



Universidade Federal do Rio Grande

Instituto de Oceanografia

Laboratório de Oceanografia Geológica



Programa de Pós-graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica

Variabilidade morfológica e sedimentar associada a eventos de alta energia nas praias do extremo sul do RS

Camila Bento de Oliveira

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Lauro Júlio Calliari

Co-orientadora: Dr^a. Elaine Siqueira Goulart

Maio de 2015

Agradecimentos

Aos meus pais, Adriane e Umberto, pela vida, pelas oportunidades e pelos valores transmitidos.

A minha família, principalmente as minhas avós, dinda e tias, pelos carinhos e mimos durante toda a minha vida.

Ao meu orientador, Lauro, pela oportunidade e pela confiança.

A minha co-orientadora, Elaine, pela paciência, dedicação e amizade.

Aos colegas de laboratório, pela força nas coletas. Ao Arthur, pela mão com o Grads. À Zaida, Milico e Glória, pelos momentos de trabalho e “descontração”.

Ao Lab Crusta pelos amigos e pelo café.

À Malu, Leda e Bia, por serem minha família riograndina.

À Marília, Maíra, Cris, Doug, Mari Rydz, Natália e Nathalie por me darem uma das melhores coisas que alguém pode ter: amigos.

Ao meu querido Felipe, orientador nas horas vagas e meu amor pra todas as horas.

A costa do Rio Grande do Sul é caracterizada por uma longa barreira arenosa, representada pelo sistema deposicional mais recente denominado Laguna- Barreira IV, de formação Holocênica. A evolução das barreiras costeiras está relacionada com a formação de grandes depósitos de minerais pesados, que desde o Terciário têm sido transportados pelo sistema de drenagem para a plataforma continental durante períodos de nível do mar baixo, sendo incorporados em sistemas de barreiras transgressivas pela ação das ondas. O litoral do RS é frequentemente afetado por distúrbios meteorológicos, responsáveis por gerar ventos do quadrante sul, e conseqüentemente geram ondas e elevação do nível do mar. Este aumento do nível do mar acima da maré normal, conhecido como “maré meteorológica”, é ocasionado principalmente pelo efeito do vento e quebra de ondas, e que aqui serão designados como “eventos de alta energia”. Esses eventos tem sua ocorrência associada à passagem de ciclones extratropicais, bem como anticiclones e sistemas de cava. É durante períodos de tempestade que ocorre o mecanismo inicial para a concentração de minerais pesados, que se depositam principalmente na região do pós-praia. Neste trabalho, foram analisados 7 eventos de alta energia, através de perfis topobatimétricos e amostragem de sedimento superficial do pós-praia, que permitiram calcular o volume sedimentar subaéreo após a passagem do mesmo, bem como os parâmetros granulométricos, teor de minerais pesados e composição da assembleia mineralógica. Foi observado um decréscimo no teor de minerais de sul para norte, o que evidencia um possível transporte de sedimentos neste sentido. Um sistema de cava foi o responsável por causar maior erosão na área. Após a passagem deste evento, foi observado o maior teor de minerais pesados nos sedimentos, entre o período de junho de 2013 a agosto de 2014.

Palavras-chave: tempestades, erosão costeira, minerais pesados.

Abstract

The Rio Grande do Sul coast is characterized by a long sandy barrier, represented by the most recent depositional system Laguna- Barrier IV of Holocene formation. Large deposits of heavy minerals have been formed under the long-term processes related to the evolution of coastal barriers. Since the Tertiary, heavy minerals have been transported to the continental shelf during sea-level retraction. During the periods sea-level rise, these minerals were incorporated into transgressive barrier systems by wave action. The coast of RS is frequently affected by meteorological disturbances that are responsible to generate southerly winds, and consequently generate waves and sea level rising. The unusual rise in sea level, above the standard tide, known as "storm surge" is mainly caused by the effect of wind and breaking waves, and was designated as "high-energy events" in this investigation. These events have their occurrence associated with the passage of extratropical cyclones, anticyclones and cava systems. It is during a storm surge that the initial mechanism for the concentration of heavy minerals takes place, resulting in deposition on primarily in the backshore zone. In this investigation, we analyzed seven high-energy events through bathymetric profiles and backshore surface sediment sampling, which were used to calculate the subaerial sediment volume after the occurrence, the particle size distribution parameters, the heavy mineral content and composition of the mineralogical assembly. A decrease in mineral content northwards was observed, showing a possible sediment transport in this direction. A cava system was responsible for causing further erosion in the area. After the passage of this event, the highest content of heavy minerals in sediments was observed between the period June 2013 to August 2014.

Keywords: storm surges, coastal erosion, heavy minerals.

