



**ESTUDO DOS MINERAIS PESADOS DAS AREIAS
HOLOCÊNICAS DO PARQUE NACIONAL DA LAGOA DO
PEIXE, RS**

Porto Alegre, 2015

FRANCISCO LOHMANN

**ESTUDO DOS MINERAIS PESADOS DAS AREIAS
HOLOCÊNICAS DO PARQUE NACIONAL DA LAGOA DO
PEIXE, RS**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto a disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr.Iran Carlos Stalliviere Corrêa

Supervisora: Dra. Luana Carla Portz

Porto Alegre, 2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Rui Vicente Oppermann

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Lohmann, Francisco

Estudo dos minerais pesados das areias holocênicas do Parque Nacional da Lagoa do Peixe, RS . / Francisco Lohmann. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2015.
[51 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geografia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2015.

Orientador(es):Iran Carlos Stalliviere Corrêa
Coorientador(es):Luana Carla Portz

1. Minerais pesados 2. Sedimentologia 3. Mineralogia 4. Parque Nacional da Lagoa do Peixe I. Título.

CDU 911

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Veleida Ana Blank

CRB 10/571

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso “**ESTUDO DOS MINERAIS PESADOS DAS AREIAS HOLOCÊNICAS DO PARQUE NACIONAL DA LAGOA DO PEIXE, RS**”, elaborado por “FRANCISCO LOHMANN”, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Dra. Carla Ennes de Barros

Prof. Dr. Jair Weschenfelder

Prof. Dr. Ricardo Baitelli

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao meu orientador, Iran Carlos Stalliviere Corrêa, pela oportunidade de realizar este trabalho e por todo o auxílio prestado durante as etapas deste estudo.

Igualmente agradeço a Luana Portz por toda a gentileza e ajuda.

Também agradeço ao Rogério Manzolli por toda ajuda na etapa de campo.

Ao professor Gilberto Silveira dos Santos pelo apoio durante as etapas em laboratório e por estar sempre disposto a ajudar.

A todos os professores e professoras, fundamentais neste processo de aprendizado.

Um salve especial aos que tive o prazer de trabalhar e aprender como bolsista. Professor Heinrich Frank, Professora Marina Bento Soares, Professor Jair Weschenfelder, Professor Iran Corrêa, muito obrigado.

Às amigas que aconteceram dentro da Universidade, viva.

Agradeço a todo o pessoal do CEAG, pela re (existência), pela experiência vivida e pela evolução musical.

Aos amigos e amigas da CEU, sem palavras.

Aos meus pais, Maria Ivone e Walmor Alberto que também são grandes amigos meus. Ao meu irmão Felipe, grande guerreiro e também grande amigo.

RESUMO

O presente trabalho objetiva investigar a concentração de minerais pesados no Parque Nacional da Lagoa do Peixe, localizado no litoral médio do Rio Grande do Sul, abrangendo os municípios de Tavares, Mostardas e São José do Norte. Para o estudo foram coletadas 33 amostras de sedimentos superficiais realizadas em perfis ortogonais a cinco dunas barcanóides pertencentes à barreira IV, no interduna, na base a barlavento, no topo e na base a sotavento de cada duna, sempre onde havia manchas escuras, evidenciando uma maior concentração de minerais pesados. Paralelamente a coleta das amostras foi realizado levantamentos topográficos, utilizando equipamentos de GPS de precisão em modo cinemático e correção em tempo real (RTK – *Real Time Kinematic*) e utilizando-se o software *Arc Gis*[®] 10.1 foi possível estimar o volume de sedimento, bem como as percentagens de minerais pesados. Para observar se as concentrações de minerais pesados apresentam, em subsuperfície, continuidade vertical, foram coletados quatro testemunhos utilizando-se o método de percussão, com tubos de PVC de 7,5 cm de diâmetro. Os testemunhos atingiram profundidades entre 0,8 m e 1,0 m e mostram lâminas milimétricas e centimétricas de concentrados de minerais pesados, mas não mostram continuidade vertical. A análise minuciosa dos sedimentos superficiais permitiu separar e quantificar as frações de minerais pesados. Foram identificadas 15 espécies de minerais pesados, dentre as quais predominam a magnetita, Ilmenita, turmalina, zircão e epidoto. Os resultados também apontaram que as concentrações de minerais pesados não são significativamente diferentes ao longo do perfil da duna. Estes dados trazem novos elementos para o estudo da distribuição dos minerais pesados na Planície Costeira do Rio Grande do Sul.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa geológico da planície costeira do Rio Grande do Sul (Tomazelli et. al., 2006).	5
Figura 2: Perfil esquemático transversal aos sistemas deposicionais laguna-barreira da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Os Sistemas correlacionam-se, tentativamente, com os últimos principais picos da curva isotópica do oxigênio de Imbrie <i>et. al.</i> , (1984) (Tomazelli <i>et. al.</i> , 2006).	6
Figura 3: Ciclos orbitais ou de Milankovitch: a) excentricidade da terra em relação ao sol b) obliquidade c) precessão. Modificado de (Ribeiro, 2001).	9
Figura 4: Mapa geológico e geomorfológico do sistema lagunar Lagoa do Peixe. Fonte: Modificado de Arejano (2006).	10
Figura 5: Mostra o papel central da mineralogia nas ciências da Terra. As linhas com setas nos dois sentidos indicam relações entre subdisciplinas e dessas com as ciências dos minerais; indicam, também, a existência estreita entre as subdisciplinas. Modificado de (Klein & Dutrow, 2012).	11
Figura 6: Fluxograma.....	17
Figura 7: Pontos de coleta. (Imagem Google 2010)	19
Figura 8: Ensaio de separação em meio denso. (A) Funil de separação (B) Descarga do material.	20
Figura 9: Separador magnético Frantz. (A) Separação magnética (B) Descarga dos materiais magnéticos e não magnéticos.....	24
Figura 10: Imagem 3D e topografia da duna 1 com as respectivas cotas	33
Figura 11: Imagem 3D e topografia da duna2 com suas respectivas cotas	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Ordem de estabilidade dos minerais pesados (modificado de Pettijohn <i>et. al.</i> , 1973).	16
Tabela 2: Percentagens de minerais pesados, na fração areia muito fina, em cada uma das 33 amostras.....	26
Tabela 3: Apresenta a assembleia de minerais e suas percentagens relativas nas quatro amostras que passaram pelo separador e foram analisadas em lupa binocular.....	28
Tabela 4: Estimativa de volume sedimentos para a duna1	33
Tabela 5: Estimativa de volume de sedimentos para a duna 2	34
Tabela 6: Estimativa de volume de minerais pesados (MP) para as dunas.....	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	ESTADO DA ARTE.....	2
2.1	Área de estudo – gênese e processos modeladores	2
2.1.1	<i>Sistema Laguna-Barreira III</i>	6
2.1.2	<i>Sistema Laguna-Barreira IV</i>	7
2.2	Variações do nível do mar	8
2.3	Parque Nacional da Lagoa do Peixe	9
2.4	Minerais como parte integrante das Ciências da Terra	10
2.5	Minerais Pesados	12
2.6	Fatores que influenciam as assembleias de minerais pesados	15
2.7	Estabilidade dos Minerais	16
3	MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1	Amostragem	18
3.1.1	<i>Superficial</i>	18
3.1.2	<i>Testemunhos</i>	18
3.2	Procedimentos de Laboratório	20
3.2.1	<i>Secagem e armazenamento</i>	20
3.2.2	<i>Separação em meio denso</i>	20
3.2.3	<i>Separação Magnética</i>	21
3.3	Levantamento topográfico	24
3.4	Cálculo de Cubagem	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1	Concentração de minerais pesados	26
4.2	Assembleia de minerais pesados	27
4.3	Distribuição vertical	30
4.4	Cálculos de cubagem	33
5	CONCLUSÕES.....	36
6	REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul está situada na porção leste do estado do Rio Grande do Sul e compreende a porção mais superficial e proximal do pacote sedimentar da Bacia de Pelotas (Tomazelli & Villwock, 2000).

Os principais depósitos de pláceres situam-se nas praias atuais, ou foram formados em decorrência dos eventos de oscilação do nível do mar que caracterizam o período Quaternário, ora expondo grandes áreas da plataforma continental, ora afogando porções das planícies costeiras.

Em razão destes eventos, os depósitos aluviais e coluviais, que contém importantes concentrações de minerais pesados (MP), foram afogados durante os eventos transgressivos e permaneceram preservados na plataforma continental, onde foram retrabalhados pelas correntes costeiras e ondas, ocasionando a reconcentração dos minerais mais densos que o quartzo. Estudos anteriores, como o de Dillenburg (2004) e Barros *et. al.*, (2005), identificaram concentrações de minerais pesados na planície costeira do Rio Grande do Sul.

O Parque Nacional da Lagoa do Peixe (PNLP), localizado no litoral médio do Rio Grande do Sul, abrangendo os municípios de Tavares, Mostardas e São José do Norte, necessita de estudos que fomentem e legitimem sua existência como tal.

Neste sentido o estudo dos minerais pesados presentes nos sedimentos eólicos do PNLN é de fundamental importância, agregando novos dados científicos que poderá vir a dar suporte para a sua gestão e manejo.

Este trabalho objetiva dar suporte ao gerenciamento e manejo do PNLN, respondendo a seguinte pergunta: Qual a assembleia de minerais pesados existente nas dunas holocênicas do Parque?

2 ESTADO DA ARTE

2.1 Área de estudo – gênese e processos modeladores

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) corresponde à parte proximal, emersa da Bacia de Pelotas, uma bacia marginal aberta originada nos eventos geotectônicos que, a partir do Cretáceo inferior fragmentaram o continente Gondwana e ocasionaram à abertura do oceano Atlântico Sul. (Tomazelli & Villwock, 2000).

Esta planície costeira corresponde à porção superficial da denominada Província Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), termo proposto por Villwock (1972) para se referir a “um grupo de elementos geológicos característico da margem continental brasileira entre os paralelos 28° 40’ e 33° 45’ de latitude sul”.

A PCRS é a mais ampla planície costeira do país, com uma área de 33.000 km², possuindo uma linha de costa de orientação NE-SW que se estende por uma distância de cerca de 620 km, desde Torres até o Chuí. Em alguns setores chega a alcançar 100 km de largura, preservando o registro geológico e geomorfológico do Quaternário. (Tomazelli & Villwock, 2000).

O desenvolvimento de regiões costeiras é condicionado pela dinâmica global e pela dinâmica costeira. A tectônica de placas, o clima e variações do nível do mar são os principais modeladores destas áreas (Villwock & Tomazelli, 2007). Sendo neste contexto geológico que se desenvolveram as bacias marginais Brasileiras, como a de Santos e Pelotas, separadas pelo Alto de Florianópolis.

Nas áreas continentais adjacentes, o tectonismo continuou ativo até o Terciário, por meio de reativações de planos de fraqueza estrutural do embasamento cristalino pré-cambriano, originando basculamentos, flexuras e soerguimentos (Villwock & Tomazelli, 2007).

Enquanto a costa sudeste foi submetida a falhamentos e soerguimento de blocos que acabaram por construir a Serra do Mar, a costa sul foi palco de maior calma tectônica, o que possibilitou o aplainamento do embasamento, o afeiçoamento da depressão periférica e o desenvolvimento de uma ampla planície costeira. (Villwock & Tomazelli, 2007, p.21).

