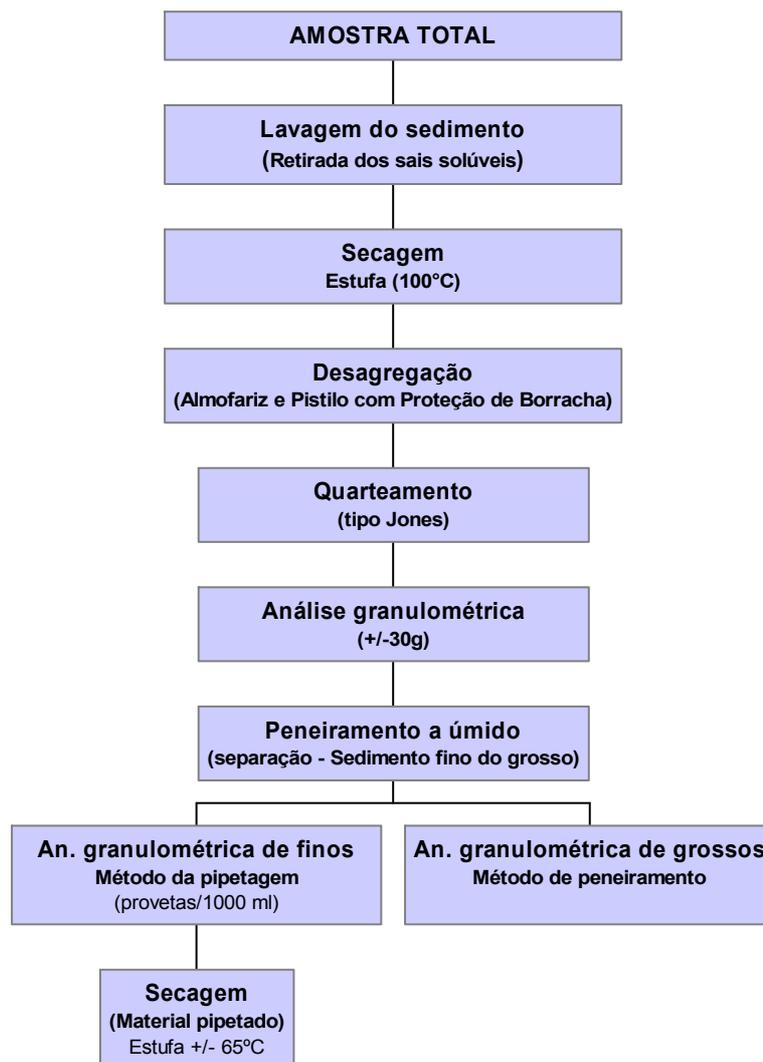


Fig. 20. Fluxograma das etapas da análise granulométrica das amostras.

O processamento dos dados granulométricos foi efetuado no software de análise estatística e textural SYSGRAN 2.4<sup>®</sup> (Sistema de Análise Granulométrica). A partir dos dados obtidos, foi realizada a caracterização dos sedimentos presentes na área de estudo.

As amostras foram classificadas granulometricamente de acordo com o diagrama de Shepard (1954), a partir do qual se confeccionou o mapa textural dos sedimentos superficiais. O diagrama consiste em triângulos divididos em setores que representam classes distintas de uma classificação que é baseada na concentração de 3 variáveis, dispostas em cada vértice do triângulo. A utilização desse diagrama serve para caracterizar os sedimentos segundo os 3 componentes principais: areia, silte e argila.

Além disso, plotou-se os percentuais de cada tamanho de grão obtido no SYSGRAN 2.4®, na planilha do Microsoft Excel para a obtenção dos gráficos de distribuição superficial dos sedimentos.

### 3.2.3. Análises Micropaleontológicas

Um total de 43 amostras de sedimentos lamosos coletadas dos testemunhos foi submetido à análise palinológica e de diatomáceas. O tratamento químico das amostras selecionadas foi realizado segundo as técnicas usuais descritas em Faegri & Iversen (1975). As amostras foram tratadas com ácido clorídrico (10%) e hidróxido de potássio (10%). Aplicou-se o método de separação entre substâncias inorgânicas e orgânicas através de líquido denso (solução aquosa de  $ZnCl_2$  de densidade  $2,2 \text{ g/cm}^3$ ). A não aplicação de ataque químico com ácido fluorídrico permite a preservação e análise de esqueletos sílicosos de diatomáceas e cistos de silicoflagelados. Após o tratamento químico, as amostras foram montadas em lâminas com gelatina-glicerinada.

Para a análise de diatomácea, após a preparação descrita acima, retirou-se subamostras de 10 ml, deixando-se a lama sedimentar naturalmente para obter do sobrenadante alíquotas de 2 ml, que foram colocadas em câmaras de sedimentação para análise, identificação e quantificação do material. Uma alíquota de 10 ml de cada amostra foi montada em lâmina permanente. Trabalhou-se com uma eficiência amostral superior a 83 % (Pappas & Stoermer, 1996).

### 3.2.4. Análises Geocronológicas (C 14)

Quatro (04) amostras para análise geocronológica (datação por C14) foram selecionadas e coletadas nos testemunhos, sendo 03 de lama orgânica e 01 de fragmentos de conchas.

As amostras selecionadas foram retiradas dos testemunhos **T09** (03 amostras) e **T01** (01 amostra).

As análises geocronológicas, através do método de C -14, foram efetuadas pelo BETA ANALYTIC INC., um laboratório comercial, com sede em Miami, Florida, USA.

Segundo especificações fornecidas pelo laboratório, os procedimentos básicos empregados nas datações foram os seguintes:

As amostras de sedimentos foram submetidas a um pré-tratamento, iniciado por uma limpeza de quaisquer raízes aparentes. Posteriormente, os sedimentos foram dispersados em ácido quente para a eliminação de carbonatos e a seguir repetidamente enxaguados para a eliminação de qualquer resíduo resultante do ataque ácido. Por fim, foram secos e queimados em um sistema fechado.

As amostras de conchas tiveram sua camada externa previamente dissolvida através de ácido diluído. Seguiu-se um ataque ácido visando a produção do dióxido de carbono, usado como a fonte de carbono para a medição do conteúdo de radiocarbono.

### **3.2.5. Análises de Fotografias Aéreas e Imagens de Satélite**

Além dos dados obtidos diretamente no campo, o mapeamento geológico-geomorfológico da região - um dos objetivos deste trabalho - foi realizado com base na interpretação de fotografias aéreas e também de imagens de satélite.

O mapa base foi construído a partir das imagens de pequeno formato (35mm) capturadas pelo Sistema ADAR 1000, fornecidas pelo Setor de Sensoriamento Remoto e Levantamento Aérefotográfico do Laboratório de Oceanografia Geológica/DGEO-FURG. Como não era objetivo desse trabalho construir um único mosaico, dentre as 295 aerofotos, optou-se por detalhar setores específicos da área de estudo, acompanhando os perfis topográficos realizados em campo. O georreferenciamento das aerofotos digitais que integram os mosaicos específicos de cada setor que acompanha cada perfil topográfico foi realizado a partir de Pontos de Controle (PC) cujas Coordenadas Geográficas em UTM foram obtidos *in situ* com a utilização de GPS MNS da BRUNTON. Com o emprego de 4 PC para cada foto, as coordenadas obtidas foram lançadas no Software Bentley Power Draft (Fig. 21).

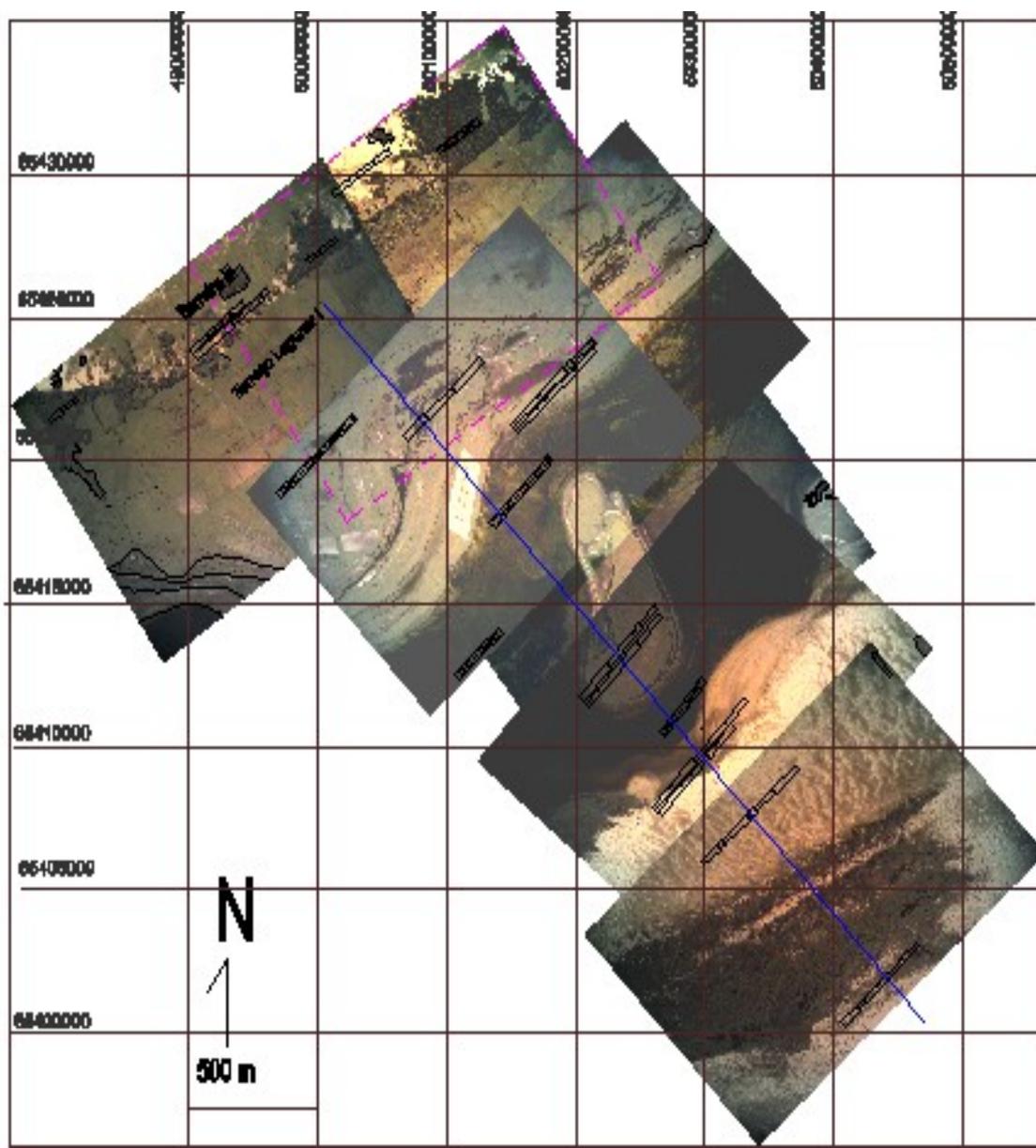


Fig.21. Mosaico Ilustrando o Perfil 02 Setor Norte

## CAPÍTULO 4 – RESULTADOS OBTIDOS

### 4.1. MAPA FACIOLÓGICO DOS SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DO FUNDO DA LAGOA DO PEIXE (Mapa Textural)

A Figura 22 corresponde ao mapa faciológico dos sedimentos superficiais que atapetam o fundo da Lagoa do Peixe, construído a partir dos parâmetros texturais (granulométricos) das amostras coletadas ao longo dos perfis topográficos transversais ao corpo lagunar (conforme os pontos de amostragens da Fig 16).

O mapa mostra que os sedimentos da superfície de fundo da Lagoa do Peixe são essencialmente arenosos, podendo ser agrupados em três classes texturais (areia muito fina, areia fina e areia média), com um amplo predomínio da classe areia fina.

A análise do mapa, bem como a observação detalhada das distribuições granulométricas das amostras (conforme Histogramas do Anexo II) revela que há uma tendência de ocorrência de areias um pouco mais grossas nas margens próximas à desembocadura da lagoa, região de maior energia. Esta tendência poderia ser explicada pela hidrodinâmica própria da lagoa e pela ação das ondas e correntes praias produzidas pelos ventos locais atuando junto à desembocadura, em especial o vento sul, um dos agentes responsáveis pela efetivação e/ou manutenção da abertura da barra da lagoa.

A análise dos histogramas granulométricos mostra também que nos poucos locais de maior profundidade e mais abrigados da área, se estabelecem condições de baixa energia, tornando os sedimentos de fundo mais enriquecido em silte e argila. Quando estes sedimentos mais finos ocorrem no fundo dos canais eles resultam, em grande parte, do processo de floculação em meio salino, induzido pela penetração de água marinha impulsionada pelo vento sul.

Embora se reconheça a restrição do mapa faciológico aqui apresentado – resultante de sua metodologia de construção a partir de amostras pontuais ao longo de perfis transversais e não através de uma malha de amostragem – ele revela um dado importante sobre os sedimentos que ocorrem atualmente no fundo da Lagoa do Peixe: os sedimentos apresentam uma grande homogeneidade textural. O fundo está essencialmente recoberto por areias de granulação fina. Este comportamento reflete de forma muito clara a influência da principal fonte responsável pelo aporte sedimentar no corpo lagunar: a contribuição eólica proveniente da Barreira IV adjacente. Além disso, as drenagens que atualmente drenam para a Lagoa do Peixe, e que também podem ser responsáveis por parte

do aporte sedimentar, estão implantadas totalmente sobre terrenos arenosos pleistocênicos (Barreira III) e holocênicos (Sistema Lagunar IV), o que, igualmente, restringe sua carga à textura areia.