Sumário

Resumo	iii
<i>Abstract</i>	iv
Lista de Figuras	vii
Lista de Tabelas	ix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Eventos de Alta Energia: gênese e impactos sobre a costa.....	1
1.2 Minerais Pesados como Indicadores Sedimentológicos.....	3
1.2.1 Comportamento Hidrodinâmico dos Minerais Pesados.....	4
1.3 Parâmetros Granulométricos e Caracterização da Dinâmica Ambiental.....	6
1.4 Hipótese	7
2. OBJETIVOS	8
2.0 Objetivo Geral	8
2.1 Objetivos Específicos	8
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	9
3.1 Localização.....	9
3.2 Contexto Geológico.....	10
3.3 Ondas.....	12
3.4 Marés.....	13
3.5 Deriva litorânea de sedimentos	13
4. MATERIAL E MÉTODOS	14
4.1 Amostragem geológica e perfis topobatimétricos.....	14
4.2 Dados de Reanálise	15
4.3 Análises granulométricas	16
4.3.1 Análise Estatística.....	16
4.4 Mineralogia de pesados	17
4.4.1 Análise Estatística.....	17
4.5 Índices Mineralógicos	18
5. RESULTADOS	18
5.1 Parâmetros Granulométricos.....	18
5.1.1 Diâmetro	18
5.1.2 Desvio Padrão	20
5.1.3 Assimetria	21

5.2	Perfis Topobatimétricos.....	23
5.3	Variações no Pacote Sedimentar	26
5.4	Análise das Trajetórias dos Ciclones	28
5.5	Teor de Minerais Pesados.....	30
5.6	Assembleia Mineralógica.....	32
5.7	Índices Mineralógicos	34
6.	ANÁLISES DE CORRELAÇÃO.....	36
6.1	Parâmetros Granulométricos.....	36
6.2	Teor de Minerais Pesados.....	38
6.3	Variações no Pacote Sedimentar e Teor de Minerais Pesados	39
7.	DISCUSSÃO	41
7.1	Parâmetros Granulométricos.....	41
7.1.1	Número de Modas	41
7.1.2	Diâmetro Médio.....	41
7.1.3	Desvio Padrão	42
7.1.4	Assimetria	43
7.2	Teor de Minerais Pesados.....	44
7.4	Índices Mineralógicos	48
7.5	Variações no Pacote Sedimentar e Teor de Minerais Pesados	49
7.6	Análise das trajetórias dos ciclones.....	51
8.	CONCLUSÕES	53
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

Lista de Figuras

Figura 1-Localização da área de estudo, ao sul do Rio Grande do Sul.	9
Figura 2: Localização e mapa geológico simplificado da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (Modificado de Tomazelli <i>et al.</i> , 2000).....	11
Figura 3: Amostragem de sedimento na região do pós- praia	15
Figura 4: Diâmetro de grão ao longo da área de estudo entre as coletas.	19
Figura 5: Diâmetro médio de grão ao longo da área de estudo (figura A) e entre as coletas (figura B).....	19
Figura 6: Desvio padrão ao longo da área de estudo entre as coletas.....	20
Figura 7: Desvio padrão médio ao longo da área de estudo (figura A) e entre as coletas (figura B).	21
Figura 8: Assimetria ao longo da área de estudo entre coletas.	22
Figura 9: Assimetria média ao longo da área de estudo (figura A) e entre as coletas (figura B).	22
Figura 10: Variação topobatimétrica referente ao ponto Hotel.....	23
Figura 11: Variação topobatimétrica referente ao ponto Hermenegildo.....	24
Figura 12: Variação topobatimétrica referente ao ponto Chuí.....	25
Figura 13: Trajetórias dos sistemas meteorológicos analisados. Em magenta, evento amostrado em 19/06/2013; em vermelho, evento amostrado em 15/08/2013; em azul, evento amostrado em 13/11/2013; em verde, evento amostrado em 29/01/2014; em ciano, evento amostrado em 02/07/2014; e em amarelo, evento amostrado em 18/08/2014.....	28
Figura 14: Exemplos dos sistemas atmosféricos analisados. Na figura A, um ciclone extratropical e na figura b, um sistema de cava. As cores representam a pressão na superfície, enquanto o vento é representado pelas setas.	30
Figura 15: Minerais pesados presentes na região do pós-praia, no ponto 45km, durante coleta realizada em 28/07/2014.	31
Figura 16: Testemunhos coletados em 19/06/2013, 15/08/2013, 13/11/2013 e 29/01/2014. A figura A corresponde ao ponto Hotel e a figura B ao ponto Chuí.	31
Figura 17: Variação no percentual de minerais pesados ao longo dos 45 km analisados.	32
Figura 18: Variação da assembléia mineralógica ao longo da área analisada.	33