Com relação aos agentes erosivos, estes autores afirmam que o clima controla as taxas de intemperismo e de erosão sobre os continentes. As chuvas condicionam o escoamento superficial das águas e transportam os seus detritos até as linhas de costa através dos rios.

A região da PCRS apresenta, de acordo com Nimer (1977), “um clima mesotérmico brando, super úmido, sem estação seca”. “A temperatura média anual oscila entre 16 e 20°C. A média do mês mais quente fica entre 22 e 26°C, a do mês mais frio entre 10 e 15°C. A precipitação pluviométrica anual varia entre 1.000 e 1.500 mm”. (Villwock & Tomazelli, 2000).

A dinâmica costeira, por sua vez, é a principal condicionante do desenvolvimento das praias arenosas e pelos processos erosivos e deposicionais que as mantêm em constante transformação. Na costa Gaúcha, os ventos que sopram predominantemente de NE, as ondas por eles geradas e as correntes litorâneas que se desenvolvem quando as ondas chegam à linha de costa, atuam ininterruptamente sobre os materiais que aí se encontram, erodindo, transportando e depositando sedimentos. A estes processos somam-se as marés e as ressacas produzidas por eventos de tempestade. (Villwock & Tomazelli, 2007).

Os sedimentos que preenchem a bacia de Pelotas são de natureza essencialmente clástica terrígena, provenientes da denudação de duas áreas fonte principais: na porção central e sul, as rochas ígneas-metamórficas do Escudo Uruguaio-Sul-Rio-Grandense e ao norte, as rochas vulcano-sedimentares da Bacia do Paraná, situados a oeste da bacia (Fontana, 1987 ; 1990).

As mudanças mais importantes ocorridas na PCRS foram causadas por oscilações glacio-eustáticas. Segundo Corrêa (1986) o último evento transgressivo teve início há aproximadamente 17.500 anos, quando o nível do mar estava cerca de 125 metros abaixo do atual.

Utilizando dados batimétricos, Corrêa (1986) identificou cinco terraços marinhos distintos na plataforma continental do Rio Grande do Sul, que teriam sido formados durante a última transgressão. A presença destas feições geomorfológicas está vinculada, possivelmente, às antigas linhas de costa formadas quando o nível do

mar estabilizou-se temporariamente sobre estas superfícies, durante a grande transgressão holocênica.

Com relação ao transporte e descarga de sedimentos para o Oceano Atlântico Tomazelli & Villwock (2000) afirmam que "... desde Torres ao Chuí, a costa arenosa baixa, somente é interrompida de forma temporária, em dois locais mais importantes, correspondentes às desembocaduras da Laguna de Tramandaí e da Lagoa dos Patos".

Segundo Tomazelli & Villwock (2000), durante o Quaternário, a PCRS se desenvolveu através da formação de um sistema de leques aluviais nas áreas próximas as áreas fonte, seguidos pela construção de quatro sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira, denominados, do mais antigo para o mais recente de sistemas I, II, III e IV (Figura 1).

Estes sistemas cuja gênese é intimamente relacionada às variações do nível do mar, correlacionáveis aos últimos picos da curva isotópica do oxigênio (Figura 2) foram responsáveis pela formação dos corpos lagunares na PCRS.

Dentre estes sistemas deposicionais, os dois mais recentes merecem destaque neste trabalho, por se encontrarem inseridos na área de estudo, o Parque Nacional da Lagoa do Peixe.

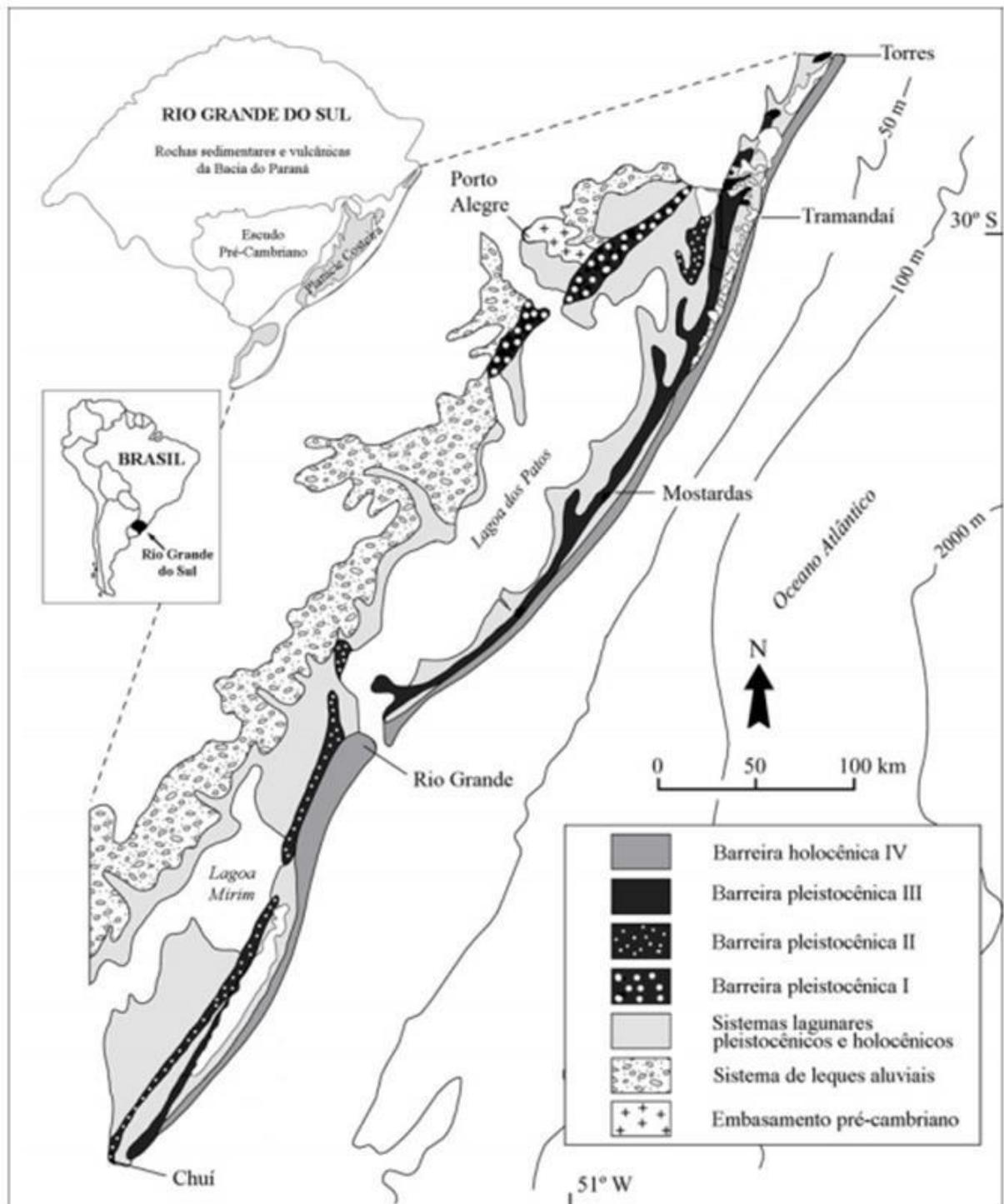


Figura 1: Mapa geológico da planície costeira do Rio Grande do Sul (Tomazelli *et. al.*, 2006).

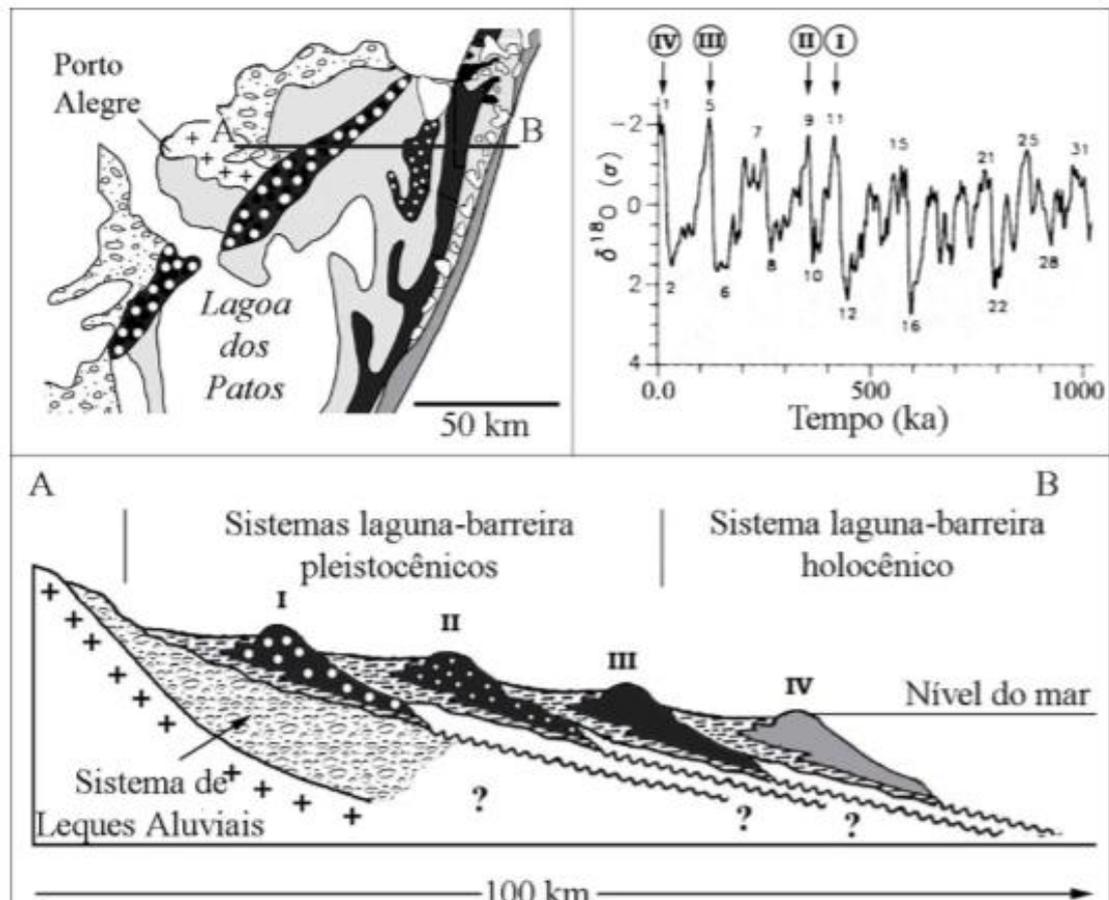


Figura 2: Perfil esquemático transversal aos sistemas deposicionais laguna-barreira da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Os Sistemas correlacionam-se, tentativamente, com os últimos principais picos da curva isotópica do oxigênio de Imbrie *et. al.*, (1984) (Tomazelli *et. al.*, 2006).

2.1.1 Sistema Laguna-Barreira III

A Barreira III, associada a um terceiro evento transgressivo-regressivo pleistocênico, encontra-se bem preservada e os depósitos correlacionáveis a ela se estendem quase que continuamente ao longo de toda a planície costeira, desde Torres até o Chuí (Tomazelli & Villwock, 2000).

Ela é constituída por uma sucessão vertical de fácies arenosas praias, e marinho raso recobertas por depósitos eólicos, evidenciando sua natureza regressiva. Os sedimentos praias são compostos por areias quartzosas, finas, de cor clara, bem selecionados e com estratificações bem desenvolvidas como laminação plano-paralela com truncamentos de baixo ângulo e cruzada planar. As areias eólicas da cobertura apresentam aspecto maciço e coloração avermelhada devido ao processos diagenéticos. (Tomazelli & Villwock, 2000).