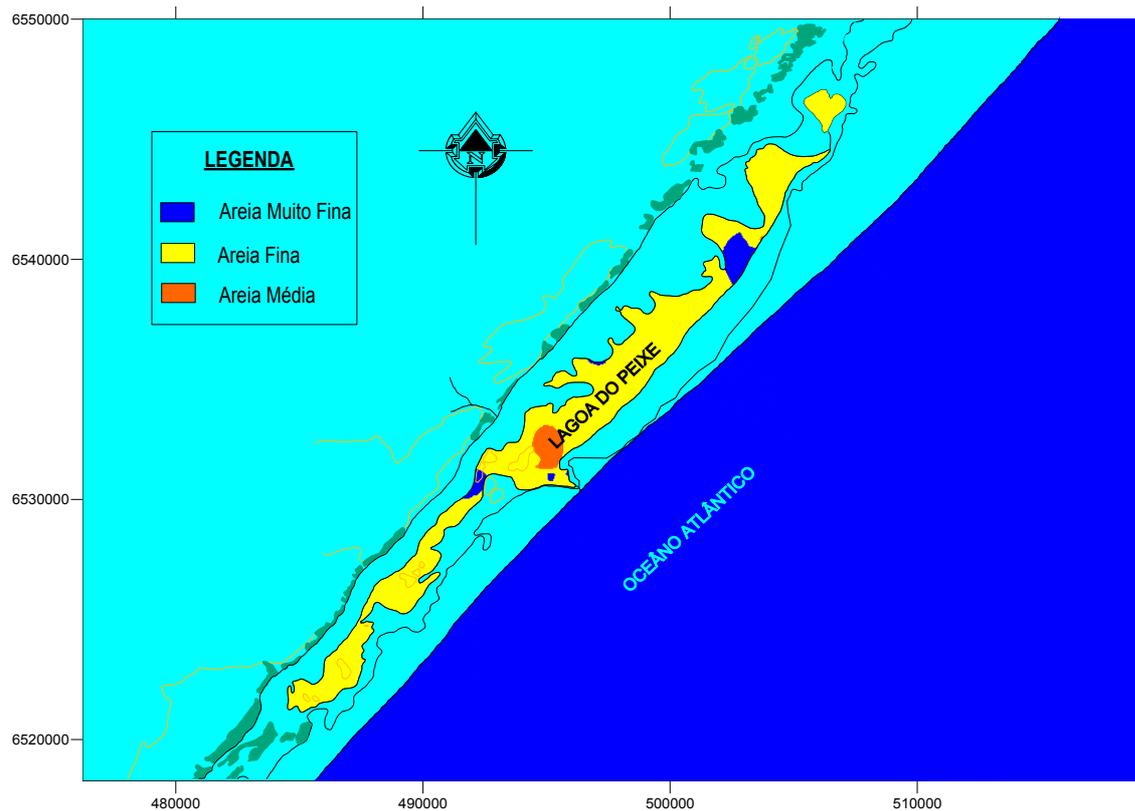


Fig. 22 Mapa faciológico dos sedimentos superficiais de fundo da Lagoa do Peixe

## 4.2. MAPA GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO

A Figura 23 representa o mapa geológico-geomorfológico da área de estudo. Ele foi construído com base em observações diretas no campo, realizadas ao longo dos perfis transversais ao sistema, e complementadas por análises de fotografias aéreas e de imagens de satélite.

Conforme mostra o mapa, o Sistema Lagunar da Lagoa do Peixe pode ser subdivididos em três setores, que apresentam claras diferenças geomorfológicas e ambientais: (1) Setor Norte, (2) Setor Central e, (3) Setor Sul.

O Setor Norte é caracterizado pela presença de canais fluviais meandantes, ativos ou abandonados, relativamente estreitos e rasos, que drenam o terraço lagunar com um fluxo geral no sentido sul, interligando pequenos corpos lacustres residuais. Dois corpos de água maiores, semi-isolados, se destacam na paisagem deste setor. Na desembocadura dos canais fluviais, um pequeno delta digitiforme prograda para dentro do corpo lacustre situado mais ao norte, indicando um aporte de sedimentos clásticos provenientes do próprio terraço lagunar.

O Setor Central é marcado pela presença do corpo lagunar principal do sistema Lagoa do Peixe e pela ocorrência do canal de ligação com o mar. A hidrodinâmica do corpo de água é controlada pelo regime dos ventos que sopram predominantemente do quadrante nordeste. Eles geram ondas e correntes que são os principais agentes de transporte e deposição do material sedimentar deste setor. A circulação das águas é influenciada também pela descarga das águas proveniente da Barreira III adjacente, nos períodos de alta pluviosidade. A natureza composicional e textural dos sedimentos é pouco variável. Praticamente todas as margens, bancos e planos de maré regularmente alagados são formados por areias finas quartzosas, ocorrendo alguma concentração de areia média na porção marginal do canal de ligação com o mar. Na desembocadura de pequenos arroios, nas proximidades de marismas e banhados, no canal principal e nas áreas providas de macrófitas submersas, o sedimento torna-se mais lodoso, pela contribuição de material fino e detritos orgânicos. A concentração de material em suspensão tende a crescer em direção ao norte, devido principalmente a pouca profundidade da laguna e ao aporte continental de sedimentos.

O Setor Sul apresenta um corpo de água estreito marcado pela presença de pequenas ilhas e bancos que tendem a diminuir sua continuidade. Não há evidências de cursos fluviais mais importantes que escoem para dentro deste corpo de água.

A observação em conjunto do Sistema Lagunar da Lagoa do Peixe mostra de forma bastante clara que os três setores em que o sistema pode ser subdividido refletem seu próprio processo evolutivo, no qual a colmatação, produzida principalmente pelo avanço das dunas transgressivas da Barreira IV, desempenha um papel predominante. O Setor Norte, transformado atualmente em uma planície fluvial com pequenos corpos lacustres residuais sobre a qual as dunas eólicas avançam, representa o sistema em um estágio mais maturo. O Setor Sul representa uma situação intermediária enquanto que o Setor Central, devido à influência direta do canal de ligação com o mar, apresenta o estágio mais jovem, com o corpo de água maior ainda se comportando como um verdadeiro sistema lagunar.

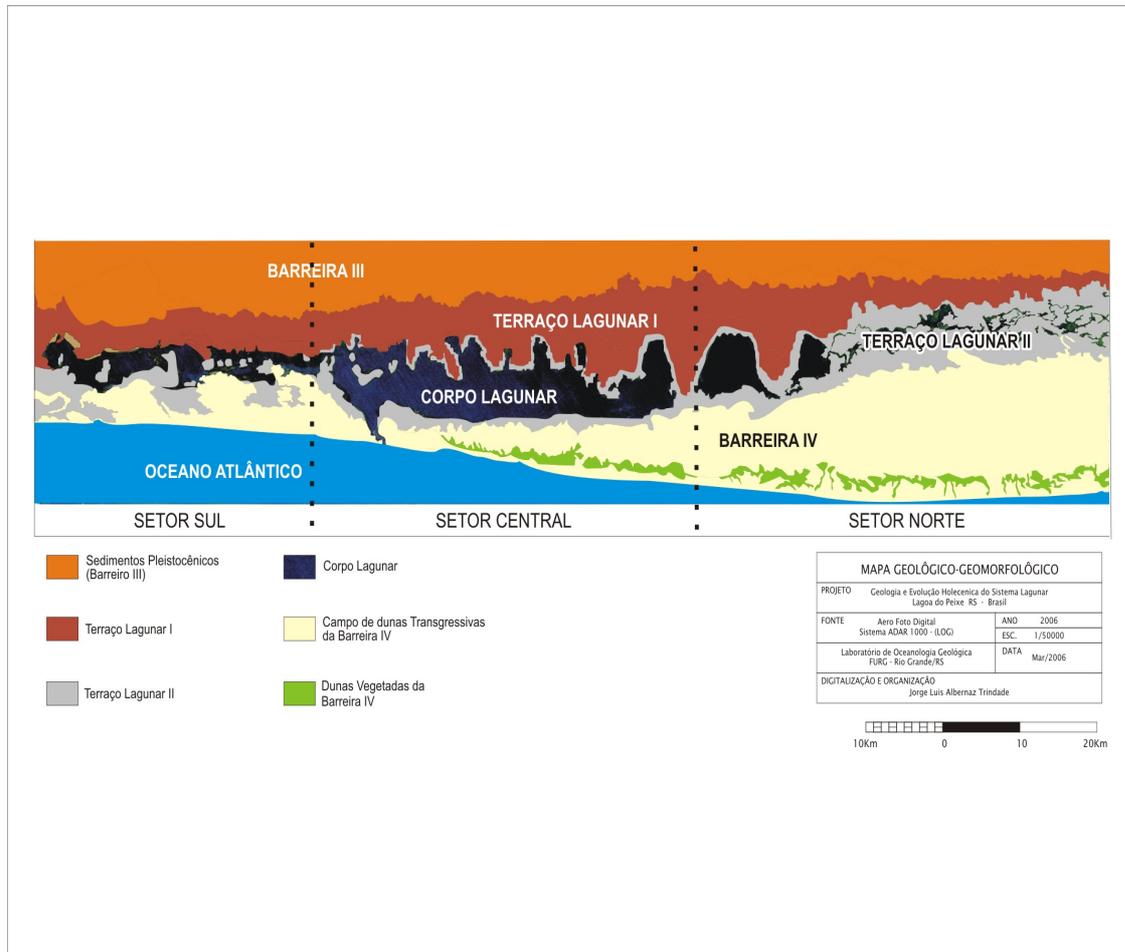


Fig. 23 Mapa Geológico e Geomorfológico

Fig. 23 Mapa Geológico - Geomorfológico

As fotografias aéreas, as imagens de satélite e os perfis topográficos transversais revelam importantes feições geológicas-geomorfológicas no Sistema Lagunar da Lagoa do Peixe, representadas na Figura 24 Além dos corpos lagunares, estas feições incluem: (1) A Paleofalésia da Barreira III; (2) O Terraço Lagunar I e (3) O Terraço Lagunar II.

A **Paleofalésia da Barreira III** marca o limite oeste do Sistema Lagunar da Lagoa do Peixe, em toda sua extensão. É uma feição geomorfológica contínua, às vezes retilínea por vários quilômetros, outras vezes com pequenas reentrâncias e que apresenta uma altura de até 6 m acima dos terrenos holocênicos do Terraço Lagunar I adjacente. É claramente uma feição erosiva, elaborada nos sedimentos pleistocênicos da Barreira III durante o máximo transgressivo holocênico, ocorrido há cerca de 5 ka, quando o sistema lagunar atingiu sua máxima expansão. Em alguns locais, a escarpa é quase que verticalizada enquanto em outros, a vertente é atenuada devido a processos deposicionais e erosivos posteriores. Incluem-se nestes locais a ocorrência de pequenos leques aluviais formados na base da escarpa por pequenos cursos de água provenientes dos terrenos pleistocênicos. Devido à elevada porosidade e permeabilidade das areias da Barreira III, é comum a ocorrência, próximo à base da escarpa, de pontos de afloramentos do lençol freático, com formação de fontes de água e de pequenos banhados, além de uma faixa com mata nativa de médio a grande porte (coqueiros, figueiras).

O **Terraço Lagunar I** ocupa a faixa mais interna do Sistema Lagunar da Lagoa do Peixe, adjacente à Paleofalésia da Barreira III. É uma feição geomorfológica situada em um nível altimétrico um pouco mais alto do que o Terraço Lagunar II, do qual é separado por uma pequena escarpa de cerca de 1 m de altura. O Terraço Lagunar I representa o fundo lagunar existente durante o máximo transgressivo holocênico. Atualmente, sua altitude o preserva de ser inundado, mesmo durante os períodos de alta pluviosidade. Suas fácies são essencialmente arenosas e os terrenos são cobertos, na sua maior parte, por uma vegetação de gramíneas.

O **Terraço Lagunar II** é uma faixa de terreno situada altimetricamente abaixo do Terraço Lagunar I e que se desenvolve adjacente aos atuais corpos lacustres-lagunares. De modo especial ele se desenvolve no Setor Norte, onde ocupa a maior parte do sistema. As baixas altitudes deste terraço evidenciam que o mesmo está sujeito às inundações que acompanham os períodos de elevada pluviosidade. Suas fácies também são predominantemente arenosas, embora em certos locais – associados, por exemplo, a meandros abandonados – seja comum a ocorrência de lamas. A cobertura vegetal do terraço é formada principalmente por juncos.

A separação altimétrica entre os terraços lagunares I e II, marcada, em certos locais, por uma escarpa em torno de 1m, pode não retratar somente a repetição de períodos de inundação. Uma outra possibilidade a ser considerada é de que esta variação de nível represente também uma variação geral no nível do sistema lagunar em resposta a uma oscilação de alta frequência no nível relativo do mar durante o Holoceno.