Figura 19: Componente principal 1 (figura A), Componente principal 2 (figura B) e Componente principal 3 (figura C) da matriz de dados analisada.	34
Figura 20: Variação longitudinal dos índices TZi, GSi e GCi.....	35
Figura 21: Análise de correlação entre o diâmetro médio e o desvio padrão (figura A) e entre o diâmetro médio e a assimetria (figura B).	36
Figura 22: Análise de correlação entre os teores de areia muito fina e de minerais pesados encontrados na totalidade das amostras analisadas.	37
Figura 23: Análise de correlação entre o teor de minerais pesados e o diâmetro médio (figura A), o desvio padrão (figura B) e entre a assimetria (figura C).....	38
Figura 24: Análise de correlação entre o teor de minerais pesados ao longo da área de estudo.....	39
Figura 25: Análise de correlação entre o volume subaéreo de sedimento nos pontos Hotel e Chuí.	40
Figura 26: Análise de correlação entre os teores de minerais pesados e o volume de sedimento subaéreo nos pontos Hotel (Fig. A) e Chuí (Fig. B).....	40
Figura 27: Minerais pesados no curso e às margens de um sangradouro, referente à amostragem realizada em 02/07/2014.	46
Figura 28: Afloramento de turfa às margens de um sangradouro, indicador de processo erosivo. Amostragem realizada em 01/2014.	50
Figura 29: Elevação do nível do devido à passagem de evento de alta energia no ponto Hermenegildo (Balneário Hermenegildo).....	51

Lista de Tabelas

Tabela 1: Volume sedimentar subaéreo observado durante as coletas (m^3/m).	26
Tabela 2: Variações de volume sedimentar observada em relação ao volume sedimentar subaéreo médio (m^3/m)	26
Tabela 3: Resumo dos padrões atmosféricos observados	29

1. INTRODUÇÃO

1.1 Eventos de Alta Energia: gênese e impactos sobre a costa

A costa sul do Brasil é frequentemente afetada por distúrbios meteorológicos, muitas vezes associados a intensos ciclones extratropicais. A diferença no ângulo de incidência da radiação solar entre as baixas e altas latitudes é o principal fator responsável pelo movimento atmosférico. Em função da diferença de temperatura são geradas diferenças de pressão atmosférica, o que faz com que os ventos se desloquem das regiões de alta pressão (anticlones) para as de baixa pressão (ciclones), sendo defletido pela força de Coriolis para a esquerda no Hemisfério Sul e para a direita no Hemisfério Norte (Weycamp, 2006).

A elevação do nível do mar, acima da maré astronômica, é conhecida como “maré meteorológica” (Pugh, 1987). Ventos paralelos à costa provenientes do quadrante sul empilham água sobre a costa (*Wind setup*) devido ao efeito de Coriolis, enquanto a baixa pressão faz com que haja um aumento no nível do mar (*Barometric Setup*). O aumento da energia das ondas também resulta em um aumento de nível na zona de surf (*Wave setup*), fazendo com que a mesma seja transferida para a região subaérea (Benavente *et al.*, 2006). Com isso, a ação das ondas e correntes é responsável pela mobilização e remoção dos sedimentos da parte subaérea da praia, transportando-os em direção ao oceano, onde são depositados na forma de bancos arenosos paralelos à linha de costa. Como eventos de alta energia serão designados aqueles responsáveis por gerar ventos intensos e aumento na energia das ondas, ocasionando erosão na costa.

O processo de formação ou intensificação de um ciclone é denominado ciclogênese, enquanto sua dissipação é chamada de ciclólise. São denominados extratropicais os ciclones e anticlones que ocorrem em médias e altas latitudes. Possuem escala de centenas a milhares de quilômetros, sendo também denominados vórtices atmosféricos de escala sinótica (Reboita, 2008). A climatologia de ciclones elaborada para o Hemisfério Sul afirma que a ciclogênese é mais frequente entre os paralelos 30°S e 50°S, com máximo em torno de 45°S, diminuindo do paralelo de 50°S em direção a Antártica e aumentando nas proximidades desse continente provavelmente devido ao

efeito da topografia da região (Sinclair, 1994; Simmonds e Keay, 2000a; Hoskins e Hodges, 2005).

Especificamente à América do Sul, Gan e Rao (1991) observaram duas regiões preferenciais de formação dos ciclones, com maior ocorrência no inverno: uma sobre a Argentina, possivelmente devido à instabilidade baroclínica, e outra sobre o Uruguai, devido à combinação entre a instabilidade baroclínica e o efeito advindo da Cordilheira dos Andes. Sinclair (1995) concluiu que a formação dos ciclones da costa leste da América do Sul concentra-se em duas regiões: uma próxima a 30°S e outra a 45°S. De acordo com Hoskins e Hodges (2005), três regiões devem ser consideradas como preferenciais à ciclogênese: ao sul da Argentina, no Uruguai e próximo ao Trópico de Capricórnio na costa do Brasil.