O Sistema Lagunar III envolveu um complexo de ambientes deposicionais instalados na região de retrobarreira. Esse ambiente é composto por areias finas, síltico-argilosas, pobremente selecionadas, de coloração creme, laminação plano-paralela e frequentes ocorrências de concreções ferruginosas e carbonáticas. (Tomazelli & Villwock, 2000).

2.1.2 Sistema Laguna-Barreira IV

Desenvolveu-se durante o Holoceno, como consequência da última grande transgressão pós-glacial (estágio isotópico do oxigênio 1). Quando o nível do mar atingiu seu máximo, a 5ka, estando 3 a 4 m acima do nível atual, formando um cordão litorâneo que progradou sob condições de regressão forçada, durante a fase regressiva que se seguiu (Tomazelli & Villwock, 2000).

As areias praias da Barreira IV são quartzosas, de granulação fina a muito fina (Martins, 1967; Villwock, 1972) e, em certos locais, apresentam elevadas concentrações de minerais pesados (Villwock *et. al.*, 1979; Munaro, 1994). Em sua pesquisa na região de Bojurú, Munaro encontrou lâminas de sedimentos ricos em ilmenita.

Areias e cascalhos bioclásticos são importantes constituintes dos sedimentos da praia atual no trecho situado entre Rio Grande e Chuí (Calliari & Klein, 1993).

O campo de dunas eólicas da Barreira IV é bem desenvolvido, com largura variável entre 2 e 8 km estendendo-se praticamente ao longo de toda a linha de costa. (Tomazelli & Villwock, 2000).

As dunas livres são predominantemente barcanóides, migram para SW em função de um regime de vento de alta energia vindo de NE, avançando para dentro dos corpos lagunares adjacentes. (Tomazelli, 1990, 1993).

Dillenburg, Tomazelli & Lummertz (1998) reconhecem 4 tipos de comportamento de barreiras holocênicas ao longo da costa do Rio Grande do Sul: progradantes, transgressivas, acopladas e retrogradantes.

A ocorrência de minerais pesados nas praias do litoral Norte e Médio da costa gaúcha está intimamente ligada a padrões transgressivos da barreira IV. Existe

relação entre deriva litorânea e processos erosivos, em locais em que se observa este padrão, a concentração de $\delta^{13}C$ é maior. (Barros *et. al.*, 2005).

O espaço de retrobarreira, situado entre a Barreira IV e os sedimentos pleistocênicos da Barreira III, foi ocupado, no pico transgressivo holocênico, por grandes corpos lagunares como a lagoa da Mangueira, na região sul da Planície Costeira e a lagoa do Peixe, na porção média. (Tomazelli & Villwock, 2000).

2.2 Variações do nível do mar

As variações paleoclimáticas e as mudanças do nível do mar delas decorrentes também desempenham um papel muito importante na evolução das planícies costeiras quaternárias (Villwock & Tomazelli, 2007).

Estas variações fazem parte de processos cíclicos astronômicos regulares de mais ou menos 100.000 anos decorrentes de mudanças na taxa de insolação no hemisfério norte. Isto faz com que a oscilação das temperaturas na superfície terrestre esteja ligada ao aumento e diminuição das calotas polares e conseqüentemente às variações do nível dos mares (Villwock & Tomazelli, 2007).

Segundo estes mesmos autores, estes ciclos também são conhecidos como ciclos de Millankovich (Figura 3) e estão relacionados às mudanças orbitais e axiais do planeta, ou seja, a excentricidade (periodicidade de 96.000 anos), inclinação axial (periodicidade de 42.000 anos) e precessão dos equinócios (periodicidade de 21.000 anos).

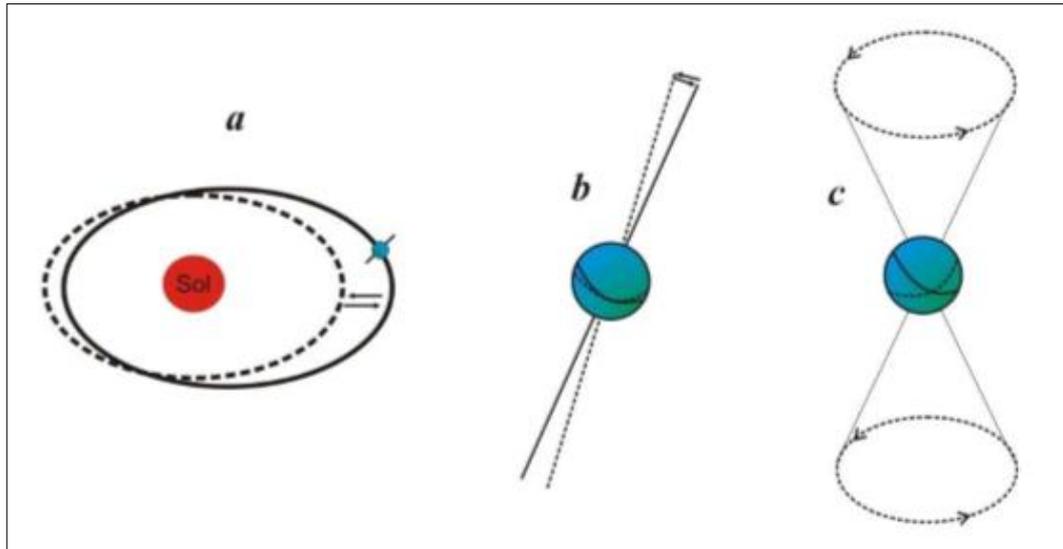


Figura 3: Ciclos orbitais ou de Milankovitch: a) excentricidade da terra em relação ao sol b) obliquidade c) precessão. Modificado de (Ribeiro, 2001).

2.3 Parque Nacional da Lagoa do Peixe

O Parque Nacional da Lagoa do Peixe (PNLP) foi criado através do Decreto No 93.546/86, tendo como objetivo proteger os ecossistemas litorâneos da região da lagoa do Peixe. Esta região apresenta uma grande variedade de ecossistemas frágeis, inseridos na PCRS, como: banhados, campos de dunas, matas de restinga e lagoas de água doce e salobra.

As diversas lagunas costeiras que caracterizam a PCRS, dentre as quais está à lagoa do Peixe, estão geneticamente relacionadas com a formação dos Sistemas Laguna-Barreira formados durante os máximos transgressivos nos maiores ciclos glacio-eustáticos do Quaternário (Tomazelli & Villwock, 2000).

Schossler (2011) estudou a morfodinâmica da desembocadura da Lagoa e da linha de praia adjacente, com base na análise espaço-temporal em imagens de satélite. Constatou que a desembocadura da lagoa é sempre desobstruída, seja naturalmente ou artificialmente, nos meses de inverno, onde a precipitação pluviométrica é maior.

Arejano (2006) construiu um mapa representativo das fácies texturais dos sedimentos superficiais acumulados no sistema deposicional de retrobarreira da

Lagoa do Peixe, juntamente com um mapa geológico-geomorfológico da região (Figura 4) e propôs uma história evolutiva .

“A Lagoa do Peixe é um corpo lagunar raso que mantém uma ligação temporária com o mar através de um único canal de ligação. Atualmente, esta laguna ocupa apenas uma faixa de terras baixas posicionada entre duas barreiras arenosas (Barreira III, Pleistocênica e Barreira IV, Holocênica). Esta faixa de terras baixas corresponde a uma região de retrobarreira (Arejano, 2006, RESUMO)”.

Os sedimentos de fundo da Lagoa do Peixe apresentam grande homogeneidade textural, com areias de granulação fina, refletindo a principal fonte de aporte sedimentar eólico que é a Barreira IV. A laguna tem 35 km de comprimento, largura média de 1 km, morfologia cordiforme e baixa profundidade que varia de 0 a 0,65 m. A Lagoa Do Peixe encontra-se fechada em algumas épocas do ano, devido à deposição de areia em sua desembocadura (Arejano, 2006).

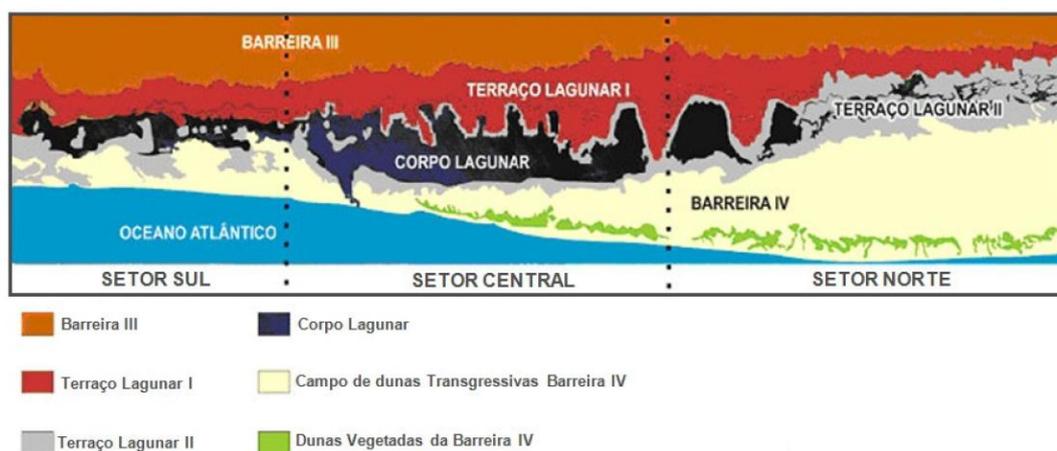


Figura 4: Mapa geológico e geomorfológico do sistema lagunar Lagoa do Peixe. Fonte: Modificado de Arejano (2006).

2.4 Minerais como parte integrante das Ciências da Terra

A mineralogia é o centro de estudo para muitos ramos das ciências da terra. As áreas mostradas na Figura 5 representam muitas subdisciplinas e ilustram esquematicamente que a maior parte das ciências da Terra, de alguma forma, envolve o estudo de minerais. Esse diagrama também indica que essas subdisciplinas e suas aplicações geológicas estão relacionadas entre si (Klein & Dutrow , 2012).



Figura 5: Mostra o papel central da mineralogia nas ciências da Terra. As linhas com setas nos dois sentidos indicam relações entre subdisciplinas e dessas com as ciências dos minerais; indicam, também, a existência estreita entre as subdisciplinas. Modificado de (Klein & Dutrow, 2012).

De acordo com estes autores, inúmeras são as aplicações do estudo dos minerais em nossa sociedade. Desde tempos imemoriáveis, o homem pré-histórico já apreciava artefatos de sílex, como pontas de flechas e facas durante a idade da pedra. Pigmentos naturais, feitos de óxidos de hematita vermelha e manganês preto, foram utilizados em pinturas de cavernas que datam de até 40.000 anos. Catálogos de minerais existiram desde épocas remotas, como em 700 a. C. na China e, mais tarde, na Índia.

O advento da mineralogia como ciência, se deu com a publicação, em 1556, do livro *De Re Metallica*, pelo médico Alemão Georgius Agricola. Trabalho este que traz uma abordagem detalhada das práticas de mineração e de fusão de minérios em voga

naquele tempo, inclusive mostra os primeiros dados descritivos sobre minerais (Klein & Dutrow, 2012).