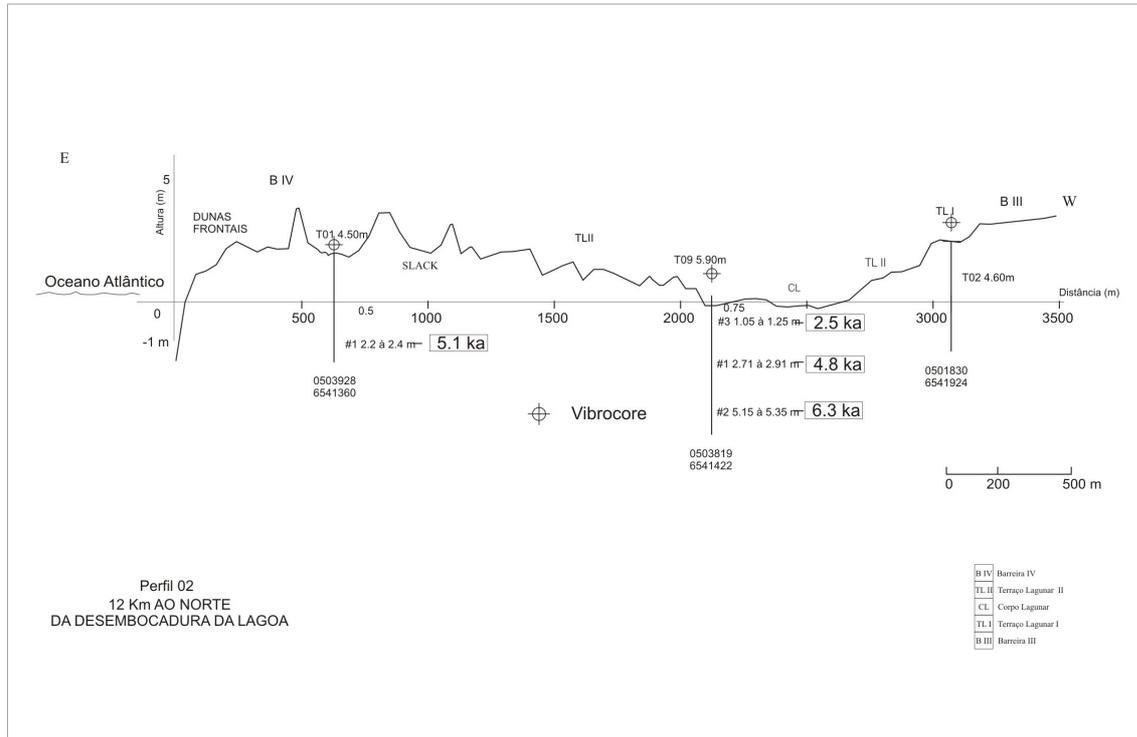


Fig. 24 Perfil 02 Esquemático Transversal a Lagoa

Geologia e Evolução Holocênica da Sistema Lagunar da Lagoa do Peixe, Litoral Médio do Rio Grande do Sul, Brasil

Fig. 24. Perfil 02 esquemático transversal a lagoa.

### 4.3. RESULTADOS DE SUB-SUPERFÍCIE (TESTEMUNHOS)

#### 4.3.1. Descrição e Interpretação dos Testemunhos

Como descrito no Capítulo 3, foram escolhidos 11 pontos de testemunhagem, locados preferencialmente ao longo de perfis topográficos transversais ao sistema estudado (Perfil 01 e 02). Destes pontos amostrados foram obtidos 09 testemunhos com boa recuperação (Tab. 2). Os testemunhos T03 e T10 foram abandonados no próprio campo por deficiência de recuperação. Em laboratório, os testemunhos foram abertos, fotografados, amostrados, descritos e interpretados.

Tabela 03 – Localização (coordenadas) dos testemunhos e comprimento recuperado.

Testemunho	Perfil Topográfico	Localização (UTM)		Comprimento (cm)
T01	02	0503928	6541360	450
T02	02	0501830	6541924	495
T04		0484521	6521413	390
T05		0485008	6521143	535
T06	01	0495478	6530500	490
T07		0494075	6530368	450
T08	01	0499278	6526276	460
T09	02	0503819	6541422	590
T11	01	0493966	6533327	410

Obs.: Os testemunhos T03 e T10 foram abandonados por problemas técnicos de recuperação. Os testemunhos T04, T05 e T07, obtidos fora do alinhamento dos perfis, foram utilizados somente como pontos adicionais de controle.

A análise faciológica dos testemunhos mostra, de forma geral, a ocorrência de fácies arenosa, lamíticas e biodetríticas condizentes com os diferentes ambientes deposicionais constituintes de um sistema do tipo “laguna-barreira”. Devido à boa recuperação de material e natureza dos sedimentos amostrados, os testemunhos T09 e T01, pertencentes ao Perfil 02, foram selecionados para estudos mais detalhados (geocronológicos e paleontológicos) e serão descritos a seguir. As descrições e ilustrações dos demais testemunhos poderão ser acompanhadas no Anexo I.

## Testemunho T09

O testemunho T09 (Fig. 25) foi coletado ao longo do perfil topográfico P02, situado aproximadamente 12 km ao norte da desembocadura da Lagoa do Peixe, próximo ao limite entre o Setor Norte e Central da área de estudo (ver a localização do perfil e do testemunho nas Figs. 17 e 18). O testemunho foi realizado sobre o Terraço Lagunar II, numa altitude de 0,75 metros acima do nível do mar. Sua ótima recuperação (590 cm) permitiu uma boa amostragem de sub-superfície do sistema lagunar estudado.

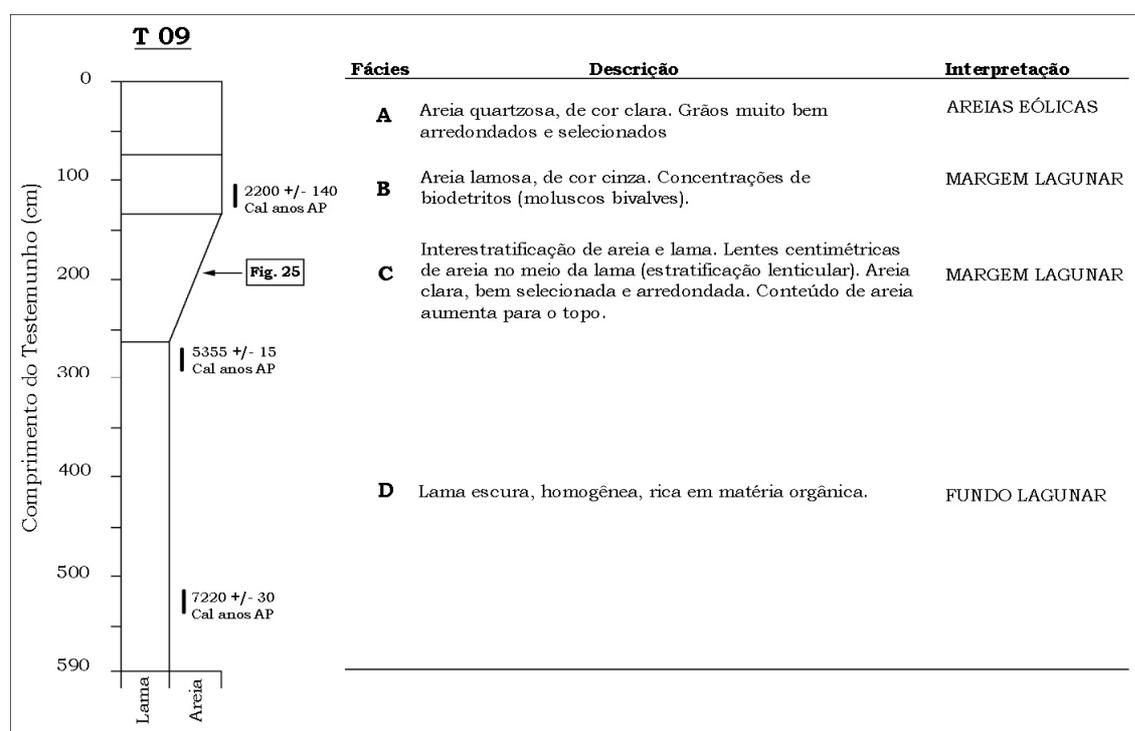


Fig. 25 - Seção colunar do testemunho T 09 com a descrição e interpretação das fácies e a profundidade de coleta de amostras para datação por radiocarbono. Observe-se, também, a posição da fácies C ilustrada na fotografia da Figura 26.

Como pode ser acompanhado na Figura 25, o testemunho pode ser subdividido em 4 fácies sedimentares (Fácies A,B,C e D). A Fácies D, na base do testemunho, corresponde a uma camada lamítica, de cor escura (5YR 2/1), rica em matéria orgânica. Este pacote basal de lama orgânica é bastante homogêneo e alcança uma espessura de aproximadamente 300 cm. Duas amostras desta seção foram coletadas para datação por radiocarbono (Beta 204666, na profundidade entre 515-535 cm e Beta 204665, na profundidade entre 271-291 cm). As idades calibradas encontradas foram,

respectivamente, 7420 - 7020 anos AP e 5370 - 7020 anos AP. Ao longo desta mesma seção lamítica foram coletadas 43 amostras para análise palinológica.

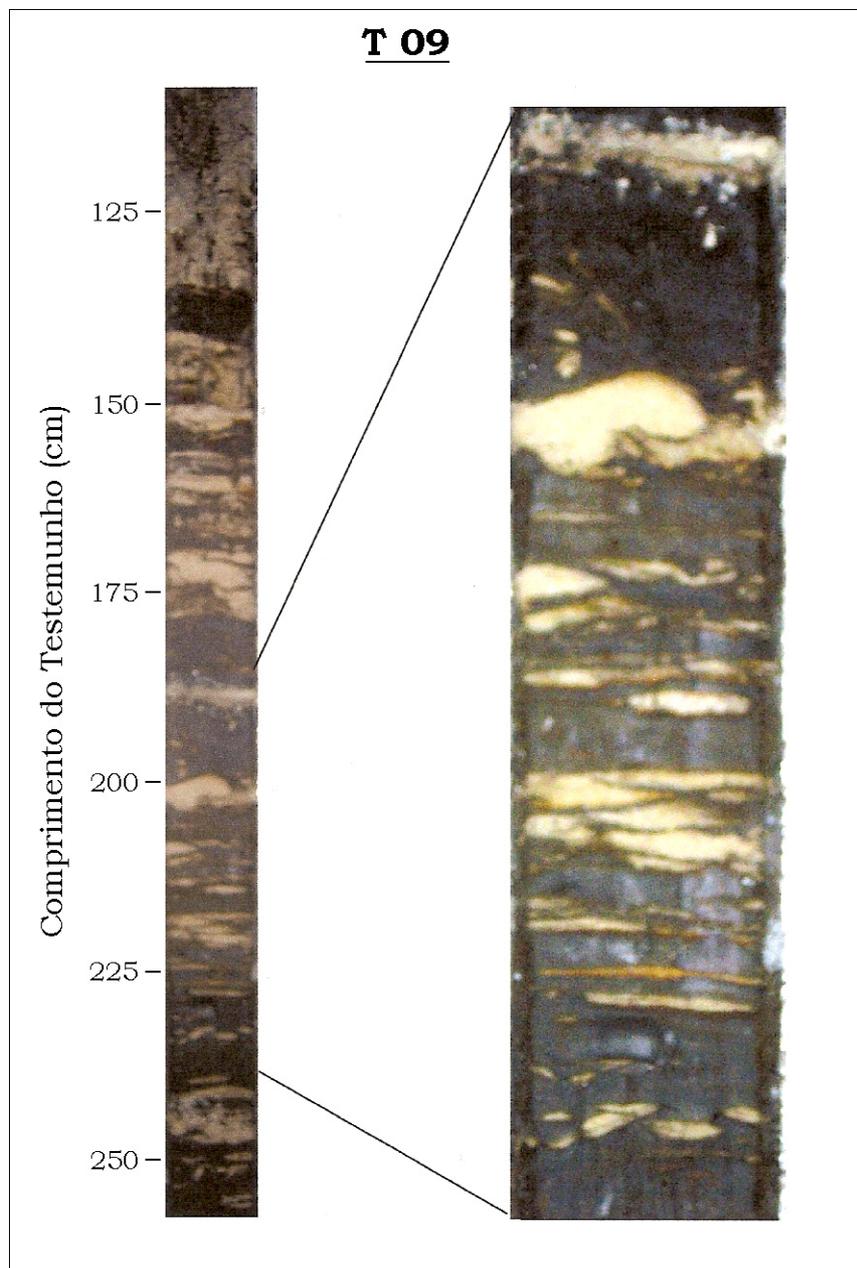


Fig. 26 – Fotografia de uma seção do testemunho T 09, mostrando uma fácies com interestratificação de areia e lama (estratificação lenticular – *linsen*). A fácies é granocrescente com o conteúdo e a espessura das lentes de areia aumentando da base para o topo.

O próximo intervalo do testemunho é representado pela Fácies C, uma seção com 125 cm de espessura onde ocorre uma interestratificação de areia e lama. São lentes milimétricas e centimétricas de areia dispersas no meio da lama, definindo um padrão de estratificação lenticular (*linsen*), muito semelhante aos registros heterolíticos dos ritmitos das planícies de maré (Fig. 26). No conjunto a seção apresenta um padrão granocrescente,

com o conteúdo e a espessura das lentes de areia aumentando da base para o topo. Algumas lentes arenosas apresentam um perfil convexo para cima, sugerindo a morfologia de *ripples*. As areias são de granulação fina, apresentam uma cor clara e são bem arredondadas e selecionadas.

O testemunho continua com a Fácies B, um intervalo com cerca de 60 cm de espessura formado por areia fina lamosa, contendo uma alta concentração de fragmentos de conchas de moluscos bivalves. Conchas retiradas deste intervalo (entre as profundidades de 105 e 125 cm) foram encaminhadas para datação por radiocarbono (Beta 204667) e apresentaram uma idade calibrada de 2340 - 2060 anos AP.

O testemunho encerra, em seu topo, com a Fácies A, um pacote com cerca de 80 cm de areia fina, quartzosa, de cor clara (10YR 8/2), com grãos muito bem selecionados e arredondados. Algumas manchas dispersas, de cores amarelo-avermelhadas sugerem processos localizados de oxidação. Neste intervalo ocorrem, também, algumas bioturbações por raízes.