Para a costa do Rio Grande do Sul, foi observado que o padrão atmosférico sinótico responsável pela maior erosão na Praia do Cassino ocorre quando a ciclogênese se dá ao sul do Uruguai, com deslocamento do ciclone para leste e a trajetória limitada entre 35°S e 42,5°S (Parise *et al.*, 2009). Segundo Machado (2014) os ciclones extratropicais formados entre 30°S e 40°S, com trajetórias preferenciais para leste e sudeste são os principais sistemas atmosféricos responsáveis por gerar ventos intensos e grandes ondas. Entretanto, foi observado que os anticiclones, ou centros de alta pressão, também são responsáveis pela formação de fortes ventos e consequentemente, aumento na altura das ondas e elevação de nível. A duração, intensidade e localização da pista de geração de tempestades estão diretamente relacionadas ao poder de erosão impresso na costa (Calliari *et al.*, 1998; Tozzi, 1999), sendo o outono o período no qual os eventos meteorológicos são mais frequentes e mais intensos (Barletta, 2000; Saraiva *et al.*, 2003; Parise *et al.*, 2009).

Há dois segmentos onde a erosão pode ser considerada permanente no litoral do Rio Grande do Sul: ao norte, na área adjacente ao Farol da Conceição; e ao sul, na região compreendida entre o Farol Fronteira Aberta e o Arroio Chuí. A causa dos focos erosivos é atribuída ao padrão de refração das ondas de tempestade sobre locais de batimetria complexa, que operam como “lentes batimétricas”, concentrando ondas longas nas áreas de erosão (Speranski e Calliari, 2001). Ao longo dos anos, foram realizadas nestas regiões monitoramentos de campo na qual se observaram indicadores de processos erosivos, tais como presença de escarpas, afloramentos de depósitos

lagunares e turfáceos no pós-praia, assim como elevada concentração de minerais pesados (Calliari *et al.*, 2010).

Devido à intensificação dos sistemas atmosféricos nos meses de outono e inverno, é possível observar uma sazonalidade nas características dos perfis praias. Em função da variabilidade do regime ondulatório, predomina um perfil de acresção entre os meses de novembro e março, caracterizado por um maior estoque de sedimentos na porção subaérea da praia, e um perfil de erosão entre abril e outubro, caracterizado por um maior estoque de sedimentos na porção subaquosa da praia (Calliari e Klein, 1993).

1.2 Minerais Pesados como Indicadores Sedimentológicos

Os minerais pesados são assim denominados em função da alta densidade, variando entre $2,9 \text{ g/cm}^3$ e 21 g/cm^3 , superior a do quartzo e do feldspato. São procedentes de rochas ígneas, sedimentares ou metamórficas que sofreram intemperismo físico e químico. Esses processos causam a desagregação e alteração da composição química e mineralógica das rochas, disponibilizando os minerais detríticos para o transporte por agentes superficiais como rios, vento e águas pluviais. (Silva, 2000).

O estudo dos minerais pesados é uma das técnicas mais sensíveis e amplamente utilizada em estudos de proveniência e dispersão (Morton & Hallsworth, 1999), uma vez que as assembleias formadas são extremamente específicas com relação à composição mineral, sendo também de grande relevância na avaliação do transporte sedimentar (Addad, 2010). Além disso, podem ser usados como traçadores naturais dos sedimentos a partir de uma área-fonte (Clemens e Komar, 1988). Além da importância sedimentológica e estratigráfica, alguns dos minerais possuem alto valor econômico agregado. Uma vez acumulados no ambiente sedimentar através de concentração mecânica, formam depósitos conhecidos como pláceres, podendo ser explorados economicamente (Corrêa *et al.*, 2008).

Os depósitos de minerais pesados estão associados às oscilações do nível do mar no Quaternário. Durante o último evento regressivo, a plataforma continental exposta

foi progressivamente recortada por sistemas fluviais, responsáveis por conectar a bacia de drenagem terrestre aos depocentros de sedimentação. Um complexo sistema de deltas instalou-se na borda da plataforma continental, alimentado pela descarga fluvial. Com a transgressão marinha no final do Pleistoceno e início do Holoceno, os depósitos foram submersos, permanecendo preservados na plataforma continental atual (Weschenfelder *et al.*, 2010).

Na plataforma continental do Rio Grande do Sul foram observadas três áreas com teores elevados de minerais pesados: a primeira, em frente à barra do Rio Grande (teores de até 2,4%), enquanto as demais se encontram ao largo do Farol do Albardão, com teores de minerais pesados superiores a 1% e a 5,4% (Palma, 1979). Em estudo realizado por Corrêa *et al.* (2008), os autores observaram maiores concentrações de minerais na plataforma continental entre Chuí e a desembocadura do rio de La Plata.

Ao analisar a linha de costa do Rio Grande do Sul, é possível observar um aumento nos teores de minerais pesados na direção sul da área (Da Silva, 1979; Siegle e Calliari, 2008; Martins, 2011). Dillenburg *et al.* (2004), ao estudarem o trecho compreendido entre Mostardas e Rio Grande, encontraram uma média de 4,66% de minerais pesados nos depósitos de dunas transgressivas. Os autores ainda sugerem a existência de uma estreita relação entre a formação de grandes depósitos de minerais pesados e a evolução das barreiras costeiras.