Abaixo serão descritas algumas áreas da geologia cujo alicerce está embasado no estudo mineralógico, baseadas no estudo de Klein & Dutrow, 2012:

Atualmente, a **mineralogia** e a **geologia ambiental** têm aplicado a pesquisa geológica para entender e resolver problemas do nosso ambiente. A geologia ambiental busca solucionar problemas de contaminação de rios por meio do uso de minerais que podem bloquear os elementos tóxicos, como no caso dos argilominerais que podem ser usados para filtrar derramamentos de petróleo.

Um campo emergente relacionado é o da **mineralogia forense**, onde a análise dos minerais encontrados no local de um crime podem apontar com precisão a proveniência de tais sedimentos.

Na **geologia econômica** os minerais são os materiais fundamentais. Esta área é responsável pela extração de todos os materiais da Terra, tais como minérios, combustíveis fósseis, materiais industriais (sal e gesso), areia e cascalho.

A **geocronologia** estuda o tempo relacionado à história da Terra, cuja evolução pode ser elucidada através do estudo da idade dos minerais, idade esta assinada pelo decaimento radioativo dos elementos neles contidos.

2.5 Minerais Pesados

Designa-se por “minerais pesados”, os grãos mineralógicos, provenientes do intemperismo sofrido pelas rochas ígneas, metamórficas e mesmo sedimentares, onde ocorrem normalmente de forma acessória, cuja densidade está acima de $2,9\text{g/cm}^3$, isto é, superior à do quartzo ($2,65\text{g/cm}^3$) e à dos feldspatos ($2,56$ a $2,76\text{g/cm}^3$).

Estes minerais estão presentes em percentagens bem pequenas nos sedimentos. Para obter uma fração significativa, com vista ao estudo de sua abundância relativa, as técnicas laboratoriais recorrem normalmente à utilização de líquidos densos, para este trabalho utilizou-se o Bromofórmio.

Como os minerais pesados podem ter origem primária numa vasta gama de rochas,

onde ocorrem de forma acessória, o seu estudo torna-se particularmente interessante. A presença de determinadas espécies no sedimento pode ser utilizada como traçador da origem deste sedimento e, conseqüentemente, como indicador da dinâmica sedimentar.

Os primeiros estudos referentes à presença de minerais pesados na Planície Costeira do Rio Grande do Sul foram realizados por Delaney (1965) e Martins (1967, apud Pinto Martins, L. 2011).

“Os minerais pesados são transportados até a região costeira e concentrados, pela ação das ondas e correntes marinhas. As acumulações *offshore* normalmente têm origem relacionada às oscilações do nível do mar, provocando períodos de exposição durante as regressões e afogamento durante as transgressões, de extensas áreas da atual plataforma marinha. (Cavalcante, 2011, p.36)”.

O estudo efetuado por Dillenburg, Tomazelli & Barboza (2004) na barreira holocênica em Bojuru no litoral do RS, mostra que existe uma estreita relação entre a característica transgressiva da barreira e a formação de depósitos de minerais pesados no local.

Nas praias do litoral Norte e Médio do RS, as maiores concentrações de minerais pesados estão intimamente relacionadas com as áreas em processo de erosão praial e com energia de incidência das ondas, com diminuição das concentrações de sul para norte (Barros *et. al.*, 2005).

Segundo (Corrêa *et.al.*, 2008), os minerais pesados da Plataforma Continental Sul Brasileira, Uruguia e do Norte Argentino têm como áreas fontes principais as rochas do Embasamento Cristalino Sul-Rio-Grandense e Uruguia, as rochas sedimentares e vulcânicas da Bacia do Paraná e aos sedimentos Pampiano-Patagônicos.

No Rio Grande do Sul, ao largo das lagoas dos Patos e Mirim, ocorrem três áreas com teores de até 2,4 % de minerais pesados em frente à barra de Rio Grande e, as mais importantes, ao largo do Farol de Albardão, distribuídas por cerca de 1200 km², apresentando teores de minerais pesados, localmente, maiores que 1% e de até 5,4%, em uma das amostras analisadas. (Palma, 1979, Apud, Cavalcanti, 2011).

Villwock *et. al.*, (1979) estudando as areias negras ao longo da costa do RS propuseram que estes sedimentos são derivados de rochas metamórficas e ígneas

do Escudo Sul-Rio-Grandense e de formações sedimentares e cobertura vulcânica de idade Paleozóica-Mesozóica. Posteriormente Loss & Denhardt (1983) confirmaram essa proposição a partir de estudos de areias negras.

A partir de campanhas de prospecção de minerais pesados de pláceres litorâneos no distrito de Bojurú, em São José do Norte, Munaro (1994) estudou o condicionamento geológico e a mineralogia do depósito, com ênfase na ilmenita. O corpo principal de minério situa-se no cordão de dunas eólicas recentes, trata-se de pacotes arenosos com espessuras inferiores a 10 m, distribuídos em faixas estreitas e contínuas ao longo da costa, que recobrem depósitos lagunares holocênicos.

Segundo este mesmo autor, a fonte dos minerais pesados de Bojurú é o leque deltaico associado à paleodrenagem do rio Camaquã, na plataforma interna, nos quais os sedimentos foram retrabalhados pelas variações glacioeustáticas que se seguiram. Estas características conferem alta maturidade textural da suíte de minerais pesados do local.

Munaro (1994) também propõem que os minerais pesados (Ilmenita, leucoxênio, zircão, rutilo e cianita) provêm das rochas do Escudo Sul-Rio-grandense enquanto que os minerais derivados da Formação Serra Geral são magnetita e titanomagnetita.

Martins (2011), em seu estudo de minerais pesados ao longo da costa gaúcha, analisou as concentrações de granadas e de piroxênios. Foi observado que a quantidade de granadas diminui de sul pra norte, enquanto que a de piroxênio aumenta. Este fato, aliado à diminuição da concentração da assembleia total de minerais pesados no mesmo sentido, evidenciando que a deriva litorânea na PCRS é de sul para norte.

Com base em 14 amostras de sedimentos sub-superficiais, coletadas na faixa de praia até uma profundidade de 30 cm, Martins (2011) encontrou nas areias holocênicas do litoral médio da PCRS, concentrações de minerais pesados em torno de 0,5%.

2.6 Fatores que influenciam as assembleias de minerais pesados

Vários processos podem alterar a abundância relativa dos minerais pesados durante os ciclos sedimentares. Esses processos agem durante o transporte, o intemperismo a deposição e a diagênese.

Rochas e sedimentos das áreas-fonte estão sujeitos à intemperismo, o qual pode alterar a composição das assembleias de minerais, antes da incorporação desses no sistema de transporte (Corrêa *et.al.*, 2008). Ainda segundo estes autores, durante o transporte, os minerais estão sujeitos a processos abrasivos, os quais podem afetar a abundância relativa de acordo com diferentes graus de estabilidade de cada mineral.

As condições hidráulicas do meio, durante a deposição, também afetam a abundância relativa dos minerais com diferentes propriedades hidráulicas. Variações no comportamento hidráulico resultam em diferenças na densidade, tamanho e forma dos minerais pesados. Os processos diagenéticos são pós-deposicionais, podendo causar parcial ou total dissolução dos minerais (Corrêa *et. al.*, 2008).

2.7 Estabilidade dos Minerais

Para interpretar de maneira correta os resultados obtidos na identificação dos minerais pesados, é necessário levar em consideração vários fatores, um dos mais importantes é a estabilidade mineralógica de cada espécie (Tabela 1).

Tabela 1: Ordem de estabilidade dos minerais pesados (modificado de Pettijohn *et. al.*, 1973).

Estabilidade	Minerais
Muito instáveis	Olivina
	Hornblenda
	Actinolita
Instáveis	Augita
	Diopsídio
	Hiperstena
	Andalusita
Moderadamente estáveis	Epidoto
	Cianita
	Granada (rica em ferro)
	Silimanita
	Esfeno
	Zoizita
Estáveis	Apatita
	Granada (pobre em ferro)
	Estaurolita
	Monazita
Últra-Estáveis	Rutilo
	Zircão
	Turmalina

3 MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas seguidas neste trabalho estão ordenadas segundo a figura 6.

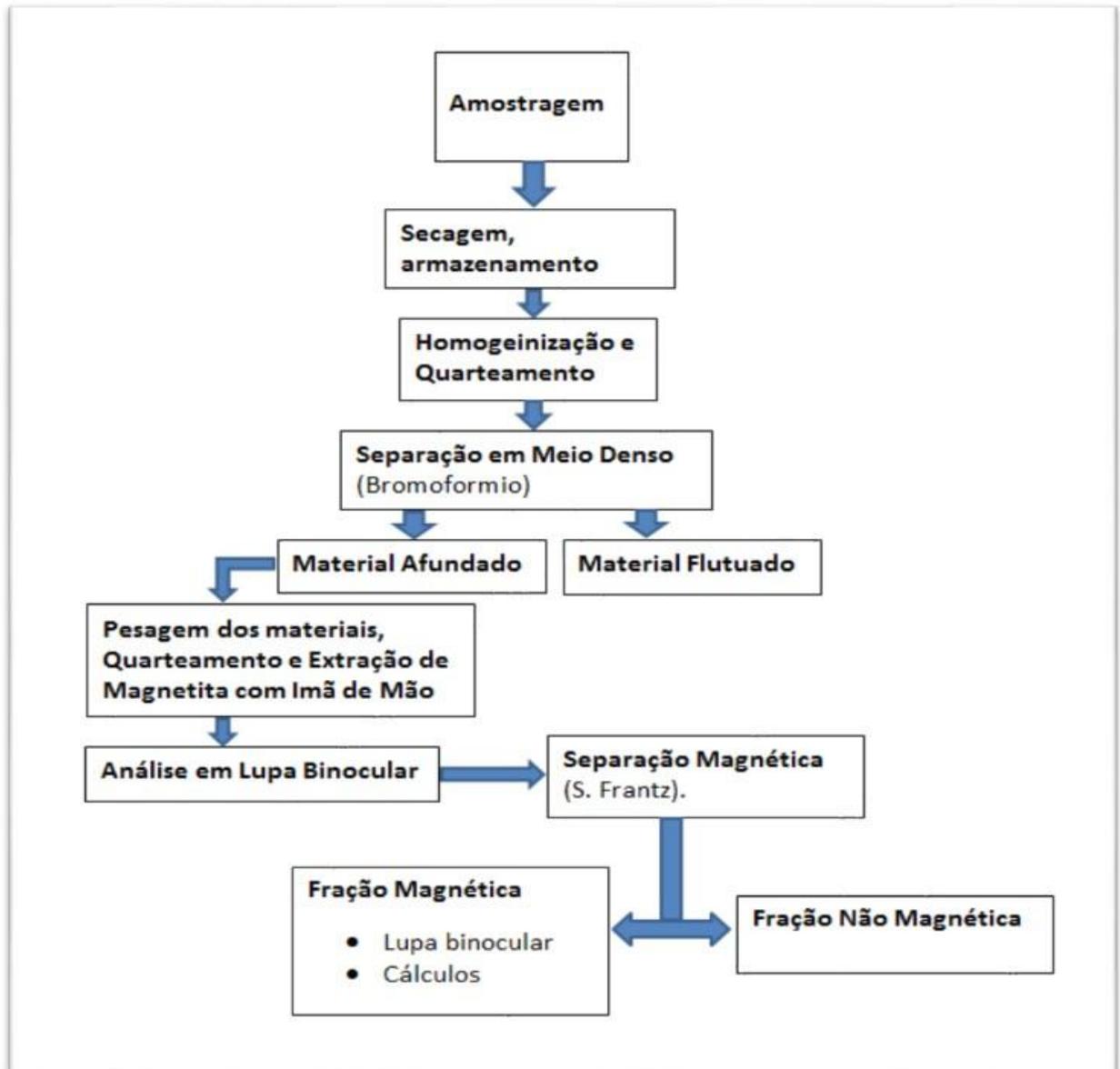


Figura 6: Fluxograma.