A análise da sucessão vertical de fácies testemunhada permite fazer uma interpretação sobre a sedimentação do sistema lagunar estudado. O conjunto é nitidamente progradante, mostrando as fácies marginais do sistema avançando sobre as fácies do fundo lagunar. A fácies de lama orgânica basal (Fácies D) representa os depósitos acumulados no fundo lagunar. As Fácies B e C representam depósitos associados às margens lagunares, permitindo a intercalação de areias e lamas bem como a ocorrência de biodetritos. A Fácies A, formada essencialmente por areias finas muito bem selecionadas e arredondadas representaria o avanço de depósitos eólicos (pequenas dunas ou lençóis de areia) colmatando o corpo lagunar.

## Testemunho T01

O testemunho T01 (Fig. 27) foi igualmente coletado ao longo do perfil P02, sobre o Terraço Lagunar II, próximo à borda da lagoa, em uma altitude de 0,5 metros acima do nível do mar (Ver localização nas Figs. 17 e 18). A profundidade alcançada pelo testemunho foi de 450 cm.

O registro sedimentar amostrado no testemunho T01 pode ser subdividido em três fácies com características litológicas diferentes (Fácies A, B e C).

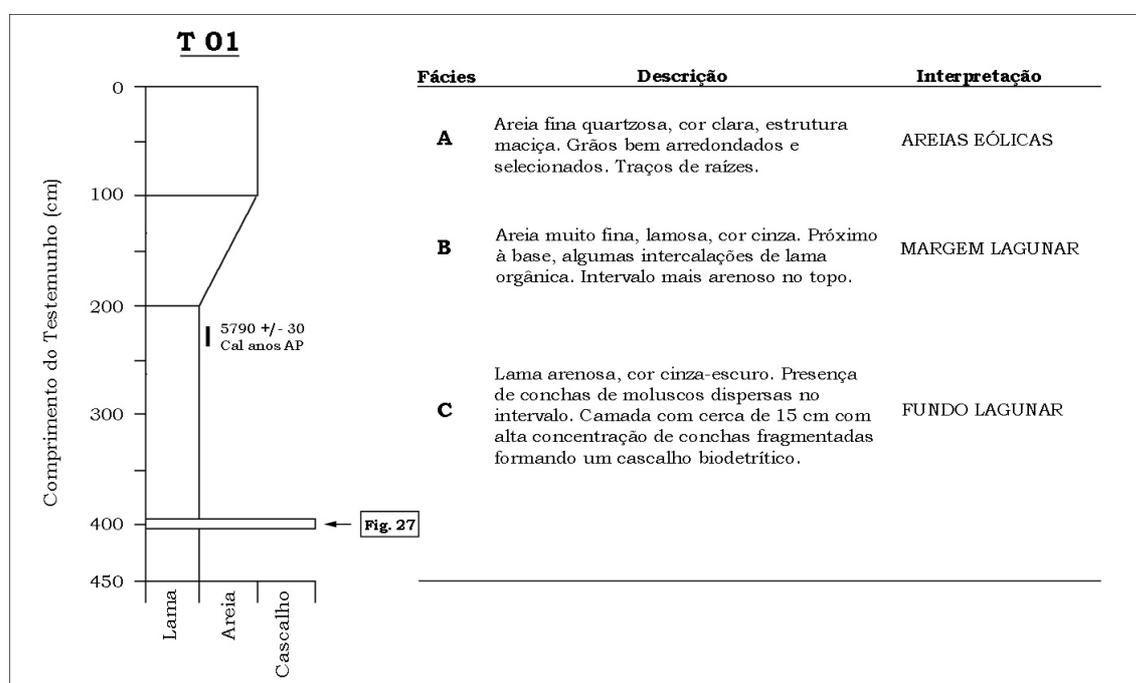


Fig. 27 - Seção colunar do testemunho T 01, com a descrição e interpretação das fácies e a profundidade de coleta de amostra para datação por radiocarbono. Observe-se, também, a posição da camada de cascalho biodetrítico, dentro da Fácies C, ilustrada na fotografia da Figura 27.

A Fácies basal (Fácies C) corresponde a um pacote, com cerca de 250 cm de espessura, de lama arenosa de cor cinza-escuro esverdeada (5YR 2/1), contendo, de forma dispersa ao longo da seção, conchas de moluscos (conchas inteiras e fragmentadas). A análise paleontológica destas conchas mostrou a ocorrência dominante de organismos de ambientes mixohalinos (lagunar, estuarino), como *Tagelus plebeus*, *Erodona mactroides*, entre outros. De forma conspícua, a Fácies C apresenta, na profundidade em torno de 400 cm, a ocorrência de uma camada, com cerca de 15 cm de espessura, com uma elevada concentração de fragmentos de biodetritos (Fig. 28). Os organismos que formam este nível

de cascalho biodetrítico são idênticos aos que ocorrem disseminados ao longo do intervalo amostrado.

A Fácies B corresponde a uma camada granocrescente que varia de lama arenosa, na base, para areia lamosa, no topo. A areia é de granulação muito fina a fina, de cor cinza-esverdeado (5G 2/1). Mais próximo à base do intervalo ocorrem alguns níveis de lama escura, rica em matéria orgânica.

A Fácies A, no topo da seção, é constituída por uma camada de areia fina, quartzosa, de cor clara. Os grãos de areia são bem arredondados e selecionados. A estrutura interna do pacote é maciça, aparentemente sem desenvolvimento de estratificação. Algumas manchas verticalizadas sugerem a presença de traços fósseis de raízes.

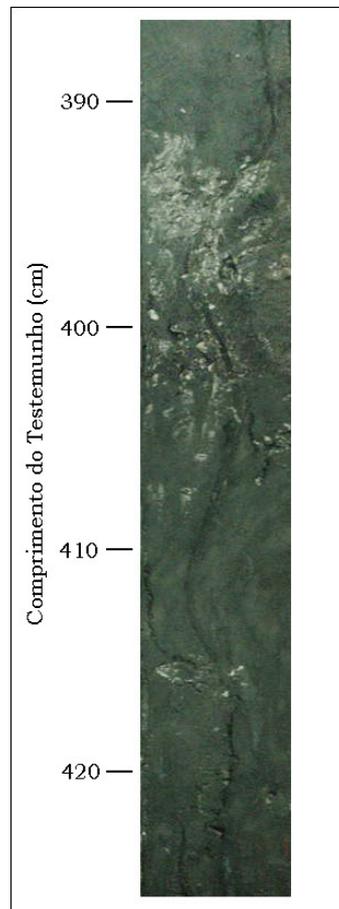


Fig. 28 – Fotografia de uma seção do testemunho T 01 (Fácies C), mostrando uma fácies de lama arenosa contendo, de forma dispersa, conchas (inteiras e fragmentadas) de moluscos. Próximo à profundidade de 400 cm ocorre um nível de cascalho biodetrítico.

No conjunto, a sucessão vertical de fácies do testemunho T01 é bastante semelhante à encontrada no testemunho T09. Ambas são granocrescentes e sugerem um

processo de avanço (progradação) das fácies marginais sobre as fácies centrais (de fundo) do corpo lagunar. A fácies de lama arenosa basal (Fácies C) representa os depósitos clásticos acumulados no fundo lagunar e que incorporam carapaças de organismos lá existentes. O cascalho biodetrítico incorporado na Fácies C resultou, provavelmente, de um evento energético excepcional (tempestade) que concentrou as conchas destes organismos (as conchas são fragmentadas). A Fácies B, de natureza granocrescente, representa os depósitos associados às margens lagunares, permitindo a intercalação, ou mistura, de areias e lamas. A Fácies A, de topo, formada por areias finas bem selecionadas e arredondadas representaria o avanço de depósitos eólicos responsáveis pela colmatação final do corpo lagunar.

A Figura 28 apresenta as fotografias de algumas das principais espécies de moluscos encontrados nos testemunhos amostrados.

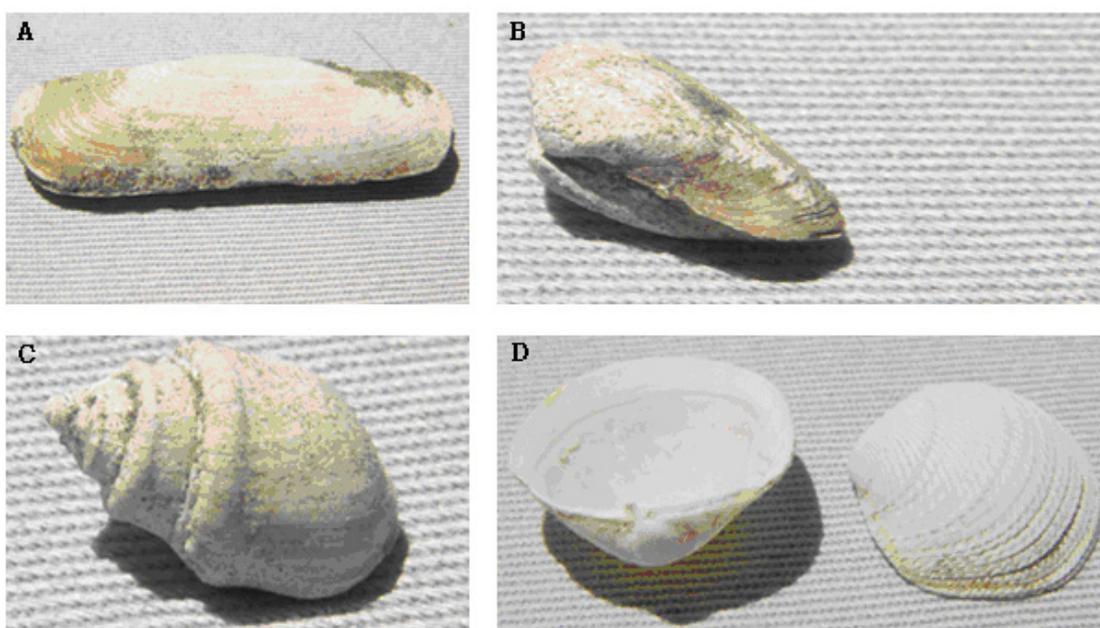


Fig. 29 – Fotografias ilustrativas de algumas das principais espécies de moluscos encontradas nos testemunhos analisados e que apresentam um excelente grau de preservação. A – *Tagelus plebeus* (T06); B – *Erodona mactroide* (T09); C – *Buccinanops gradatum* (T09); D – *Strigilla carnaria* (T02).

#### 4.3.2. Resultados das Análises Palinológicas

Devido à boa recuperação (5,90 m) e à presença de um espesso e contínuo pacote de lama próximo à base, o testemunho T09 foi selecionado, dentre os vários testemunhos coletados, para ser submetido à análise micropalintológica (palinológica). Com este objetivo, foram coletadas 43 amostras de lama, contidas no intervalo 223-586 cm do testemunho. As análises palinológicas foram realizadas nos laboratórios de CECO-IG-UFRGS, pela palinóloga Dr<sup>a</sup> Svetlana Medeanic.

Além dos constituintes palinomórficos e de diatomáceas, discutidos a seguir, algumas das amostras analisadas revelaram a presença de partículas de carvão. Estas partículas – que alcançam comprimentos de até 200  $\mu\text{m}$  - podem evidenciar a ocorrência de incêndios naturais que afetaram a área de estudo em épocas de clima mais seco (Swain, 1973, Clarc, 1983, 1988, Burney 1987, Edwards & Maguire, 1987). A recorrência destes componentes ao longo do registro pode apontar para um importante aspecto paleogeográfico do sistema estudado: ao longo do tempo a lagoa parece ter se comportado como um corpo de água muito raso, à semelhança de seu comportamento atual. Eventualmente poderia secar por completo, durante períodos de seca mais intensa quando a vegetação das imediações da laguna entrava em combustão natural.

Os resultados obtidos nas análises palinológicas – expressos no Quadro 1, Figura 30 incluem os palinomorfos (todos os tipos encontrados), diatomáceas e partículas de carvões. A distribuição destes componentes nas amostras permitiu identificar 20 Zonas (Zona I a Zona XX), relacionadas à mudanças ambientais e condições de sedimentação da paleolaguna, conectadas com prováveis oscilações de nível do mar e mudanças climáticas.

A composição taxonômica dos palinomorfos identificados nas amostras é apresentada no Quadro 2, em anexo. As definições taxonômicas de pólen e esporos das plantas superiores foram feitas com base em trabalhos sobre morfologia e taxonomia de pólen e esporos (Barth et al., 1976, Neves & Lorscheitter 1992, Neves & Lorscheitter 1995). Consultas à palinoteca de pólen e esporos das plantas nativas do Estado do Rio Grande do Sul no CECO-IG-UFRGS foram realizadas durante trabalho de análise.

Todos os palinomorfos encontrados foram contados simultaneamente (“pollen sum”), a saber: pólen das plantas superiores (terrestres e aquáticas), esporos de Bryophyta e Pteridophyta, zigósporos de algas de água doce (Chlorophyta) e cistos de algas marinhas e salobras (Dinophyceae e Acritarcha). Os dados obtidos foram plotados

em palinodiagrama (Figura 26) utilizando o programa (Software) TILIA, TILIAGRAF (Grimm 1987).

Os cistos de dinoflagelados e frustulas de diatomáceas encontradas foram determinados com base na bibliografia pré-existente (Moreira Filho & Teixeira 1963, Moreira 1975, Dale 1976, Canter-Lund 1995, Van Gell & Van Hammen 1978; Meyer Rosa 1979, Sournia 1986). O uso de carapaças de microforaminíferos (*microforaminifera linings*) para avaliar as mudanças da salinidade da paleolaguna foi baseado de Thunell & Williams Douglas (1983).

A distribuição de 6 gêneros de diatomáceas identificados está apresentada no Quadro 3, em anexo.