1.2.1 Comportamento Hidrodinâmico dos Minerais Pesados

Os primeiros estudos a respeito do comportamento das partículas em meio hídrico consideravam a velocidade de sedimentação como o único modo da sua separação seletiva. Para Rubey (1933), qualquer partícula do mesmo depósito sedimentar teria necessariamente a mesma velocidade de sedimentação. Desta hipótese originou-se o conceito de equivalência hidráulica (Rubey, 1933 *apud* Cascalho, 2000). Já Rittenhouse (1943) passa a considerar a intervenção de um conjunto de fatores que afetam o comportamento das partículas no meio hidrodinâmico. Dentre eles, dimensão granulométrica, forma e densidade. Segundo o autor, a velocidade de sedimentação é

apenas um dos múltiplos aspectos do comportamento das partículas sedimentares em meio hídrico.

Hand (1967) conclui que as diferentes partículas que formam o mesmo depósito não têm velocidades de sedimentação iguais, ou seja, não tem equivalência hidráulica, contrapondo o conceito original descrito por Rubey (1933). O autor ainda apoia a ideia de que a permanência de uma partícula num dado depósito sedimentar é, sobretudo, resultado da não existência de forças capazes de promover o seu movimento.

Lowright *et al.* (1972) afirmam que a susceptibilidade para a entrada em movimento é sempre maior para as partículas de minerais leves do que para as partículas de pesados. De acordo com estes autores, em um mesmo depósito sedimentar, as partículas de minerais pesados tendem a ser de menores dimensões do que minerais leves. Os minerais leves, como são maiores, são facilmente transportados, enquanto que os pesados, em virtude das suas mais reduzidas dimensões, não o são. Komar e Wang (1984), ao estudarem as condições que levam à formação de plácemes de minerais pesados nas praias do Oregon, estabeleceram fatores de concentração para as espécies minerais, que exprimem a maior ou menor tendência que cada espécie tem para constituir um depósito do tipo plácer.

Na costa do Rio Grande do Sul, os minerais pesados concentram-se em manchas na região no pós-praia e nas adjacências de sangradouros. O mecanismo inicial para a concentração de minerais pesados se dá em períodos de tempestades. Quando o sedimento entra em movimento na zona de arrebentação, devido à grande energia existente, é geralmente colocado em suspensão sendo transportado em direção a terra. O *swash*, com maior velocidade e poder de transporte, carrega o material sedimentar. À medida que a onda se propaga, a energia diminui, o que possibilita a deposição gradual das partículas. Sendo assim, o movimento de *backwash*, por apresentar menor velocidade, torna-se um agente selecionador, levando os minerais mais leves essencialmente por tração, e deixando os minerais mais densos. Como os minerais pesados exigem elevados valores de velocidade para serem transportados (por tração), é natural que tenham tendência para formar depósitos residuais (Cascalho, 2000).

O vento também atua de forma significativa na concentração de minerais pesados, visto que na planície do Rio Grande do Sul, é constante em todas as épocas do

ano. Uma vez depositados no pós-praia, o vento passa a transportar os minerais mais leves em direção às dunas, reconcentrando o depósito formado anteriormente (Da Silva, 1979).

Além dos minerais trazidos da plataforma continental e depositados no pós-praia, as ondas e correntes também erodem as dunas frontais em períodos de tempestade. Os minerais sedimentados nas dunas são retrabalhados e redepositados no pós-praia, formando assim depósitos estreitos, alongados e poucos espessos, mas de altíssimo teor. O depósito eólico, ápice do processo seletivo de minerais pesados, entretanto, não sofre perdas significativas, uma vez que estes minerais retornam ao campo eólico também por ação do vento logo que sejam restabelecidas às condições de equilíbrio (Munaro, 1994).

1.3 Parâmetros Granulométricos e Caracterização da Dinâmica Ambiental

A costa do Rio Grande do Sul é caracterizada por uma longa barreira arenosa, representada pelo sistema deposicional mais recente denominado Laguna- Barreira IV, de formação Holocênica. O material arenoso encontrado na região apresenta textura constante ao longo do litoral, predominantemente quartzoso, sendo de granulometria fina, bem selecionado e com assimetria negativa (Martins, 1967). Entretanto, podem ser observadas importantes variações laterais na granulometria. Próximo ao molhe oeste, na Praia do Cassino, encontra-se o tamanho médio mais fino de grão, graças à influência da Lagoa dos Patos. Já nas proximidades do Navio Altair, há um aumento significativo na granulometria (Figueiredo e Calliari, 2006). Deve ser considerado ainda a ocorrência localizada de sedimentos grossos (areia e cascalho biodetríticos) ao sul do Farol do Albardão (Concheiros).