3.1 Amostragem

3.1.1 Superficial

O material amostrado está inserido num complexo sistema-múltiplo-fechado (sistema laguna-barreira III e IV), onde atualmente não há chegada e deposição de novos sedimentos devido à ausência de rios que drenam as áreas fontes até o local de estudo.

A amostragem foi realizada em cinco dunas barcanas da Barreira IV (Figura 7) no dia 04 de dezembro de 2014. As coletas foram feitas com o auxílio de uma espátula, em sedimentos superficiais até uma profundidade de aproximadamente três cm e armazenadas em recipientes plásticos. No total foram coletadas 33 amostras de sedimentos superficiais, tendo aproximadamente 200 g cada. Tomou-se o cuidado para coletar amostras a barlavento, no topo, interduna e a sotavento de cada duna, sempre onde havia manchas escuras, evidenciando uma maior concentração de minerais pesados.

3.1.2 Testemunhos

Com o intuito de observar se as concentrações superficiais das manchas de minerais pesados apresentam continuidade vertical foram amostrados quatro testemunhos, pelo método de percussão, com tubos de PVC de 7,5 cm de diâmetro. Os testemunhos foram recuperados no mesmo local em que foram coletadas as amostras 19, 20, 25 e 33. Eles atingiram profundidades entre 0,8 m e 1,0 m.

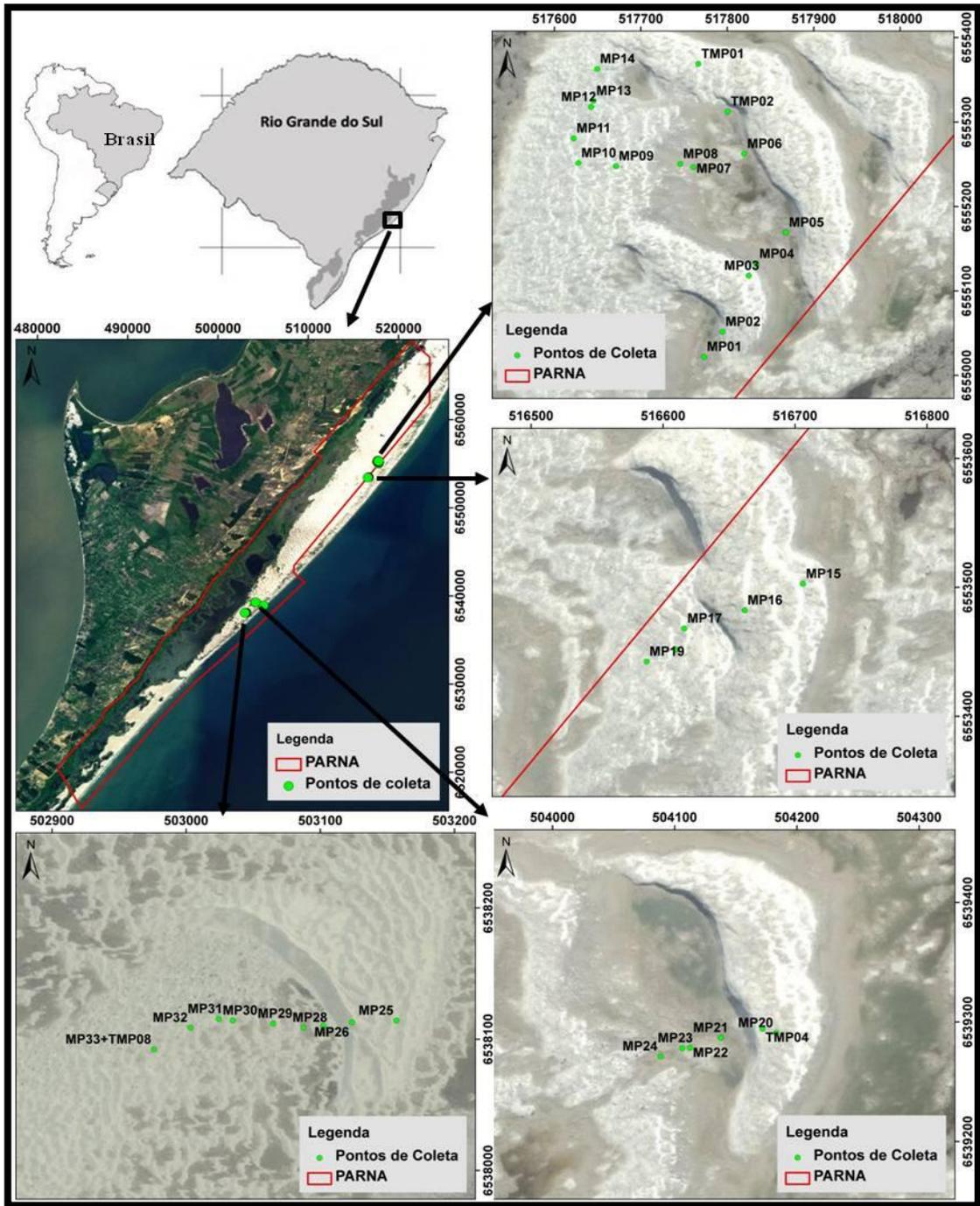


Figura 7: Pontos de coleta. (Imagem Google 2010)

3.2 Procedimentos de Laboratório

O processamento das amostras foi realizado no Laboratório de Sedimentologia do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica.

3.2.1 Secagem e armazenamento

As amostras passaram por processo de quarteamento até a porção teste em torno de 70 g. Foram armazenadas em recipientes de vidro esterilizados e levadas à estufa a uma temperatura de 80°C para secar.

3.2.2 Separação em meio denso

As frações de minerais pesados foram separadas por meio de líquido denso, utilizando-se o bromofórmio, e separação magnética (Figuras 8), a partir da amostra total.

Baseado na literatura (Martins *et. al.*,1972; Villwock, 1972),considera-se que as areias presentes nesta região estão dentro do intervalo granulométrico areia fina e muito fina. Sendo que a maior concentração dos minerais de interesse para este estudo esta alojada na fração areia muito fina (Barros *et. al.*, 2005).

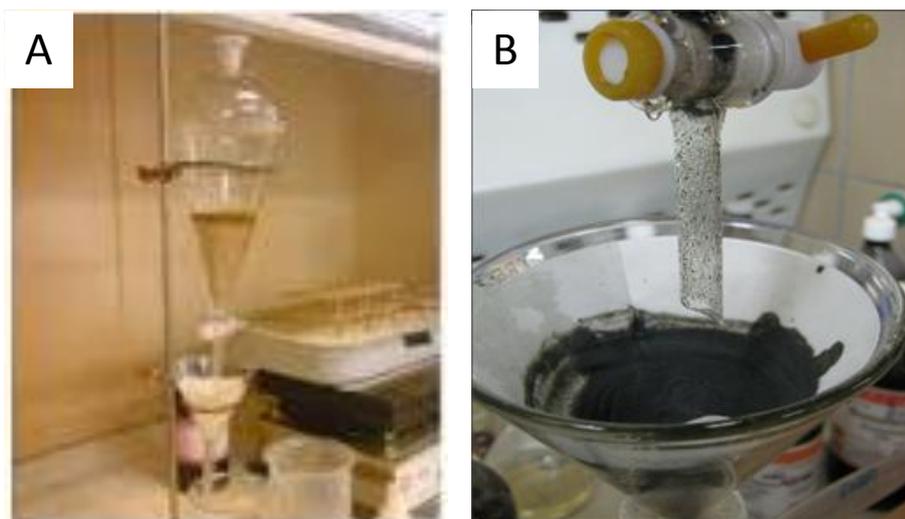


Figura 8: Ensaio de separação em meio denso. (A) Funil de separação (B) Descarga do material.

O método de separação de minerais pesados por meio de líquidos densos tem por grande objetivo fazer com que o quartzo distintamente fique separado das

assembleias dos demais minerais de alta densidade. Para isso, foi utilizado um funil separador, onde o líquido Bromofórmio (CHBr_3) de densidade $2,9 \text{ g/cm}^3$ foi inserido. Os minerais com peso específico menor que $2,9 \text{ g/cm}^3$ (quartzo $2,65 \text{ g/cm}^3$, por exemplo) flutuaram enquanto a fração composta por minerais de peso específico superior a $2,9 \text{ g/cm}^3$ (granadas, por exemplo, $4,0 \text{ g/cm}^3$) assentaram gravitacionalmente. Ou seja, a fração de densidade maior do que o bromofórmio se depositou no fundo do funil e a fração mais leve ficou flutuando acima do líquido separador.

Porções de cada amostra foram repesadas e com isso, obteve-se conseqüentemente o peso das assembleias de minerais pesados, sendo então calculadas suas percentagens.

3.2.3 Separação Magnética

Os métodos de separação magnética se dividem em dois grupos: uso de ímãs permanentes comuns e outros mais modernos, baseado em eletroímã. No primeiro caso as separações são muito grosseiras e obtém-se apenas uma separação do mineral, fortemente magnético como a magnetita. No segundo caso, a utilização dos eletroímãs mais modernos permite obter **suítes de minerais** com boa facilidade.

Antes de se iniciar os trabalhos no separador magnético, foi necessário retirar da amostra com o auxílio de ímã de mão as partículas ferromagnéticas (magnetita principalmente), pois elas são retidas no campo magnético, causando entupimento da calha do separador magnético.

Baseado no fato de que os diferentes minerais possuem permeabilidade magnética diversa, torna-se possível realizar a separação dos mesmos.

Os minerais em que as linhas de força magnética passam com maior facilidade do que no ar são denominados paramagnéticos¹, por outro lado, aqueles em que estas linhas de força magnética passam com maior dificuldade do que no ar, são chamados diamagnéticos².

¹ Paramagnéticos: ferro, níquel, cobalto, manganês, cromo, platina, alumínio

² Diamagnéticos: bismuto, antimônio, zinco, prata, cobre, enxofre

O separador magnético utilizado foi o *Isodinamic Frantz*, dotado de um poderoso eletroímã com uma triagem magnética de comprimento uniforme na área onde a separação é efetuada.

O separador consiste essencialmente de um eletroímã, montado em duas peças de formato especial, com uma longa abertura entre elas, por onde passa o material a ser separado e que percorre um trajeto paralelo ao comprimento mais longo deste espaço. Neste trajeto ocorre:

1. As partículas mais altamente magnéticas são impelidas em direção ao lado mais estreito da calha de maior intensidade magnética, enquanto que os mais fracamente magnéticos ficam na parte interna da mesma.
2. Os grãos são interceptados por uma extremidade divisora que separa a amostra em duas frações, as quais são coletadas em diferentes receptáculos.

O aparelho pode ser utilizado em duas posições de trabalho: por alimentação vertical e por alimentação inclinada. No primeiro caso, são efetuadas as separações de material grosso, geralmente acima de 0,125mm. No segundo caso, o aparelho é utilizado para as separações em material com diâmetro menor do que 0,125mm.

Neste trabalho o aparelho foi operado na posição inclinada. Para esta posição o separador necessita dos seguintes acessórios: a) calha com bordo divisor terminal; b) vibrador de calha; c) funil alimentador; d) suporte superior e inferior da calha; e) parafusos fixadores de calha f) copos para recepção do material separado.