**Zona I** (intervalo 559-586 cm). Os polens e esporos de plantas terrestres e aquáticas não foram encontrados. São freqüentes as diatomáceas marinhas tais como: *Triceratium*, *Coscinodiscus*, *Auliscus*, *Actinoptychus* e diatomáceas mixohalinas *Paralia sulcata*. A ocorrência freqüente de diatomáceas marinhas evidencia a formação dos sedimentos em condições da transgressão marinha. A ausência de polens e esporos pode evidenciar uma maior distância das terras vegetadas - fonte da matéria orgânica terrestre da paleolaguna daquele período.

**Zona II** (profundidade 552 cm). Não foram encontrados polens, esporos e diatomáceas. Foram identificadas partículas de carvões. Relativamente freqüentes, as partículas de carvões, com formas predominantemente retangulares, alcançam tamanhos de até 60-120 µm. Estas partículas evidenciam a ocorrência de incêndios naturais durante períodos de seca. O predomínio de formas retangulares sugere a localização de fontes de incêndios relativamente próximas da bacia de sedimentação.

Esta Zona corresponde, provavelmente, a um período de clima seco, quando os sedimentos superficiais da paleolaguna, que provavelmente secou, ficaram sujeitos aos processos de intemperismo. Como resultado, a matéria orgânica foi destruída.

**Zona III** (intervalo 534-544 cm). Aumenta a freqüência de polens de plantas herbáceas de dunas e de marismas (*Asteraceae*, *Chenopodiaceae*, *Cyperaceae*, *Poaceae* predominam). Os esporos de briófitas e pteridófitas encontram-se raramente. Uma planta pteridofita halófito aquática (*Azolla filiculoides*), atualmente distribuída nas marismas periféricas às lagunas da planície costeira do RS é registrada.

Houve, provavelmente, um aumento significativo na salinidade da paleolaguna, causado pelo avanço das águas marinhas e levando à ocorrência freqüente de cistos de microfitoplancton marinho (*Micrhystridium* e *Cymatiosphaera*), carapaças de microforaminíferos e de diatomáceas mixohalinas (*Paralia sulcata*) e marinhas (*Triceratium*, *Coscinodiscus*, *Actinoptychus* e *Auliscus*).

**Zona IV** (intervalo 513-528 cm). Os polens, esporos e diatomáceas não foram encontrados. A Zona provavelmente corresponde a um período de clima seco.

**Zona V** (profundidade 506 cm). Predominam os polens de plantas herbáceas (*Poaceae*, *Chenopodiaceae*), e aumentam a freqüência e diversidade de esporos de pteridófitas (*Anemia*, *Anogramma*, *Dicksonia*, *Polypodiaceae*). As colônias de *Botryococcus* evidenciam que a paleolaguna era rasa. A salinidade elevada da paleolaguna com a influência de águas marinhas é expressa pelos cistos de acritarcas e dinoflagelados e de diatomáceas mixohalinas (*Paralia sulcata*) e diatomáceas marinhas (*Triceratium*). O clima do período era relativamente úmido com épocas de seca, quando ocorriam as queimadas espontâneas da vegetação nas áreas adjacentes da paleolaguna, fenômeno evidenciado pela ocorrência de partículas de carvões.

**Zona VI** (profundidade 498 cm). Os pólen, esporos e frustulas de diatomáceas não foram encontrados. Zona provavelmente correspondente a um período de clima seco.

**Zona VII** (intervalo 466-492 cm). Somente as diatomáceas mixohalinas (*Paralia sulcata* e *Terpsinöe* cf. *musica*) e marinhas (*Triceratium*, *Coscinodiscus*, *Actinoptychum* e *Auliscus*) encontram-se esporadicamente, indicando avanço de águas marinhas para paleolaguna com um caráter oscilativo. A vegetação era provavelmente escassa como resultado do clima seco. As partículas de carvões evidenciam as queimas da vegetação de dunas e marismas distribuídas ao redor da paleolaguna.

**Zona VIII** (profundidade 460 cm). Os polens, esporos e diatomáceas não foram encontrados. A Zona provavelmente corresponde a um período de clima seco.

**Zona IX** (profundidade 454 cm). Aumentam os polens e esporos de plantas terrestres e aquáticas. Os polens de plantas herbáceas atualmente distribuídas nas dunas e marismas predominam. As espécies de *Poaceae* e *Cyperaceae* são mais freqüentes. Foram identificados os polens de *Typhaceae* (*Typha* cf. *domingensis*), planta herbácea aquática que, atualmente, encontra-se em pântanos e marismas. Um aumento nas precipitações atmosféricas causou ampliação da vegetação de dunas e marismas distribuídas ao redor da paleolaguna. As colônias de *Botryococcus* indicam uma profundidade relativamente

pequena da paleolaguna durante o período. Os cistos de fitoplâncton marinho (*Micrhystridium*) e de diatomáceas mixohalinas (*Paralia sulcata*) indicam uma salinidade elevada da paleolaguna. A presença de partículas de carvões freqüentes pode evidenciar a ocorrência de queimas espontâneos naturais da vegetação de dunas relativamente abundante.

**Zona X** (profundidade 450 cm). Os pólenes, esporos de plantas terrestres e aquáticas e diatomáceas não foram encontrados. A Zona provavelmente corresponde a um período de clima seco.

**Zona XI** (profundidade 445 cm). Os pólenes e esporos de plantas terrestres e aquáticas superiores são raros. Foram identificadas numerosas colônias de *Botryococcus* cuja ampla distribuição ocorre nas bacias aquáticas rasas em condições de evaporação durante clima seco. As diatomáceas encontram-se raramente. Somente uma espécie mixohalina *Paralia sulcata* foi identificada. Neste período, a paleolaguna foi rasa, se desenvolvia nas condições do clima relativamente seco e com a salinidade elevada, mantendo as conexões com o oceano.

**Zona XII** (profundidade 440 cm). Os pólenes, esporos de plantas terrestres e aquáticas e diatomáceas não foram encontrados. Zona provavelmente correspondente a período de clima seco.

**Zona XIII** (intervalo 412-434 cm). Neste intervalo os pólenes e esporos de plantas terrestres e aquáticas, cistos de microfítocoplâncton marinho são raros, refletindo condições não favoráveis para sua preservação. Entre os pólenes de plantas herbáceas predominam Asteraceae, Poaceae, Chenopodiaceae, Cyperaceae, distribuídas atualmente nas dunas, marismas e pântanos na Planície costeira do RS. Quanto às diatomáceas, somente uma espécie mixohalina *Paralia sulcata* foi identificada. Provavelmente, o clima daquele período era relativamente seco. As conexões com o oceano foram ocasionais.

**Zona XIV** (intervalo 393-408 cm). Os pólenes, esporos de plantas terrestres e aquáticas e diatomáceas não foram encontrados. A Zona provavelmente corresponde a um período do clima seco.

**Zona XV** (intervalo 384-388 cm). As duas amostras se diferenciam pela freqüência de pólenes e esporos de plantas terrestres e aquáticas superiores. Na amostra de profundidade 388 cm predominam os pólenes de plantas herbáceas (Asteraceae, Poaceae, Chenopodiaceae, Cyperaceae, Juncaginaceae), que atualmente encontram-se nas dunas e marismas. Esporos de pteridófitas são raros. O clima era relativamente úmido. A

salinidade da paleolaguna foi elevada, como indica o microfitoplancton marinho (cistos de acritarcos, dinoflagelados e carapaças de microforaminíferos).

**Zona XVI** (profundidade 378 cm). Os polens, esporos de plantas terrestres e aquáticas e diatomáceas não foram encontrados. Zona provavelmente correspondente a período de clima seco.

**Zona XVII** (intervalo 314-352 cm). As amostras deste intervalo são caracterizadas pela presença constante, e às vezes bem notável, de pólenes e esporos de plantas terrestres e aquáticas (Asteraceae, Chenopodiaceae, Cyperaceae, Poaceae), que atualmente encontram-se nas dunas e marismas. Numa amostra (profundidade 352 cm) encontram-se polens de *Ludwigia* (Onagraceae), recentemente distribuída nos pântanos e brejos. Os polens de plantas arbóreas são raros. A frequência e diversidade de esporos de briófitas e pteridófitas aumentaram. O aumento de frequência de polens de plantas herbáceas e esporos de pteridófitas podem evidenciar uma melhoria do clima expressa no aumento das precipitações atmosféricas. A presença de *Botryococcus* nas amostras indica uma paleolaguna rasa e de salinidade elevada. As coenóbias de *Pediastrum* (uma alga de água doce) e de zigósporos de *Spirogyra*, outra alga de água doce, podem evidenciar alguns influxos temporários de água doce para a paleolaguna. Os últimos foram formados como resultado do aumento das precipitações atmosféricas. A salinidade elevada da paleolaguna é expressa pela presença permanente de microfitoplancton marinho (cistos de acritarcos, dinoflagelados e carapaças de microforaminíferas) e também pela frequência oscilatória de diatomáceas marinhas (*Triceratium*, *Coscinodiscus*) e mixohalinas (*Paralia sulcata* - predomina). As partículas de carvões em algumas amostras (de profundidade 314 cm, e de intervalo 328-352 cm) podem ser conectadas com os incêndios espontâneos durante as secas.

**Zona XVIII** (intervalo 277-294 cm) pólen, esporos de plantas terrestres e aquáticas e diatomáceas não foram encontrados. A Zona provavelmente corresponde a um período de clima seco.

**Zona XIX** (profundidade 249 cm). Os polens e esporos são relativamente frequentes. Aumentam a quantidade e diversidade de polens de plantas herbáceas que atualmente se distribuem nas dunas e marismas (Poaceae, Chenopodiaceae, Asteraceae, Cyperaceae). Esporos de briófitas e pteridófitas são raros. Os cistos de fitoplancton marinho diminuem. As diatomáceas são representadas pela espécie mixohalina *Paralia*

*sulcata*, e de diatomáceas marinhas - *Triceratium* e *Coscinodiscus* que indicam a influência marinha na paleolaguna. Clima relativamente úmido.

**Zona XX** (profundidade 223 cm). Os polens e esporos são relativamente raros. Predominam os polens de plantas de dunas e marismas (Poaceae, Cyperaceae, Juncaginaceae). Os polens de plantas arbóreas e os esporos de briófitas e pteridófitas são raros. As colônias de *Botryococcus* evidenciam a profundidade relativamente pequena da paleolaguna. A frequência notável de fitoplâncton marinho (*Cymatiosphaera* e *Micrhystridium*) junto com os cistos de dinoflagelados indica a conexão da paleolaguna com o oceano. Não foram encontradas diatomáceas. Clima relativamente úmido.

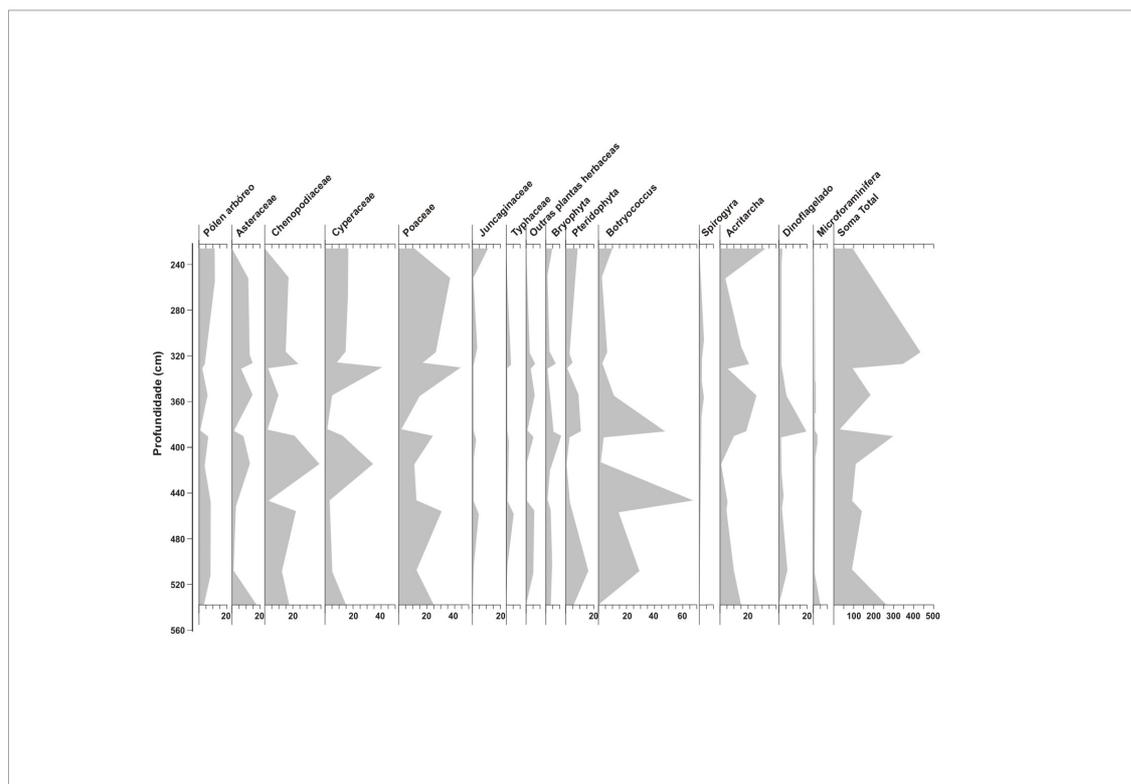


Fig. 30 Palinodiagrama resultante da análise de 43 amostras do testemunho T09

Geologia e Evolução Holocênica da Sistema Lagunar da Lagoa do Peixe, Litoral Médio do Rio Grande do Sul, Brasil

Fig. 30 – Palinodiagrama resultante da análise de 43 amostras do testemunho T09.