Estas variações granulométricas são as principais responsáveis pela variabilidade dos estágios morfodinâmicos. Devido a isso, é possível observar nas proximidades da Barra de Rio Grande características dissipativas, enquanto a região dos Concheiros

apresenta características intermediárias a reflectivas e, as demais regiões, características intermediárias (Calliari e Klein, 1993).

Os parâmetros estatísticos de tamanho de grão são métodos utilizados na avaliação de dispersão sedimentar, como também na distinção da forma efetiva dos mecanismos deposicionais (Martins, 2003). Sedimentos finos como silte e argila tendem a se depositar em ambientes com baixa energia de ondas, enquanto ambientes de alta energia tendem a ser caracterizados por partículas de tamanho areia. Entretanto, a ocorrência de eventos de alta energia, como tempestades, tendem a depositar sedimentos mais grossos e menos selecionados (Komar, 1998).

Aspectos sedimentológicos e suas inter-relações com a morfodinâmica costeira no Rio Grande do Sul são alvo de estudos desde a década de 50 (Martins, 2006), o que reflete a importância dos parâmetros estatísticos dos sedimentos no estudo dos ambientes. Entre eles, podem ser citados Martins (1967), Calliari e Klein (1993), Siegle e Calliari (2008), Nicolodi *et al.* (2002), Figueiredo e Calliari (2006).

A variação na energia das ondas antes e após a ocorrência de eventos de alta energia pode induzir a mudanças granulométricas ao longo das praias, assim como na concentração de minerais pesados e nas características morfológicas do perfil praial e dunas frontais. Na área de estudo já foram desenvolvidos trabalhos referentes à análise de características granulométricas e mineralógicas, bem como a identificação de padrões sinóticos responsáveis pela erosão e diferenciação morfo-sedimentar. Entretanto, trabalhos que analisem estas variáveis em conjunto ainda são escassos, podendo ser citado o de Siegle e Calliari (2008). Diante do exposto, este trabalho procura analisar possíveis variações laterais nas características morfo-sedimentares das praias do extremo sul do RS.

1.4 Hipótese

Eventos de alta energia modificam a distribuição granulométrica e mineralógica das praias favorecendo a concentração de minerais pesados no pós-praia.

2. OBJETIVOS

2.0 Objetivo Geral

Investigar a variabilidade lateral no teor de minerais pesados e nos parâmetros granulométricos associados à ocorrência de eventos de alta-energia, causados por ventos intensos e ondas com grande energia, em um trecho de praia no extremo sul do RS.

2.1 Objetivos Específicos

1. Investigar a relação entre os parâmetros granulométricos e a distribuição dos depósitos de minerais pesados associados aos eventos de alta energia analisados.
2. Analisar a variação de volume sedimentar na região subaérea entre os perfis topobatimétricos de praia, relacionando-a com o teor médio de minerais pesados encontrado por coleta.
3. Determinar a relação entre a concentração de minerais pesados e as características do evento, como trajetória e local de formação, assim como com os padrões de erosão impressos na costa.
4. Analisar os sedimentos através de parâmetros granulométricos e índices mineralógicos os quais podem indicar a direção do transporte sedimentar ao longo da costa.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização

A área em estudo localiza-se na região sul do estado do Rio Grande do Sul/Brasil. Está compreendida entre o local conhecido como Hotel Abandonado (ponto Hotel), à aproximadamente 40 km ao norte do Balneário Hermenegildo (ponto Hermenegildo) e o ponto Chuí, 5 km ao sul (Figura 1).