O separador possui dois movimentos de orientação, denominados de inclinação frontal e inclinação lateral. A inclinação lateral é dada pelo movimento tomado perpendicular ao comprimento maior da calha, enquanto que o movimento paralelo à calha representará a inclinação frontal.

A inclinação frontal tem por objetivo sujeitar as partículas a um tempo maior ou menor de passagem pelo eletroímã, uma vez que os grãos tendem a descer pela calha atraídos pela força da gravidade, auxiliados pela vibração da mesma.

A inclinação lateral visa imprimir um ângulo à calha, por onde os grãos minerais irão passar. Como a força magnética de atração passa justamente na parte mais externa do eletroímã, os minerais deverão vencer esse obstáculo, representado pelo ângulo tomado no movimento lateral, para assumir a atitude de minerais magnéticos atraídos pelo lado da calha que passa mais próximo à intensidade maior do campo magnético.

Obviamente uma inclinação muito intensa aumenta a razão do fluxo, enquanto que uma inclinação menor decresce a taxa. Para regulação da inclinação lateral deve-se considerar que os ângulos maiores visam justamente separar os grãos mais altamente magnéticos, enquanto que ângulos menores visam à separação de minerais cuja susceptibilidade é pequena.

Conjugado com esses dois movimentos temos ainda a considerar um terceiro fator de importância na separação e que podemos utilizar para a obtenção dos conjuntos mineralógicos – a intensidade da corrente, que pode variar de 0 a 1,0 A.

Fundamentadas nestes três elementos: inclinação frontal, inclinação lateral e intensidade magnética são efetuadas as separações mais diversas.

O aparelho foi operado com 20 graus de inclinação vertical e 18 graus de inclinação lateral.

Para regular a intensidade da corrente não é aconselhado que esta seja efetuada por saltos (passagem de 0,2 para 0,8, por ex.), mas sim observando gradualmente a sequência normal (0,2 – 0,3 – 0,4, etc.).

De um total de 33 amostras, elegeu-se 10 amostras representativas, sendo as mesmas separadas em quatro diferentes intervalos de amperagens.

- 0,2 a 0,5 A
- 0,7 A
- 0,1 A
- > 1,0 A

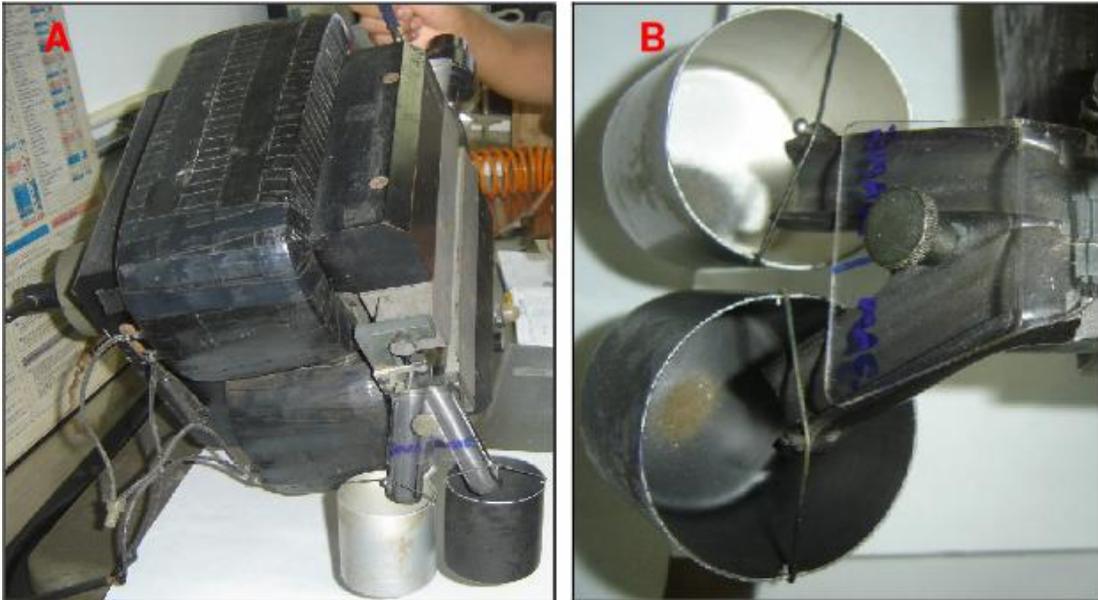


Figura 9: Separador magnético Frantz. (A) Separação magnética (B) Descarga dos materiais magnéticos e não magnéticos.

Destas **10 amostras**, **quatro** foram selecionadas para visualização em lupa binocular, com o auxílio técnico do responsável pelo laboratório de sedimentologia do CECO (Gilberto Santos), foi possível efetuar a identificação dos minerais e cálculo de percentagens através da contagem aleatória de 300 grãos.

Todas as amostras estão inseridas num mesmo contexto geológico, a Barreira IV, onde os sedimentos são quartzosos, de granulação areia fina e muito fina. Assim, pode-se considerar que as quatro amostras, coletadas e utilizadas na análise de pesados, pertencentes a um perfil ortogonal a uma das dunas, sejam representativas para a área de estudo.

Cabe ressaltar que para este trabalho, a identificação foi feita através da observação minuciosa das características mineralógicas de cada mineral, como brilho, cor, clivagem, habito e forma.

3.3 Levantamento topográfico

Para a obtenção da morfologia das dunas, bem como para os cálculos de cubagem, foi efetuado um levantamento topográfico, utilizando-se equipamentos de DGPS (*Differential Global Positioning System*) de precisão, em modo cinemático com correção em tempo real (*RTK – Real Time Kinematic*).

O DGPS é um sistema que fornece dados com uma resolução espacial e temporal de alta precisão e qualidade, reduzindo significativamente o erro total presente.

Com auxílio deste instrumento, foram realizadas trajetórias sobre o sistema de dunas. A partir da obtenção destes dados, foram geradas curvas de nível com equidistância de 1m, no software Arc Gis ® 10.1.

3.4 Cálculo de Cubagem

Qual o volume de minerais pesados existentes nestas duas dunas? Para responder a esta pergunta é necessário saber o volume de sedimentos que elas contêm e multiplicar este valor pela percentagem média de minerais pesados.

O cálculo de cubagem foi feito no Arc Gis ® 10.1, onde foram inseridas as coordenadas e as cotas dos pontos obtidos com o levantamento topográfico. Primeiramente, o programa gerou triangulações a partir dos pontos de mesma cota, para em seguida, gerar curvas de níveis com equidistância de 1m. O próprio programa Arc Gis® 10.1 calcula o volume total a partir de polígonos formados com as curvas de níveis.

Para estimar o volume de minerais pesados nas duas dunas estudadas foi adotado como referência (valor teórico) para a área de estudo, a concentração de minerais pesados de 0,5%. Valor este apresentado por Martins (2011), para as areias holocênicas praias do litoral médio da PCRS.

Também se usou, afim de comparação a percentagem média das 33 amostras, que é 13,09%. Cabe ressaltar que este valor elevado não é representativo da amostra total, uma vez que os minerais pesados estão contidos em uma pequena parte da fração total.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos com as análises laboratoriais feitas a partir dos minerais pesados e pelo processamento dos dados topográficos que levaram aos cálculos de cubagem.

4.1 Concentração de minerais pesados

Como descrito no item 3.2.2, as porções de cada amostra submetidas à separação gravimétrica foram repesadas, obteve-se conseqüentemente o peso das assembleias de minerais pesados, sendo então transformados em percentual. As concentrações de minerais pesados variam de 3,3706% a 40,3878% (Quadro 2).

Os altos teores de concentração não representam a amostra total, uma vez que a coleta dos sedimentos já foi feita diretamente em pláceres e também pelo motivo dos minerais pesados concentrarem-se na fração granulométrica areia muito fina.

Tabela 2: Percentagens de minerais pesados, na fração areia muito fina, em cada uma das 33 amostras.

AMOSTRA	% PESADOS	AMOSTRA	% PESADOS	AMOSTRA	% PESADOS
1	20,3335	12	5,2682	23	4,7094
2	12,4568	13	3,3706	24	7,0412
3	17,1968	14	8,1063	25	23,8664
4	3,8699	15	10,7567	26	16,9541
5	13,7532	16	11,4085	27	28,5663
6	8,6258	17	8,7089	28	8,524
7	3,8655	18	40,3878	29	3,6114
8	18,6398	19	17,8943	30	15,2011
9	10,767	20	7,8263	31	8,6246
10	16,5009	21	6,1326	32	3,6805
11	30,5209	22	29,5431	33	5,5339

Abaixo são descritas as localizações de cada uma das amostras, com relação às dunas.

- Barlavento (Nordeste); 3, 15, 21, 25, 32.
- Duna; 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 22, 26, 27, 31.
- Sotavento (Sudoeste); 1, 2, 17, 23, 28, 30.
- Interduna; 4, 5, 6, 7, 8, 18, 19, 20, 24, 29, 33.

Observando a relação espacial das trinta e três amostras e decompondo a área de amostragem em barlavento, duna, sotavento e interduna, nota-se que a maior concentração (percentagem média) de minerais pesados encontra-se na face barlavento e a menor concentração na face sotavento. Porém, isto não é o suficiente para fazer uma correlação precisa, para tanto seriam necessárias várias campanhas de amostragens nos mesmos locais.

4.2 Assembleia de minerais pesados

Os minerais pesados encontrados nas amostras analisadas são: Magnetita, Ilmenita, Turmalina, Epidoto, Zircão, Granada, Staurolita, Cianita, Apatita, Esfeno, Augita, Leucoxênio, Clinozoizita, Silimanita e Rutilo.

Na Tabela 3 pode-se observar que os constituintes dominantes das amostras são Magnetita, Ilmenita, Turmalina, Epidoto e Zircão.

A presença de minerais pesados mais estáveis, como Granada, Cianita, Zircão, Staurolita e Turmalina indica que as rochas-fonte destas assembleias são os terrenos metamórficos do Escudo Sul-Rio-grandense e do Escudo Uruguaio. Martins (2011) e (Fontana, 1987 ; 1990).

Tabela 3: Apresenta a assembleia de minerais e suas percentagens relativas nas quatro amostras que passaram pelo separador e foram analisadas em lupa binocular.

AMOSTRA	MP 15	MP 16	MP 17	MP 19
Ilmenita	20	29	18	20
Granada	2	1	2	3
Epidoto	8	9	8	6
Turmalina	13	10	9	9
Staurolita	3	3	4	5
Clinozoizita	7	6	6	4
Leucoxenio	2	2	3	3
Augita	2	0	1	2
Esfeno	1	0	2	2
Cianita	5	5	3	4
Silimanita	2	1	2	2
Apatita	3	5	5	4
Rutilo	5	4	4	3
Zircão	12	10	8	13
Magnetita	15	15	25	20
TOTAL	100%	100%	100%	100%

Observa-se que a ilmenita é o mineral mais abundante na assembleia de minerais pesados encontrados neste estudo, com valores que variam de 18 a 29%. Tendo seu teor mínimo ocorrendo na área de sotavento e o valor máximo no topo da duna. Seguido pela magnetita a qual apresenta valores médios variando de 15 a 25%. O teor máximo ocorre na área de sotavento enquanto nas demais áreas ocorrem o valor mínimo encontrado.