### 4.3.3. Resultados das Análises Geocronológicas

Quatro amostras foram coletadas nos testemunhos T01 (uma amostra de lama orgânica) e T09 (três amostras, uma de conchas e duas de lama orgânica) e encaminhadas ao laboratório Beta Analytic Inc, Miami, Flórida, para determinação de idade por  $^{14}\text{C}$ . A Tabela 03 apresenta as características das amostras e os resultados das datações. O significado das idades encontradas será discutido no capítulo referente à integração e interpretação dos dados.

Tab. 04 – Idades radiocarbono e tipo de material amostrado nos testemunhos. Amostras processadas no laboratório Beta Analytic Inc (Miami, Florida). Calibração  $2\sigma$ .

Testemunho / Amostra	Nº Laboratório	Coordenadas (UTM)	Prof. (cm)	Material	Idade Conv (anos AP)	Idade Cal (anos AP)
T01 / 01	Beta-204664	0503928 / 6541336	220-240	Lama orgânica	5180 ± 60	5820-5760
T09 / 03	Beta-204667	0503819 / 6541422	105-125	Conchas	2550 ± 60	2340-2060
T09 / 01	Beta-204665	0503819 / 6541422	271-291	Lama orgânica	4840 ± 70	5370-5340
T09 / 02	Beta-204666	0503819 / 6541422	515-535	Lama orgânica	6330 ± 80	7420-7020

## CAPÍTULO 5 – INTEGRAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Neste capítulo procurar-se-á integrar os dados disponíveis (dados geológicos, geomorfológicos, sedimentológicos, paleontológicos e cronológicos) visando estabelecer um modelo coerente para explicar a evolução histórica do sistema lagunar da Lagoa do Peixe durante o Holoceno, até o estabelecimento da paisagem atual.

As datações por radiocarbono e os dados palinológicos evidenciam que a sedimentação lagunar da área de estudo iniciou há, pelo menos, 7420-7020 anos AP, idade calibrada obtida para as lamas orgânicas próximas à base do testemunho T09. Os dados palinológicos (Zona III) evidenciam que esta lama não foi depositada em um ambiente de água doce, mas sim em um ambiente lagunar, registrado na ocorrência freqüente de vários indicadores, tais como: cistos de microfítóplaton marinho, carapaças de microforaminíferos e diatomáceas mixohalinas e marinhas. Na realidade, a ocorrência de indicadores palinológicos de ambiente lagunar nos sedimentos do testemunho T09 situados abaixo da lama datada (Zona I) mostra que o afogamento inicial da paleo-laguna ocorreu em um tempo anterior à idade obtida. Pode-se aceitar, portanto, a idade calibrada de 7420-7020 anos AP como sendo uma idade mínima para o início da sedimentação lagunar na área de estudo.

Os dados sedimentológicos e paleontológicos mostram que, após seu estabelecimento, a laguna evoluiu, durante o Holoceno, como um ambiente de sedimentação em que a espessura da lâmina da água variou bastante, como resposta à variações climáticas (períodos de cheias e secas) e/ou variações do nível do mar. A ocorrência de partículas de carvão em vários níveis no testemunho estudado, acompanhada do concomitante desaparecimento de pólenes, esporos e diatomáceas (Zonas II, IV, VI, VIII, X, XII, XIV, XVI, XVIII) evidencia a existência de períodos em que a laguna secou (total ou parcialmente) propiciando o incêndio natural da vegetação marginal e o desaparecimento dos microfósseis.

A situação geográfica do sistema lagunar da Lagoa do Peixe, posicionada entre duas barreiras arenosas (Barreira III e IV) não permitiu o aporte de sedimentos externos ao sistema, trazidos por sistemas fluviais. Como resultado, a natureza textural das fácies amostradas, tanto nos sedimentos superficiais do fundo da Lagoa do Peixe (mapa textural da Fig.22), como nos testemunhos, se restringe, praticamente, ao intervalo areia fina a

lama. Esta grande homogeneidade textural reflete a limitação das fontes de sedimentos responsáveis pelo aporte sedimentar para o interior da laguna, comportamento que, provavelmente, vigorou desde a época da implantação da laguna até os dias de hoje. As fontes de sedimentos parecem ter sempre se limitado aos sistemas costeiros e marinhos adjacentes (Barreira III, Barreira IV e oceano).

A análise dos testemunhos e da paisagem atual revela que o principal processo de colmatação da laguna ao longo do tempo esteve ligado ao avanço das fácies marginais do flanco leste da laguna – representadas principalmente por areias eólicas da Barreira IV – progradando sobre as fácies centrais do sistema. O testemunho T 09 (Fig. 25) contendo no topo areias eólicas, bem selecionadas e arredondadas, depositadas sobre lamas orgânicas lagunares é bastante representativo deste processo.

A ocorrência, em alguns testemunhos, de intervalos com interestratificação de areia e lama, num padrão muito semelhante aos clássicos depósitos de planície de maré, pode ser interpretada como mais uma evidência de que o corpo lagunar era bastante raso com grandes flutuações em sua lâmina de água. Tendo em vista a pequena amplitude da maré astronômica na região de estudo, este padrão de estratificação deve ser explicado por outro mecanismo que não a ação das marés. Provavelmente, o vento, atuando sobre o corpo de água rasa, tenha sido o agente promotor desta estratificação. Como mostram as Figuras 13 e 14, a ação do vento pode represar a água da laguna contra a margem oposta, deixando exposta boa parte do fundo lagunar raso. Este fundo muitas vezes apresenta, localmente, presença de lama que pode se intercalar com areias eólicas que, posteriormente, quando as águas retornam ao seu nível original, passam a ser retrabalhadas pelas ondas lagunares. Este mecanismo poderia explicar a origem das lentes de areia (*linsen*), muitas vezes com clara morfologia de *ripples*, dispersas no meio da lama (Fig. 26).

Os dados dos perfis topográficos, das fotografias aéreas e imagens de satélite permitiram reconhecer no sistema lagunar da Lagoa do Peixe, além do corpo lagunar, a presença de dois terraços lagunares (Terraço Lagunar I e II) separados por uma pequena escarpa com cerca de 1 m de altura (Fig. 23). A gênese desta escarpa e a conseqüente separação entre os terraços pode ter resultado de uma oscilação de alta frequência no nível relativo do mar durante o Holoceno, após o máximo transgressivo alcançado há cerca de 5 ka. Outra possibilidade é que esta feição geomorfológica tenha sido gerada em um período de estabilização durante o processo de queda do nível relativo do mar. Em qualquer das

hipóteses ela é uma feição que sugere que a queda do nível relativo do mar, após o máximo transgressivo holocênico, não foi um processo contínuo ao longo do tempo.

Foi possível compartimentar o sistema lagunar da Lagoa do Peixe em três setores distintos, como ilustra o Mapa Geológico-Geomorfológico da Figura 23, e que representam três diferentes estágios no processo evolutivo do sistema. Os setores Norte e Sul apresentam avançado estado de colmatação, promovido, basicamente, pelo avanço das dunas transgressivas da Barreira IV. Especialmente no Setor Norte este processo está mais avançado e o antigo corpo lagunar foi quase que totalmente substituído por uma planície com pequenos canais interligando corpos lacustres residuais. O corpo lagunar só é mais expressivo e contínuo no Setor Central, onde a Barreira IV é mais estreita e onde ocorre o único canal de ligação com o mar.

A paisagem atual, retratada no mapa, mostra que a história evolutiva do corpo lagunar, iniciada a mais de 7 ka, tende a encerrar, no futuro, com o desaparecimento total da laguna, promovido, principalmente, pela colmatação por areias eólicas. Neste quadro futurístico a Barreira IV se acoplaria diretamente na Barreira III, como já ocorre em alguns segmentos costeiros situados ao norte da área de estudo. Esta projeção para o futuro poderá ser modificada na dependência, principalmente, das variações relativas do nível do mar. Uma queda relativa do nível do mar aceleraria o processo enquanto uma subida do nível – tendência atual em âmbito global – poderia retardar ou mesmo inverter este processo.

## CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES

O estabelecimento de um quadro evolutivo coerente para o sistema lagunar da Lagoa do Peixe é a essência deste trabalho e a principal conclusão atingida por esta Tese. A integração dos dados aqui obtidos com os dados de outros trabalhos precedentes realizados na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (por exemplo, Tomazelli & Villwock, 2000; Dillenburg *et al.*, 2004) permite reconstituir a história evolutiva do sistema lagunar da Lagoa do Peixe através das seguintes etapas:

1. O sistema lagunar da Lagoa do Peixe começou a se formar há mais de 7000 anos, quando ocorreu o início do afogamento da região com águas de um sistema lagunar incipiente;
2. Com a continuidade de subida do nível do mar o sistema lagunar se ampliou e atingiu sua máxima expansão há cerca de 5 ka. Por este tempo, a ação erosiva das ondas lagunares elaborou a escarpa ao longo da Barreira III, limite oeste do sistema. O fundo desta paleo-laguna do máximo transgressivo ficou registrado no que, neste trabalho, foi mapeado como Terraço Lagunar I.
3. Com a queda do nível do mar que se seguiu ao máximo transgressivo iniciou o processo de segmentação e colmatação do sistema lagunar. A presença de uma escarpa erosiva, separando dois terraços lagunares em níveis altimétricos distintos, pode ser interpretada como uma evidência geomorfológica de uma oscilação de alta frequência, ou um período de estabilização, durante o evento de queda do nível relativo do mar.
4. A paisagem atual retrata um sistema lagunar em franco processo de colmatação, promovido, basicamente, pelo sistema de dunas transgressivas da Barreira IV. Somente o Setor Central do sistema mantém-se como um corpo lagunar mais expressivo e contínuo, devido à presença do canal de conexão com o mar e à morfologia estreita da Barreira IV, o que condiciona um menor desenvolvimento de dunas eólicas.

5. Uma projeção para o futuro mostra que, mantendo-se as variáveis atuais, o sistema lagunar desaparecerá por completo e a Barreira IV deverá se soldar à Barreira III. No entanto, este quadro poderá se modificar na dependência do comportamento dos parâmetros controladores da dinâmica costeira, especialmente a variação do nível relativo do mar.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ALVAREZ, J. A.; GRÊ J. C. & TOLDO Jr., E. 1981. Estudos da praia a nordeste do molhe de Rio Grande, RS. *Pesquisas*, Porto Alegre, **14**: 131-147.
- BARNES, R.S.K. 1980. Coastal Lagoons. Cambridge: Cambridge University Press. 106p.
- BARTH, O. M.; BARBOSA, H.S.; MACIEIRA, E.G. 1976. Morfologia da pólen anemófilo e alegizante no Brazil VI- Gramineae, Palmae, Typhaceae, Cyperaceae, Cupressaceae e Combretaceae. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, **74** (3/4) : 347-359.
- BIRKEMEIER, W. A. 1981. Fast accurate two-person beach survey coastal engineering research center, coastal engineering technical aid 81-11: 22p.
- BUCHMANN, F.S.C; BARLETTA, R.C.; TOMAZELLI, L.J. & BARRETO, A. (1999). Novo afloramento pleistocênico na atual linha de costa do Rio Grande do Sul, Brasil. 7º Congresso Brasileiro de Estudos do Quaternário, Porto Seguro, BA, **Anais...**
- BUCHMANN, F.S.C; & TOMAZELLI, L.J. (2000). Altos topográficos submersos (parcéis) na antepraia do Rio Grande do Sul, Brasil, e sua influência na morfologia e dinâmica praial. Simpósio Brasileiro sobre Praias Arenosas, Itajaí, **Anais...** 173-174.
- BUCHMANN, F.S.C. 2002, Bioclastos de organismos terrestres e marinhos na praia e plataforma interna do Rio grande do Sul: natureza, distribuição, origem e significado geológico, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de pós-Graduação em Geociências. Tese de doutorado.
- BURNEY, D. A. 1987. Late Quaternary stratigraphic charcoal records from Madagascar. *Quaternary Research*, **28**: 274-280.
- BRITTO F. & KRUSCHE, N., 1996. Frequência e intensidade das frentes frias em Rio Grande. Anais: **IX Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Campos do Jordão, v. 01: 185-188.
- CALLIARI, L. J. 1980. Aspectos sedimentológicos e ambientais na região estuarial da Lagoa dos Patos. Curso de pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de mestrado. 190 p.
- CALLIARI, L. J, KLEIN, A. H. 1995. Variabilidade das praias oceânicas entre Cassino e Chuí, RS. *Publicação Especial do Instituto de Oceanografia*, São Paulo, v.11, p.55-63.
- CALLIARI, L. J.; KLEIN, A. H. 1993. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. *Pesquisas*, v.20, n.1.
- CALLIARI, L. J, FACHIN, S. 1993. Laguna dos Patos: influência nos depósitos lamíticos costeiros. *Pesquisas*, v.20, n.1, p.57-69.