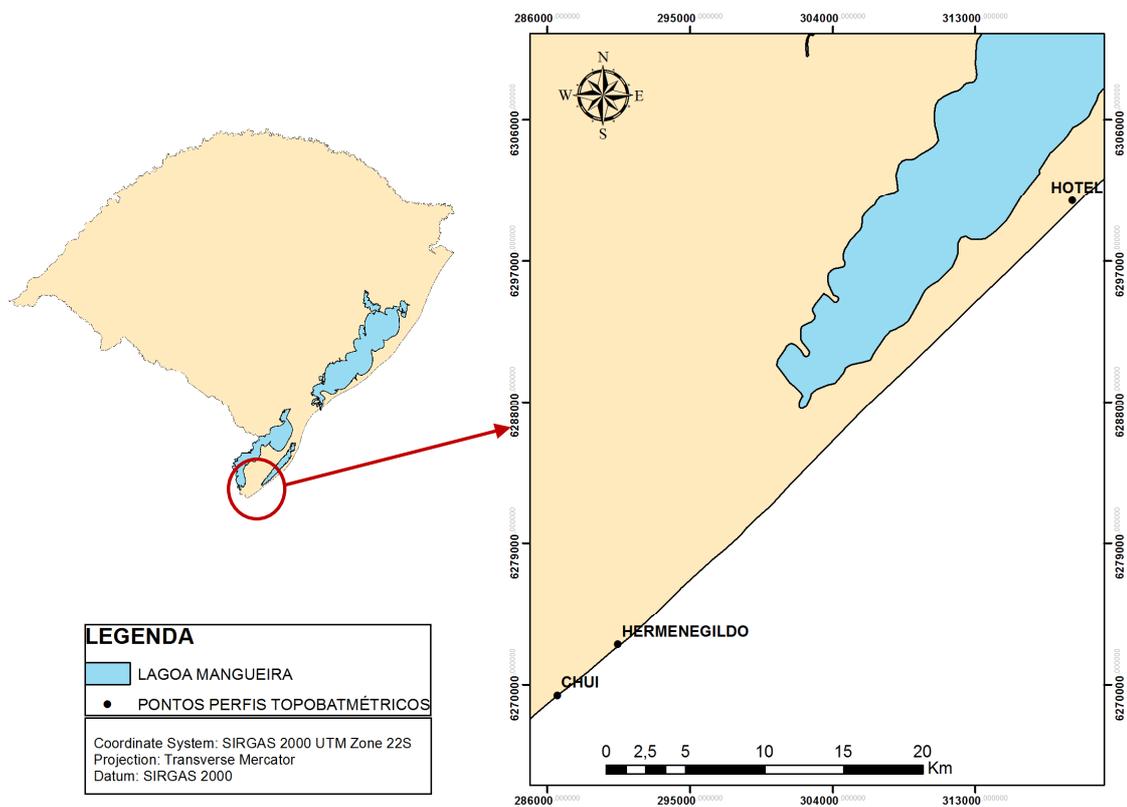


Figura 1-Localização da área de estudo, ao sul do Rio Grande do Sul.

3.2 Contexto Geológico

O complexo geológico na qual está inserido o estado do Rio Grande do Sul é composto pelas seguintes províncias: Escudo Sul-Rio-Grandense, Depressão Central Gaúcha, Planalto das Araucárias e Planície Costeira. O escudo localiza-se na região centro-sul do estado, tendo como principal sistema de drenagem o Rio Camaquã. É constituído por um complexo ígneo e metamórfico e por rochas sedimentares e vulcânicas. A Depressão Central Gaúcha, de idade paleozóica, situa-se entre o escudo e o planalto basáltico. Sedimentos clásticos terrígenos oriundos do escudo chegam à depressão onde, sob a ação dos processos costeiros, acumulam-se em ambientes deposicionais transicionais e marinhos. (Tomazelli *et al.*, 2000).

Nas regiões norte e nordeste do estado encontra-se a Bacia do Paraná, a qual faz parte do planalto. A formação do planalto está associada a uma sucessão de derrames de rochas vulcânicas, com diversos derrames basálticos e riolíticos, constituindo a Formação Serra Geral. Segundo Da Silva (1976), minerais liberados devido à erosão de rochas-fonte foram introduzidos nas formações sedimentares pleistocênicas que se desenvolveram durante as fases transgressivo-regressivas do nível do mar, sendo incorporados às areias de praia à medida que a planície costeira evoluía.

A área de estudo localiza-se na Planície Costeira do Rio Grande do Sul. De acordo com Tomazelli e Villwock (2005), os depósitos aflorantes desta planície acumularam-se em sistemas deposicionais específicos, desenvolvidos no final do Terciário, e principalmente durante o Quaternário: 1) um sistema de leques aluviais ocupando uma faixa contínua ao longo da parte mais interna da planície costeira e, 2) quatro distintos sistemas deposicionais transgressivo-regressivos do tipo laguna-barreira (Figura 2). A atual linha de costa é representada pelo sistema deposicional mais recente denominado Laguna-Barreira IV, de idade Holocênica (+-5000 anos), originada a partir da última grande transgressão pós-glacial. Segundo Martins (1967), o material arenoso apresenta textura constante ao longo do litoral, sendo de granulometria fina, bem selecionado e com assimetria negativa, com modificações significativas na granulometria na região adjacente à Lagoa dos Patos e nas proximidades do Farol do Albardão