O zircão é o terceiro mineral mais abundante, com concentrações que variam de 8 a 13%. Ocorrendo seu valor mínimo na área de sotavento da duna e o valor máximo na área de interdunas. Os teores de turmalina seguem mais ou menos os de zircão, variando em média de 9 a 13%. As percentagens mínimas ocorrem nas áreas de sotavento e interdunas e a máxima na área de barlavento.

O epidoto aparece em concentrações que variam entre 6 e 9%, onde os teores mínimos ocorrem na área de interdunas e o máximo no topo da duna.

Em concentrações menores que 7% ocorrem os seguintes minerais:

Clinozoisita a qual varia entre 4 e 7% com teores mínimos e a área de interdunas e o máximo na área de barlavento.

Cianita, apatita, staurolita e rutilo apresentam teores que variam em média de 3 a 5% ocorrendo, praticamente em todas as áreas do corpo da duna. Leucoxênio apresenta teores que variam entre 2 e 3%, com teores máximos nas áreas de sotavento e interdunas.

Granada apresentam teores de 1 a 3%, ocorrendo principalmente na área de interdunas, enquanto que a silimanita, o esfeno e a augita não apresentam valores superiores a 2% e ocorrem principalmente nas áreas de barlavento e interdunas.

Abaixo está descrito a localização de cada uma das amostras, com relação às dunas.

- Barlavento (nordeste); 15
- Duna; 16
- Sotavento (Sudoeste); 17
- Interduna; 19

Observando a tabela 3 e relacionando cada uma das quatro amostras com seus respectivos pontos de coleta, percebe-se que não há variação significativa em nenhuma delas. Ou seja, a assembleia de minerais pesados, na face barlavento, na duna, na face sotavento e na interduna não apresentam grandes variações em suas porcentagens. As concentrações de minerais pesados na área de estudo estão relacionadas a processos eólicos os quais ocasionam o transporte dos sedimentos leves pela ação do vento e concentrando os pesados, já que a energia dos ventos não tem competência para transportar os minerais pesados, mesmo sendo estes em granulometria menor do que as dos grãos de quartzo.

Em geral as maiores concentrações de minerais pesados ocorrem no topo das dunas seguido da área de barlavento, interdunas e sotavento.

4.3 Distribuição vertical

Em campo, se observou que as concentrações de minerais pesados ocorrem na superfície, de maneira heterogênea, formando manchas negras no campo de dunas, os chamados pláceres.

Para investigar se estas manchas tem continuidade vertical, foram amostrados quatro testemunhos, denominados TMP03, TMP04, TMP07 e TMP08. Foram recuperados nos mesmos pontos de amostragem superficial de números 19, 20, 25 e 33 e mostram claramente que não há continuidade vertical destas manchas, elas estão distribuídas em finas lâminas milimétricas que se intercalam com o restante dos sedimentos.

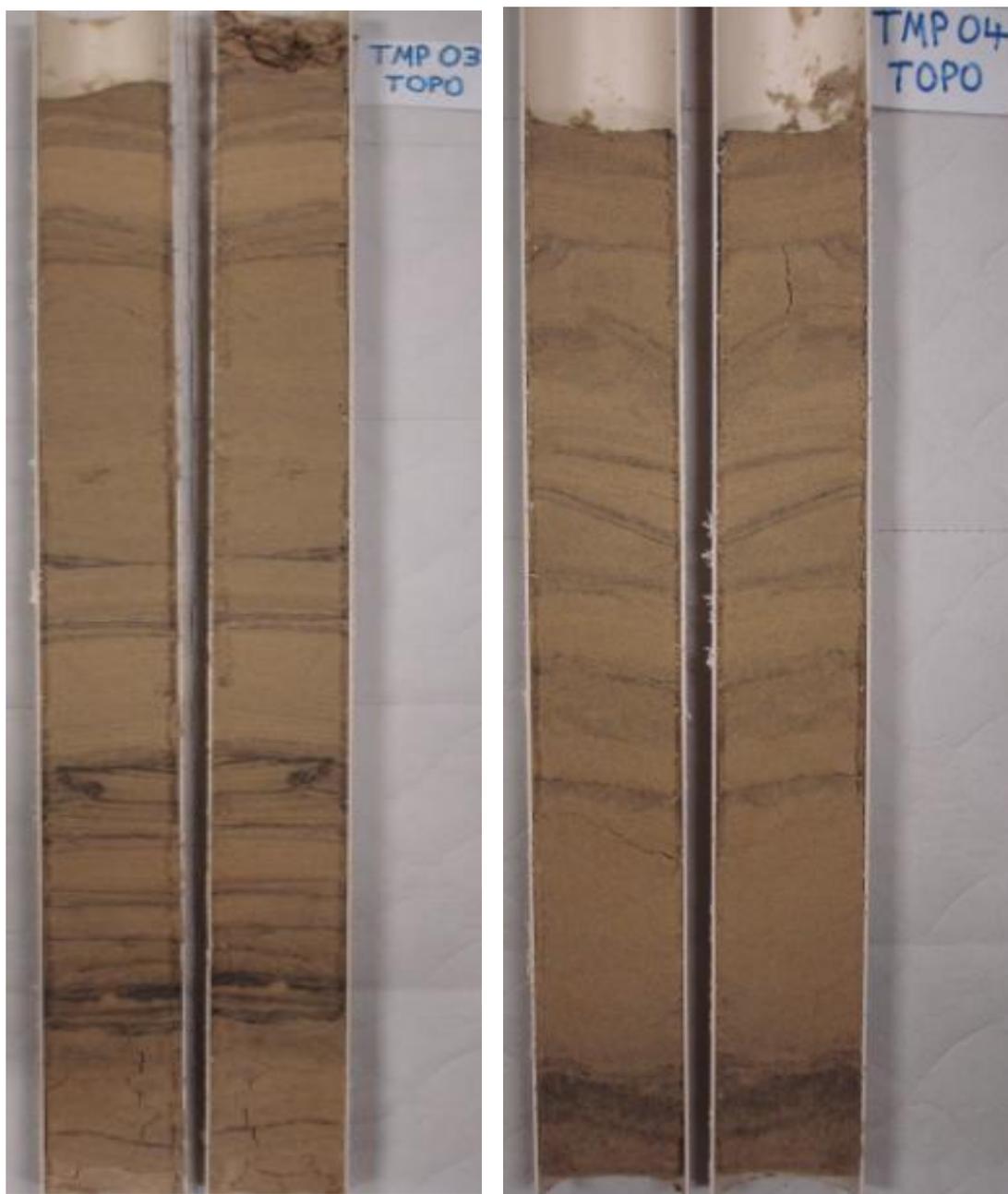


Figura 10: Testemunhos TMP03 e TMP04, com a presença dos níveis de minerais pesados. Diâmetro do cano de PVC: 7,5 cm



Figura 11: Testemunhos TMP07 e TMP08 mostram os níveis de concentração de minerais pesados. Diâmetro do cano de PVC: 7,5 cm

Os testemunhos TMP03 e TMP04 apresentam em sua base níveis mais escuros relacionados provavelmente a antigas concentrações de minerais pesados. Níveis milimétricos de concentração de minerais pesados são observados em todos os testemunhos confirmando a evolução deste campo de dunas e a concentração destes minerais.

4.4 Cálculos de cubagem

A seguir são apresentadas as imagens 3D e as curvas de nível de duas dunas, onde é possível visualizar, claramente, o sentido de migração da duna para SW. Conforme descrito no item 3.4, foi possível estimar, a partir destes dados, os volumes de sedimentos e percentagens de minerais pesados presentes nas duas dunas. Para localização, ver a Figura 6.