- CALLIARI, L. J.; SPERANSKI, N. & BOUKAREVA, I. 1998. Sable focus of wave rays as a reason of local erosion at the southern Brazilian coast. In: INTERNATIONAL COASTAL SIMPOSIUM'98. *Proceedings...* Fort Lauderdale, p. 19-23.
- CANTER-LUND, H. 1995. *Fresh water Algae. Their microscopic world explored*. England, Biopress. 360 p.
- CARRARO, C.C. et al., 1974. *Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Instituto de Geociências, Porto Alegre: UFRGS.
- CLARC, R. L. 1983. Pollen and charcoal evidence for the effect of Aboriginal burning on the vegetation of Australia. *Archaeology in Oceania.*, **18** : 32-37.
- CLARC, R. L. 1988. Particle motion and the teory of charcoal analysis: sorce area, transport, deposition and sampling. *Quaternary Research*, **30**: 81-91.
- CLIMANÁLISE, Revista Brasileira de Meteorologia - Número Especial. São José dos Campos: INPE, 1986.
- COLI, A.B. 1994. *Análise das alturas de onda ao largo do Rio Grande do Sul (Dados históricos e altimétricos)*. Curso de Graduação em Oceanologia, Fundação Universidade do Rio Grande, Trabalho de Graduação. 67 p.
- COLI, A. B. & MATA, M. M., 1993. Caracterização das Alturas de Onda no Atlântico Sul Ocidental Através da Altimetria TOPEX/POSEIDON. Anais do **VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Salvador, Bahia.
- DELANEY, P. J. V. 1965. Fisiografia e geologia da superfície da planície costeira do Rio Grande do Sul. Publicação Especial da Escola de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, **6**: 1-195.
- DALE, B. 1976. Cyst formation, sedimentation and preservation: factors affecting Dinoflagellate assemblages in recent sediments from Trodheims fiord, Norway. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **22**(1): 39-60.
- DILLENBURG, S.R.; ROY, P.S.; COWELL, P.J. & TOMAZELLI, L.J. 2000. Influence of Atecedent Topography on Coastal Evolution as Tested by the Shoreface Translation-Barrier Model (STM). *Journal of Coastal Research*, **16**: 71-81.
- DILLENBURG, S.R.; TOMAZELLI, L.J. & BARBOZA, E.G. 2004. Barrier evolution and placer formation at Bujuru, southern Brazil. *Marine Geology*. **203**: 43-56.
- DORNELES, L. P. P. 2004. Diferenciação de comunidades arbóreas no Parque Nacional da Lago do Peixe, Rio Grande do Sul. UFRGS, 72p.

- EDWARDS, D. J. & MAGUIRE. 1987. Microscopic charcoal as a fossil indicator of fire. *Quaternary Science Review*, **6** : 3-23.
- FAEGRI, K. & IVERSEN, J. 1975. *Text-book of Pollen Analysis*. Blackwell Scientific Publications, 295 p.
- FONZAR, B. C. 1994. A circulação atmosférica da América do Sul – Os grandes sistemas planetários e os subsistemas regionais que atingem o continente: localização e trajetórias. *Caderno de Geociências*, IBGE, Rio de Janeiro, **11**: 11-33.
- GODOLPHIM, M.F. 1976. Geologia do holoceno costeiro do município de Rio Grande, RS. Curso de Pós-graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. 146p.
- GRIMM, E. C. CONISS. 1987. A torton 77 Program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of the incremental sum of squares. *Pergamon Journal*, **13** : 13-35.
- KNAK, R. B., CAPÍTOLI, S. M. N. 1991. Distribuição de *Ruppia marítima* L. na parte sul da Lagoa do Peixe, RS. In: Semana Nacional de Oceanografia, 4 e 7, Rio de Janeiro. Resumo.
- KNAK, R. B. (Org). 1998. *Relatório Técnico Final. Projeto caracterização ambiental do Parque Nacional da Lagoa do Peixe. Rio Grande*: FURG, Departamento de Oceanografia, Laboratório de Ecologia de Sistemas,. 327p.
- KÖPPEN, H. D. 1948. Climatologia, México, Fundo de Cultura e Economia, 380p.
- LOEBMANN, D. 2004. Caracterização da ictiofauna, crustaceos decapodos e avaliação do rejeito da pesca do camarão rosa (*Farfantepenaeus paulensis*) do Parque Nacional da Lagoa do Peixe, RS, Brasil. FURG. Monografia
- MARTINS, L. R. 1967. Aspectos texturais e deposicionais dos sedimentos praias e eólicas da planície costeira do Rio Grande do Sul. Publicação Especial, Escola de Geologia UFRGS, Porto Alegre, v. 13, p. 1-102.
- MEYER ROSA, Z. 1979. *Diatomáceas marinhas e estuarinas de Tramandaí, Rio Grande do Sul, Brasil*. Porto Alegre. 72 p. (Dissertação de Mestrado em Biociências, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul).
- MOREIRA, V. 1975. Contribuição ao estudo das Bacillariophyceae (Diatomáceas) em Diatomitos Brasileiros. *Acta Biológica*, **4**(3, 4) : 135-198.
- MOREIRA FILHO, H. & TEIXEIRA, C. 1963. Noções gerais sobre as diatomáceas (Chrysophyta-Bacillariophyceae). *Boletim da Universidade do Paraná, Botânica*, **11**: 1-26.

- MOTTA, V. F. 1963. *Relatório-análise e previsão das alturas de ondas em Tramandai*. Porto Alegre, Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS (IPH/UFRGS). 30p. (Inédito).
- MOTTA, V.F. 1967. *Estudo em modelo reduzido para a regularização da embocadura Lagunar de Tramandaí, RS*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (Inédito).
- MOTTA, V.F., 1969. *Relatório diagnóstico sobre a melhoria e o aprofundamento do acesso pela Barra do Rio Grande*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (Inédito).
- MÜLLER, R. R. 1989. *Considerações ecológicas sobre a comunidade bentônica do Parque Nacional da Lagoa do Peixe (Tavares, RS - Brasil)*. Pelotas: Universidade Católica de Pelotas. 39 p. (Monografia).
- MUNARO, P. 1994. *Geologia e mineralogia do depósito de minerais pesados de Bojuru, RS*. Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 96 p.
- NEVES, P. C. P. & LORSCHBITTER, M. L. 1992. Palinologia de Sedimentos de uma Mata Tropical Paludosa em Terra de Areia, Planície Costeira Norte, Rio Grande do Sul, Brasil. Descrições Taxonômicas. Parte I; Fungos, Algas, Briófitas, Pteridófitos, palinomorfos e outros fragmentos de invertebrados. *Acta Geológica Leopoldensia*, XV(36): 83-114.
- NEVES, P. C. P. & LORSCHBITTER, M. L. 1995. Palinologia de Sedimentos de uma Mata Tropical Paludosa (Terra de Areia, Planície Costeira Norte, Rio Grande do Sul, Brasil). Descrições taxonômicas. Parte II: Gimnospermas e Angiospermas. *Acta Geológica Leopoldensia*, XVIII(41) : 45-82.
- NIMER, E. 1977. *Clima In:IBGE. Geografia do Brasil, região Sul*, Rio de Janeiro:SERGRAF-IBGE, p.35-79.
- OLIVEIRA, A. S., 1986. *Interações entre sistemas frontais na América do Sul e Convecção na Amazônia*. São José dos Campos, Instituto de Pesquisas Espaciais. (Tese de Mestrado).
- POLETTE, M., TAGLIANI, P. R. A. 1990. Organização e utilização atual do espaço na porção da restinga da Lagoa dos Patos- RS. In: II Seminário Sobre Ecossistemas da Costa Sul-Sudeste Brasileira, 2, Águas de Lindóia - SP. Anais...
- RESENDE, S. L., LEEWEMBERG, F. 1987. *Ecological studies of Lagoa do Peixe*. TAGLIANI, C.R., 1991. Levantamento da Geologia e Morfodinâmica do Parque Nacional da Lagoa do Peixe,RS. IV Semana Nacional de Oceanografia da UERJ, Rio de Janeiro,RJ. Resumo.

- RIOS, E.C. 1985. *Seas Shells of Brazil.*, Museu Oceanografico, Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande (329pp, 109 lam).
- SHEPARD, F.P. 1954. Nomenclature based on sand-sil-clay rations. *Journal of Sedimentary Petrology*, v.24, n.3,p. 151-158.
- SOURNIA, A. 1986. *Atlas du Phytoplankton Marine. Introduction, Cyanophycees, Dictyochophycees, Dinophycees et Raphidophycees.* Paris. 219 p.
- SWAIN, A. M. 1973. A history of fire and vegetation in northeastern Minnesota as recorded in lake sediments. *Quaternary research*, **3**: 383-396.
- TAGLIANI, C.R., 1991. Levantamento da Geologia e Morfodinâmica do Parque Nacional da Lagoa do Peixe,RS. IV Semana Nacional de Oceanografia da UERJ, Rio de Janeiro,RJ. Resumo.
- TAGLIANI,C.;HARTMANN,C.;CALLIARI,L.;KLEIN,A.1992. Geomorfologia da Porção Sul do Parque Nacional da Lagoa do Peixe,RS,Brasil. XXXVII Congresso Brasileiro de Geologia, USP, São Paulo,SP. Resumo expandido. v.2, p. 292-294.
- 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*, UFRGS, 20 (1): 27-32.
- TOLDO JR., E. E.; DILLENBURG, S. R.; ALMEIDA, L. E. S. B.; TABAJARA, L. L.; FERREIRA, E. R.; BORGUETTI, C., 1993. Parâmetros Morfodinâmicos e Deriva Litorânea da Praia de Tramandaí, RS. *GEOSUL*, No. 15. P 75 - 88.
- TOMAZELLI, L.J. 1985. Contribuição ao Conhecimento das Fácies de Ambiente Praial a partir de Elementos do Pleistoceno Costeiro do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2, Florianópolis, 1985. SBG. *Anais...*Florianópolis: SBG, p. 325-338.
- TOMAZELLI, L. J. 1990. Contribuição ao estudo dos sistemas desposicionais Holocênicos do nordeste da província costeira do Rio Grande do sul- com ênfase no sistema eólico. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de pós-Graduação em Geociências. Tese de doutorado.
- TOMAZELLI, L. J. 1993. O regime de ventos e a taxa de migração das dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas*, v.20, n.1, p.18-26.
- TOMAZELLI, L. J., VILLWOCK, J. A. 1991. Geologia do Sistema Lagunar Holocênico do Litoral do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas*, v. 18, n 1, o. 113-124.

- TOMAZELLI, L. J., VILLWOCK, J. A. 1992. Considerações sobre o ambiente praias e a deriva litorânea de sedimentos ao longo do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas*, v.19, n.1, p.3-12.
- TOMAZELLI, L. J., VILLWOCK, J. A., DILLENBURG, S.R., BACHI, F. A., DEHNARDT, B. A. 1998. Significance of present-day coastal erosion and marine transgression, Rio Grande do Sul, Southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 70 n. 2, 221-229.
- TOMAZELLI, L.J. & VILLWOCK, J.A. (2000). O Cenozóico do Rio grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. Holz, M & DeRos, L.F. (editores), *Geologia do Rio Grande do Sul*. Edição CIGO/UFRGS. 444 p.
- TOZZI, H.A.M. 1995. Morfodinâmica da praia do Cassino, Rio Grande, RS. Curso de Graduação em Oceanologia, Fundação Universidade do Rio Grande. Trabalho de Graduação. 52p.
- TRUCCOLO, E. C.1993. *Caracterização química da Lagoa do Peixe*. Rio Grande: FURG. 51p. (Monografia).
- THUNELL, R. C. & WILLIAMS, D. F. 1983. Paleotemperature and paleosalinity history of the Eastern Mediterranean during the Late Quaternary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **44**: 23-39.
- VAN GELL, B. & VAN DER HAMMEN, T. 1978. Zygnemataceae in Quaternary, Colombian sediments. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **25**(5): 377-392.
- VILLWOCK, J. A. & MARTINS, L. R. S. 1972. Depósitos lamíticos de pós-praias, Cassino, RS. *Pesquisas*, **9**: 69-85.
- VILLWOCK, J. A. 1984. Geology of the coastal province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A. Synthesis. *Pesquisas*, 16:5-49.
- VILLWOCK, J. A ; DILLENBURG, S. R. ; GONÇALVES, R. A & SOUZA, I. F. B. 1986. Recursos Minerais da Região Costeira e Aspectos Metodológicos da Prospecção. *Acta Geológica Leopoldensia*, **22** (10): 83-110.
- VILLWOCK, J. A & TOMAZELLI, L. J. 1995. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. *Notas Técnicas*, **8**: 1-45.
- VILLWOCK, J.A. & TOMAZELLI, L.J. 1998. Holocene coastal evolution in Rio Grande do Sul, Brazil. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 11: 283-296.
- WAINER, I.J. 1963. *Análise e Previsão das Alturas de Onda em Tramandaí*, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto alegre. (Inédito).

- WALDEMARIN, H. F. 1997. Estudo da ecologia de lontras (*Lontra longicaudis*) no Parque Nacional da Lagoa do Peixe: manejo e conservação. FURG, 54p. Monogra.
- ZELTZER, F. 1976. Geologia e paleogeografia da Restinga da Laguna dos Patos, RS. Curso de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS. Dissertação de Mestrado. 118 p.

## ANEXOS

**Anexo 1** Distribuição de palinomorfos, diatomáceas e partículas de carvões nas amostras de testemunho T-9: + -presença, - ausência

Intervalo de profundidade, cm	Palinomorfos	Diatomáceas	Partículas de carvões	Zonas	Numero de zona
223	+	-		0000000000	XX
249	+	+	■	0000000000	XIX
277-294	-	-			XVIII
314	+	raro	■	0000000000	XVII
318	raro	raro		0000000000	
324	+	+		0000000000	
328-352	+	+	■	0000000000	
378	-	-			XVI
384	raros	-		0000000000	XV
388	+	-		0000000000	XIV
393-397	-	-			
402-408	-	-			
412	raros	raros		0000000000	XIII
417-429	-	raros		0000000000	
434	-	+		0000000000	
440-	-	-			XII
445	raros	+		0000000000	XI
450	-	-			X
454	+	raros	■	0000000000	IX
460	-	-			VIII
466-492	-	+	■	0000000000	VII
498	-	-			VI
506	raros	+	■	0000000000	V
513	-	-			IV
520-528	-	-			
534	+	+	■	0000000000	III
544	-	+		0000000000	
552	-	-	■		II
559	-	+		0000000000	I
578	-	+		0000000000	
586	-	+		0000000000	

**Anexo 2** Composição taxonômica e frequência de palinomorfos nas amostras de testemunho T-9.

Palinomorfos, taxa	223	249	314	324	328	352	384	388	412	445	454	506	534
<b>AP (pólen arbóreo)</b>													
PINOPHYTA													
<i>Pinus</i>	-	-	-	-	1	6	-	-	-	6	-	-	-
<i>Ephedra</i>	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
MAGNOLIOPHYTA													
<i>Alchornea</i>	1	-	6	-	-	1	-	10	-	1	-	-	-
Apocynaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-
Boraginaceae	1	1	1	1	-	-	-	1	-	-	-	-	1
Caprifoliaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
<i>Casearia</i>	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Euphorbiaceae	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Melastomaceae	-	2	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-
Mimosaceae	6	7	-	6	-	-	-	-	-	-	3	-	-
Moraceae-Urticaceae	-	4	1	-	-	-	-	1	1	-	1	2	-
Myrtaceae	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Palmae	-	2	6	-	-	-	-	2	-	-	1	1	-
<i>Rapanea</i>	1	1	1	2	-	-	-	1	1	-	-	1	-
<i>Rhus</i>	-	3	1	-	-	-	-	2	-	-	-	3	8
<b>NAP (Pólen herbáceo)</b>													
<i>Alternanthera</i>	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
Apiaceae	-	-	-	-	-	6	-	5	-	-	1	-	-
<i>Artemisia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Asteraceae		20	51	46	4	24	-	21	12	2	2	-	40
Brassicaceae	-	-	-	5	-	-	-	2	-	-	-	-	-
Caryophyllaceae	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chenopodiaceae	-	30	60	80	-	14	-	60	40	-	30	10	40
Convolvulaceae	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cyperaceae	15	30	60	20	32	6	-	35	35	1	3	3	32
Juncaginaceae	10	-	9	3	-	-	-	5	-	-	5	-	-
Fabaceae	-	-	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lamiaceae	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Myriophyllum</i>	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	3
Onagraceae ( <i>Ludwigia</i> )	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
Poaceae	10	70	110	50	35	26	-	70	10	10	42	10	60
Primulaceae	-	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1
Polygonaceae	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ponteridaceae	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Scrophulariaceae	-	-	-	2	-	-	-	2	-	-	1	-	-
Solanaceae	-	-	-	4	-	1	-	2	-	-	-	-	-
Typhaceae	-	-	6	10	-	-	-	3	-	-	6	-	-
Verbenaceae	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BRYOPHYTA													
<i>Anthoceros</i>	1	-	4	-	-	-	-	-	1	-	3	1	-

<i>Phaeoceros</i>	2	-	4	20	-	2	1	28	2	-	1	2	6
Palinomorfos, taxa	223	249	314	324	328	352	384	388	412	445	454	506	534
PTERIDOPHYTA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Adiantum</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Alsophylla</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
<i>Anemia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-
<i>Anogramma</i>	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-
<i>Azolla filiculoides</i>	-	-	-	4	-	-	1	-	-	-	-	-	1
<i>Blechnum</i>	-	-	1	-	-	3	-	-	-	-	2	-	1
<i>Botrychium</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
<i>Dicksonia</i>	1	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	2	-
<i>Dicranoglossum</i>	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dicranopteris</i>	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dryopteris</i>	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	4
<i>Equisetum</i>	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-
Lycopodiaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lycopodiella</i>	-	10	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Microgramma</i>	2	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Ophioglossum</i>	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Osmunda</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
Polypodiaceae	2	-	1	-	-	4	-	-	-	1	1	4	-
Pteridae	2	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-
CHLOROPHYTA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Botryococcus</i>	8	2	18	2	1	16	10	4	-	60	18	25	-
<i>Closterium?</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<i>Debarya</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
<i>Pediastrum</i>	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Spirogyra</i>	-	-	5	-	-	3	-	2	-	-	-	-	-
ACRITARCHA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cymatiosphaera</i>	5	4	20	10	-	5	-	6	-	-	-	-	18
<i>Micrhystridium</i>	26	2	50	60	2	36	-	20	-	2	6	4	20
DINOFLAGELLATE	1	-	-	-	1	6	4	-	-	2	-	4	-
Microforaminifera	-	-	-	-	-	2	-	6	-	-	-	-	10
Quantidade total de grãos	95	193	429	340	78	226	17	293	103	86	136	89	251

**Anexo 3** Distribuição de diatomáceas nas amostras de testemunho T-9

<b>Intervalo de profundidade, cm</b>	<i>Paralia sulcata</i>	<i>Triceratium</i>	<i>Coscinodiscus</i>	<i>Actinoptychus</i>	<i>Auliscus</i>	<i>Terpsinoë</i>
223	-	-	-	-	-	-
249	+	+	+	-	-	-
277-294	-	-	-	-	-	-
314	+	-	-	-	-	-
318	-	-	-	-	-	-
324	+	+	+	+	-	-
328	+	-	+	-	-	-
352	+	+	+	-	-	-
378	-	-	-	-	-	-
384	+	-	-	-	-	-
388	-	-	-	-	-	-
393-408	-	-	-	-	-	-
412	+	-	-	-	-	-
417-429	+	-	-	-	-	-
434	+	-	-	-	-	-
440	-	-	-	-	-	-
445	+	-	-	-	-	-
450	-	-	-	-	-	-
454	+	-	-	-	-	-
460	+	+	+	-	-	-
466	+	+	+	+	+	+
473	+	-	-	-	-	-
478	+	+	+	+	-	-
492	+	-	-	-	-	-
498	-	-	-	-	-	-
506	+	+	-	-	-	-
513	-	-	-	-	-	-
520	-	-	-	-	-	-
528	-	-	-	-	-	-
534	+	+	+	+	+	-
544	+	+	+	-	+	-
552	-	-	-	-	-	-
559	+	+	+	+	+	-
578	+	+	+	+	+	-
586	+	+	+	+	+	-

#### **Anexo 4**

##### PERFIL 01

LACALIZAÇÃO: BARRA DA LAGOA DO PEIXE.  
RUMO V: N 55 W

PERFIL TOTAL 4598,3

INICIO (NR) NÍVEL MAIS BAIXO DA MARÉ (máximo backwash) passando pelo estirâncio, berma e pós-praia.

Inicia a zona de ocorrência de dunas embrionárias com cerca de 0,5 m de altura, parcialmente fixadas pela vegetação rasteira, típica de ambiente de salinidade alta (espartina saltiflora, blutaparom portilacoides).

Observa-se em seguida dunas frontais, essa com ausência de vegetação em consequência do aumento do transporte eólico.

É comum a ocorrência de sllacks que se constituem em áreas rebaixadas, úmidas, planas, nas quais o nível do freático esta mais próximo a superfície o que impede a remobilização de areia pelo vento.

Um campo de dunas principal se estende logo a seguir com um conjunto de dunas pequenas do tipo barcanoides, sem vegetação associada que antecede o próximo sub-ambiente tipificado por um manto de aspersão eólica desenvolvido a partir do campo de dunas principal. Observa-se que neste campo de aspersão a morfologia é de uma área suavemente ondulada, o sentido de migração desse manto é de NE/SW concordando com a direção predominante do vento.

o próximo ambiente é caracterizado por uma área plana, com uma vegetação densa e variada onde predomina a espartina sp e topograficamente mais baixa em relação ao anterior.

Aparentemente representa um declive do terraço lagunar ( I ) ou seja uma área onde eventualmente pode chegar água da Lagoa em épocas de pluviosidade elevada.

Nesta localidade foi possível identificar o nível do Freático 65 cm. Nesta seqüência ocorre uma mudança na vegetação, rala com predomínio de raízes avermelhadas e folhas estreitas, presença de conchas de gastrópodes de água doce. Essa área esta localizada entre dunas de pequeno porte isoladas e fixadas pela vegetação.

A presença de um degrau marca o segundo terraço lagunar ( II ) plano, vegetação de campo ( gramíneas). Na direção do perfil o único local com água se restringe a um pequeno canal de 2 m de largura por 2 m de profundidade e com uma lamina de água de 0,50 cm, existe uma grande quantidade de lama tanto no canal quanto nas margens internas, observa-se que este canal nesta época do ano (verão, seco) é a única ligação entre corpos lagunares de maior escala Norte/Sul.

Deste ponto do perfil até a base da barreira os terraços não estão bem caracterizados morfológicamente, havendo uma elevação mais ou menos contínua até a escarpa, isto ocorre devido ao perfil ser pontual.

Na base da escarpa da Barreira III ocorre um leque aluvial de forma lobada, formado como consequência de uma drenagem mais forte que desce da barreira em direção a lagoa. Observa-se uma área de vegetação muito densa, de médio a grande porte extremamente fechada úmida, onde se destaca uma grande quantidade de coqueiros e figueiras.

A barreira III, pleistocênica é caracterizada por uma escarpa de (+-) 6 m de altura com vegetação nativa da Mata Atlântica. Os sedimentos são nitidamente diferentes daqueles correspondentes a Barreira IV holocênica que é composta pelos terraços lagunar I e II. Foi possível identificar um nível superior de cor acinzentada (+ \_ 1m)

Correspondente a um solo arenoso com matéria orgânica, um nível intermediário bastante compactado e endurecido de cor amarelo-ocre devido a oxidação dos minerais ferro-magnesianos originais, material este provavelmente responsável pelo endurecimento e cimentação do pacote ( + - 1,5 m). a baixo desse nível as cores passam a violeta/cinza/esbranquiçado, mais úmidos devido a influência da proximidade com o lençol freático, aqui o grau de cimentação e endurecimento é bem menor. A base da Barreira III, em todos os pontos observados é caracterizada pelo afloramento do NF, com a formação de charcos, pois a água que infiltra nas áreas superiores da barreira se desloca por gravidade em direção as áreas mais baixas.

## Anexo 5

### PERFIL 02

LACALIZAÇÃO: 12,1 KM AO NORTE DA BARRA DA LAGOA DO PEIXE.  
RUMO V: N 44 W.

PERFIL TOTAL 3414,8

INICIO (NR) NÍVEL MAIS BAIXO DA MARÉ (máximo backwash) passando pelo estirâncio, berma e pós-praia.

Inicia a zona de ocorrência de dunas embrionárias com cerca de 0,5 m de altura, parcialmente fixadas pela vegetação rasteira, típica de ambiente de salinidade alta (espartina saltiflora, blutaprom portilacoides).

Observa-se em seguida dunas frontais, essa com ausência de vegetação em consequência do aumento do transporte eólico.

É comum a ocorrência de slacks que se constituem em áreas rebaixadas, úmidas, planas, nas quais o nível do freático está mais próximo à superfície o que impede a remobilização de areia pelo vento.

Um campo de dunas principal se estende logo a seguir com um conjunto de dunas pequenas do tipo barcanoides, sem vegetação associada que antecede o próximo sub-ambiente tipificado por um manto de aspersão eólica desenvolvido a partir do campo de dunas principal. Observa-se que neste campo de aspersão a morfologia é de uma área suavemente ondulada, o sentido de migração desse manto é de NE/SW concordando com a direção predominante do vento.

o próximo ambiente é caracterizado por uma área plana, com uma vegetação densa e variada onde predomina a espartina sp e topograficamente mais baixa em relação ao anterior.

Aparentemente representa um declive do terraço lagunar ( I ) ou seja uma área onde eventualmente pode chegar água da Lagoa em épocas de pluviosidade elevada.

Nesta localidade foi possível identificar o nível do Freático 65 cm. Nesta seqüência ocorre uma mudança na vegetação, rala com predomínio de raízes avermelhadas e folhas estreitas, presença de conchas de gastrópodes de água doce. Essa área está localizada entre dunas de pequeno porte isoladas e fixadas pela vegetação.

A presença de um degrau marca o segundo terraço lagunar ( II ) plano, vegetação de campo ( gramíneas). Na direção do perfil o único local com água se

restringe a um pequeno canal de 2 m de largura por 2 m de profundidade e com uma lamina de água de 0,50 cm, existe uma grande quantidade de lama tanto no canal quanto nas margens internas, observa-se que este canal nesta época do ano (verão, seco) é a única ligação entre corpos lagunares de maior escala Norte/Sul.

Deste ponte do perfil até a base da barreira os terraços não estão bem caracterizados morfologicamente, havendo uma elevação mais ou menos continua até a escarpa, isto ocorre devido ao perfil ser pontual.

Na base da escarpa da Barreira III ocorre um leque aluvial de forma lobada, formado como consequência de uma drenagem mais forte que desce da barreira em direção a lagoa. Observa-se uma are de vegetação muito densa, de médio a grande porte extremamente fechada úmida, onde se destaca uma grande quantidade de coqueiros e figueiras.

A barreira III, pleistocênica é caracterizada por uma escarpa de (+-) 6 m de altura com vegetação nativa da Mata Atlântica. Os sedimentos são nitidamente diferentes daqueles correspondentes a Barreira IV holocênica que é composta pelos terraços lagunar I e II. Foi possível identificar um nível superior de cor acinzentada (+ \_ 1m)

Correspondente a um solo arenoso com matéria orgânica, um nível intermediário bastante compactado e endurecido de cor amarelo-ocre devido a oxidação dos minerais ferro-magnesianos originais, material este provavelmente responsável pelo endurecimento e cimentação do pacote ( + - 1,5 m). a baixo desse nível as cores passam a violeta/cinza/esbranquiçado, mais úmidos devido a influência da proximidade com o lençol freático, aqui o grau de cimentação e endurecimento é bem menor. A base da Barreira III, em todos os pontos observados é caracterizada pelo afloramento do NF, com a formação de charcos, pois a água que infiltra nas áreas superiores da barreira se desloca por gravidade em direção às áreas mais baixas.