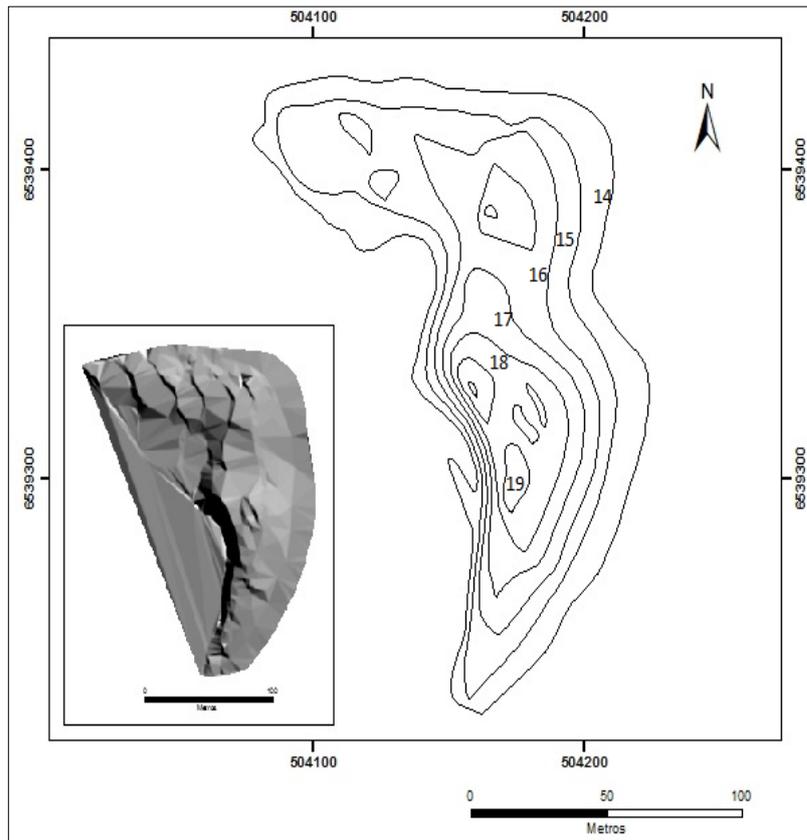


Figura 10: Imagem 3D e topografia da duna 1 com as respectivas cotas

Tabela 4: Estimativa de volume sedimentos para a duna1

COTA	VOLUME (m³)
14	3.877,02
15	5.697,58
16	5.097,51
17	5.195,92
18	1.812,65
19	36,72
TOTAL	21.717,4

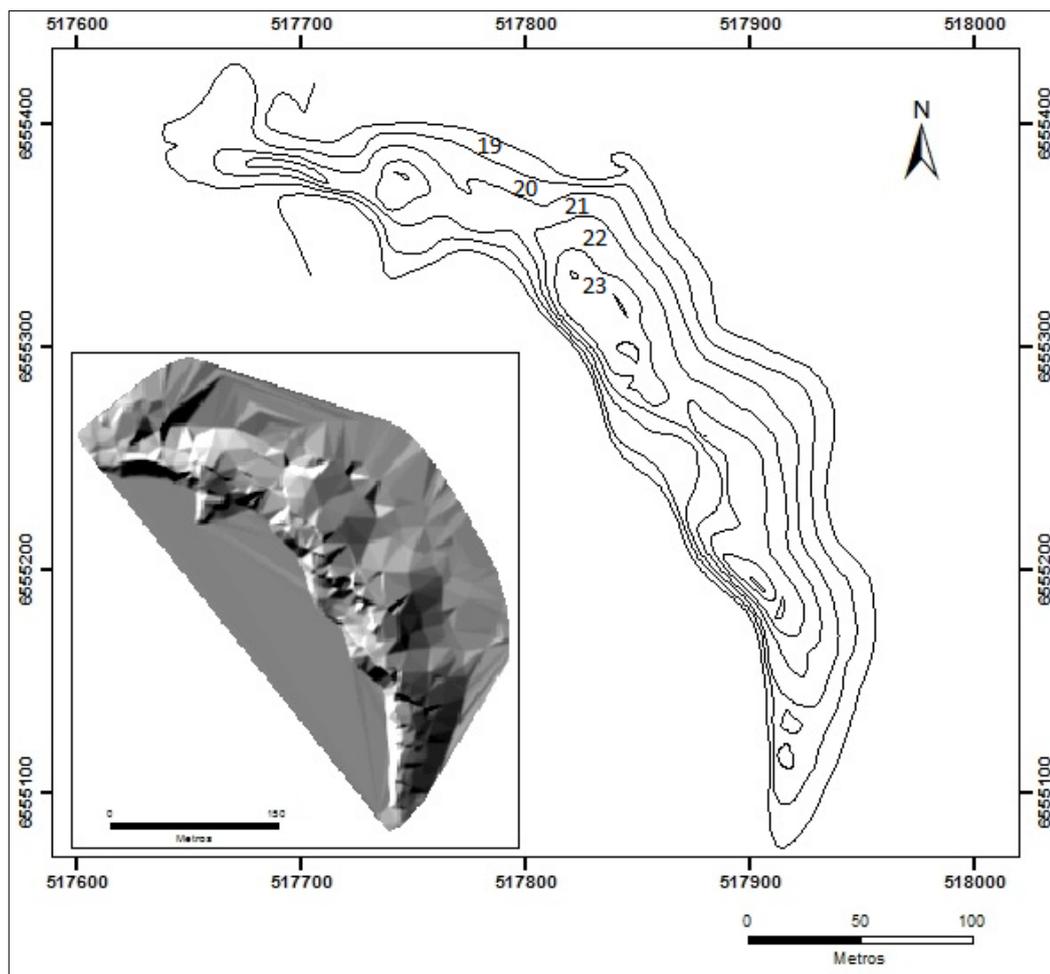


Figura 11: Imagem 3D e topografia da duna2 com suas respectivas cotas

Tabela 5: Estimativa de volume de sedimentos para a duna 2

COTA	VOLUME (m³)
19	7.446,23
20	11.732,46
21	12.118,05
22	12.482,08
23	1.397,55
TOTAL	45.176,37

O trabalho de cubagem das dunas denominadas 1 e 2 gerou os seguintes valores:

Com base nos dados obtidos com o levantamento topográfico nas duas dunas, pode-se inferir que o volume de sedimentos na duna um é de 21.717,40m³ e o volume de sedimentos na duna dois é de 45.176,37m³.

Com base nas concentrações de minerais pesados (MP), a duna 1 apresenta volume de 108,58m³, valor este referente à concentração de minerais pesados de 0,5% e 2.842,81m³ quando utilizada como referência a concentração de 13,09% de MP.

Da mesma maneira, a duna 2 apresenta volume de 225,81m³ quando utilizada como referência para a área estudada a concentração de MP de 0,5% e 5.913,58m³ quando utilizada como referência a concentração de 13,09% de MP.

Tabela 6: Estimativa de volume de minerais pesados (MP) para as dunas.

Duna	Volume de sedim. (m³)	Referência de % de MP	Volume de MP (m³)
1	21.717,40	0,5	108,58
1	21.717,40	13,09	2.842,81
Duna	---	---	---
2	45.176,37	0,5	225,88
2	45,176,37	13,09	5.913,58

Os valores obtidos utilizando-se como referência a concentração média de minerais pesados de 0,5% estão mais próximos da realidade para o litoral médio do Rio Grande do Sul do que o valor de referência de 13,09%. Isto se deve principalmente às condições de amostragem descritas anteriormente, onde no presente trabalho se optou por coletar sedimentos diretamente e unicamente em plácemes da superfície de dunas holocênicas no PNL. Por outro lado, Martins (2011) coletou 14 amostras de sedimentos a uma profundidade de até 30 cm, em intervalos regulares, na linha de praia do litoral médio da PCRS.

5 CONCLUSÕES

Os minerais pesados presentes nos sedimentos eólicos estudados no PNLN constituem uma pequena parte da fração arenosa. Os valores encontrados correspondem predominantemente à fração granulométrica areia muito fina, não representando a percentagem da amostra total. As percentagens dos diversos minerais pesados identificados nas quatro amostras selecionadas estão baseadas na contagem de 300 grãos por amostra.

Os resultados obtidos a partir das análises realizadas possibilitou identificar a presença dos seguintes minerais pesados: Magnetita, Ilmenita, Turmalina, Epidoto, Zircão, Granada, Staurolita, Cianita, Apatita, Esfeno, Augita, Leucóxênio, Clinozoizita, Silimanita e Rutilo. As amostras são constituídas predominantemente de Magnetita, Ilmenita, Turmalina, Epidoto e Zircão.

Observa-se que as concentrações de minerais pesados encontram-se entre 3,37% e 40,38%. Destas percentagens os minerais pesados predominantes são a magnetita e a ilmenita, perfazendo aproximadamente 19% e 21% respectivamente, seguidos pela turmalina e zircão com 10% cada um. A clinozoizita e o epidoto apresentam, aproximadamente 6% de MP enquanto que os demais minerais pesados descritos nas amostras perfazem percentagens menores que 4%. Deve-se levar em conta que estas percentagens estão relacionadas ao intervalo areia muito fina.

Com base nos levantamentos topográficos de duas dunas da área de estudo em que se observou a maior concentração de minerais pesados, determinou-se a superfície de abrangência destas dunas a qual apresentou: para a duna 1 um volume inferido de minerais pesados de 108,58 m³ e para duna 2 um volume inferido de minerais pesados de 225,88 m³.

6 REFERÊNCIAS

- Barros, C.E.; Toldo Jr, E.E.; Silva, R.R, 2005. Concentração de Minerais Pesados das Praias do Litoral Norte e Médio do Rio Grande do Sul: Relações entre Deriva Litorânea e Processos Erosivos. In: X Congresso da ABEQUA, 2005, Guarapari. Anais do X Congresso da ABEQUA.
- Braga Arejano, T., 2006. Geologia e evolução Holocênica do sistema lagunar da Lagoa do Peixe, litoral médio do Rio Grande do Sul, Brasil. Instituto de Geociências, Porto Alegre: UFRGS.
- Calliari, L.J., Klein, A.H.F., 1983. Características Morfodinâmicas e Sedimentológicas das Praias Oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. Pesquisas, 20(1): 48-56.
- Cornea, I.C.S., 1986. Evidence Of Sea Level Fluctuation in the Rio Grande do Sul Continental Shelf, Brasil. Quaternary of South America And Antarctic peninsul, 4: 237-249.
- Corrêa, I.C.S.; Ayup-Zouain,R.N.; Weschenfelder, J.; Tomazelli, L.J. 2008. Áreas Fontes dos Minerais Pesados e sua Distribuição sobre a Plataforma Continental-Sul-brasileira, Uruguia e Norte-Argentina. Revista Pesquisas em Geociências, 35 (1): 137-150.
- Dillenburg, S.R.; Tomazelli, L.J. & Iummertz, C. 1998. A variabilidade morfológica das barreiras costeiras holocênicas do Estado do Rio Grande do Sul. *Geosul*, 14(27): 204-207.
- Dillenburg, S.R.; Tomazelli, L. J.; Barboza, E.G. 2004. Barrier evolution and placer formation at Bojuru southern Brazil. *Marine Geology*, 203: 43-56.
- Fontana, R.L., 1987. Desenvolvimento termomecânico da Bacia de Pelotas e parte sul da Plataforma de Florianópolis. Curso de Pós-Graduação em geociências, Universidade Federal de Ouro Preto. Dissertação de Mestrado. 128p.
- Fontana, R.L., 1990. Desenvolvimento Termomecânico da Bacia de Pelotas e Parte Sul da Plataforma de Florianópolis. In: RAJA BAGAGLIA, G.P., MILANI, E.J. (eds.). Origem e Evolução de Bacias Sedimentares. Rio de Janeiro. Brasil – Petrobrás, p 337-400.

- Klein, C.; Dutrow, B. 2012. Manual de ciência dos minerais. Dutrow; Tradução e revisão técnica: Menegat. R. – 23. Ed. – Porto Alegre. 716 p. + 1 CD.
- Loss, E.L. & Dehnhardt, E.A. 1983. Concentração de Areias Negras ao Longo da Costa do Rio Grande do Sul-Áreas Fonte: Geologia e Contribuição Mineralógica. *Acta Geológica Leopoldensia*, 7(14): 93-130.
- Mamede Cavalcante, V. M., 2011. Plataforma continental. Departamento nacional de produção mineral, Brasília.
- Martins, L.P., 2011. Estudo e avaliação das assembleias de minerais pesados detríticos das areias holocênicas praias da margem emersa da bacia de Pelotas. Instituto de Geociências, Porto Alegre: UFRGS.
- Martins, L.R., Villwock, J.A., Martins, I.R., 1972. Estudo Preliminar Sobre a Distribuição Faciológica da Plataforma Continental Brasileira. *Pesquisas*, 1:51-56.
- Munaro, P., 1994. Geologia e Mineralogia do depósito de minerais pesados de Bojurú-RS. Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado, 96pp.
- Nimer, E. 1977. Clima. In: IBGE – *Geografia do Brasil, Região Sul*. SERGRAF – IBGE, Rio de Janeiro, p.35-79.
- Pettijohn, F.J.; Potter, P.E. & Siecer, R. 1973. Sand and sandstone. New York, Heidelberg, Berlin, Springer-Verlag. 618 p.
- Ribeiro, H.J.P. 2001. Estratigrafia de sequências. Fundamentos e Aplicações. São Leopoldo, Editora: Unisinos; 427p.
- Schoessler, V. 2011. Morfodinâmica da desembocadura da Lagoa do Peixe e da linha de praia adjacente. Instituto de Geociências, Porto Alegre: UFRGS.
- Tomazelli, L.J., 1990. Contribuição ao estudo dos sistemas deposicionais holocênicos do nordeste da província costeira do Rio Grande do Sul – com ênfase no sistema eólico. Porto Alegre. 270p. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- Tomazelli, L.J., 1993. O regime dos ventos e a taxa de migração das dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas*, 20(1):18-26.
- Tomazelli, L. J.; Villwock, J. A. 2005. Mapeamento Geológico de Planícies Costeiras: O Exemplo da Costa do Rio Grande do Sul. *Gravel*, n. 3: 109-115.
- Villwock J.A. & Tomazelli L.J., 1995. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. *Notas Técnicas*, CECO/UFRGS, 8:1-45.
- Tomazelli L. J.; Villwock, J. A. 2000. O Cenozoico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CIGO/UFRGS. p.375-406.
- Villwock, J.A. & Tomazelli, L.J. 2007. Planície costeira do Rio Grande do Sul: gênese e paisagem atual. In: Fernando Gertum Becker; Ricardo Aranha Ramos; Luciano de Azevedo Moura. (Org). *Biodiversidade: Regiões da Lagoa do Casamento e dos Butiazais de Tapes, Planície Costeira do Rio Grande do Sul*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente - MMA/SBF. v.1, p. 20-33.
- Villwock, J.A. 1972. Contribuição da Geologia do Holoceno da Província Costeira do Rio Grande do Sul Porto Alegre Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Geociências. Universidade do Rio Grande do Sul.
- Villwock, J.A.; Loss, E.L.; Dehnhardt, E.A.; Tomazelli, L.J. and Hoffmeister, T., 1979. Concentraciones de arenas negras a lo largo de la costa de Rio Grande Do Sul. *Memorias del seminario sobre ecología bentónica y sedimentación de la plataforma continental delatlánticosur (Montevideo)* pp. 407-414.