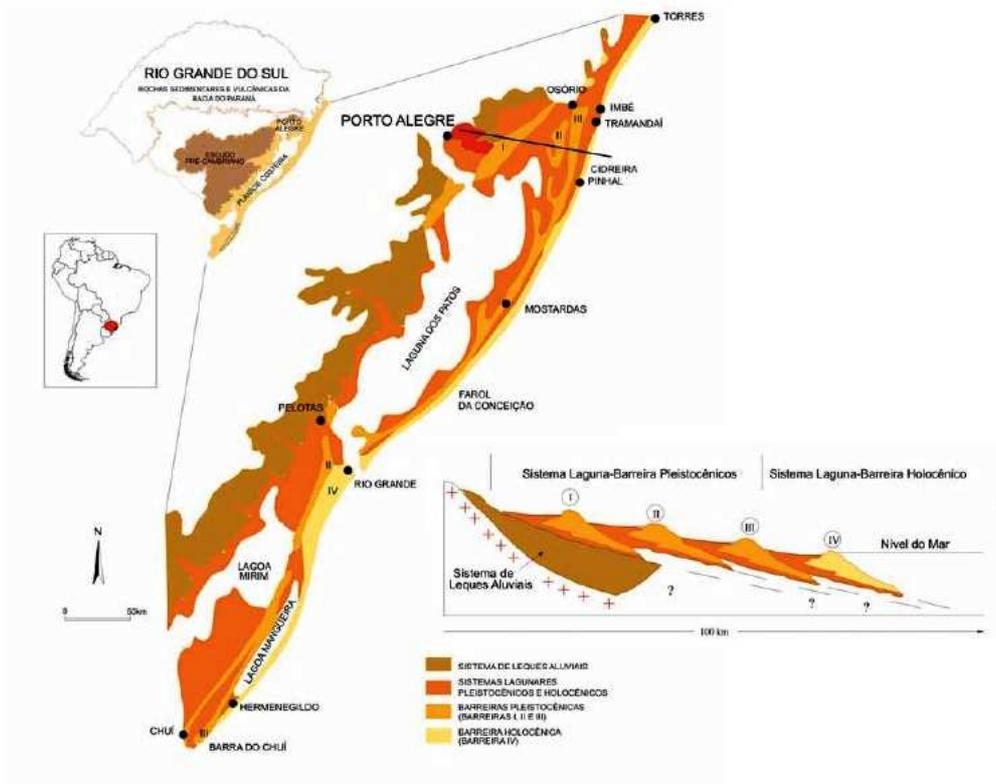


Figura 2: Localização e mapa geológico simplificado da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (Modificado de Tomazelli e Villwock, 2000).

Dillenburg *et al.* (2004) elaboraram um modelo de evolução da barreira do Bujuru- RS. Inicialmente, os depósitos da planície costeira foram reciclados durante a transgressão marinha pós-glacial e os minerais pesados incorporados à barreira transgressiva. Houve um recuo da barreira devido ao efeito das ondas, mesmo sob uma lenta e pequena queda do nível do mar, que erodiu e reciclou uma grande quantidade de sedimentos do substrato pleistocênico, sobre o qual a barreira retrogradou. Ventos carregaram areia praial enriquecida com minerais pesados. Areias quartzosas foram se depositando na depressão lagunal interbarreira, produzindo um grande depósito de dunas transgressivas, contendo uma média de 4,66% de minerais pesados.

Da Silva (1979), analisou amostras de sedimento da região do pós-praia no trecho compreendido entre a Praia do Cassino e o Chuí. Os resultados mostraram um predomínio dos minerais opacos (ilmenita, magnetita, entre outros), sendo que a maior

concentração de minerais pesados ocorreu em um trecho 10 km ao norte do Hermenegildo, estendendo-se até o Chuí. Os demais minerais oscilam em torno de uma mesma faixa de porcentagem, mostrando apenas ligeiro aumento em direção ao sul. A autora ainda atribui à proveniência da assembleia mineralógica às rochas do Escudo Sul- Rio-Grandense e aos basaltos da formação Serra Geral.

Martins (2011) analisou os sedimentos em intervalos regulares de 20 km ao longo da costa do RS. A maior concentração de minerais pesados ocorreu ao sul da área de estudo e chegou ao valor máximo de 4,75%, diminuindo em direção ao norte. A autora ainda atribui a maior abundância de minerais pesados ao sul à proximidade da área ao Escudo Sul Rio- Grandense e ao Escudo Uruguaio, áreas-fonte de minerais mais estáveis, tais como as granadas, turmalinas, zircões e estaurolitais.

3.3 Ondas

A costa do Rio Grande do Sul pode ser classificada como uma costa tipicamente dominada pela ação das ondas, classificadas em três tipos diferentes quanto a sua ocorrência: (1) ondulações (*swell*), vagas (*sea waves*) e ondas de tempestade (*storm waves*). As ondulações, caracterizadas pela regularidade, período mais longo e maior poder de transporte de sedimento provêm, sobretudo, do quadrante sudeste (Motta, 1969; Tomazelli e Villwock, 1992). Já as vagas, resultantes da ação de ventos locais, apresentam direção predominante de leste-nordeste (Motta, 1969). As ondas de tempestade, de maior energia, resultam da ação de fortes ventos associados a tempestades que ocorrem dentro ou próximo à região costeira. Oriundas do quadrante sul, podem causar importantes impactos na costa, como alterações morfológicas (Calliari *et al.* 1998) e sedimentares (Siegle e Calliari, 2008).

Coli (2000) definiu a onda característica da região como tendo altura significativa entre 1,0 e 1,5m e período entre 5 e 6 s. Sob um aspecto sazonal, as ondas do quadrante leste foram mais frequentes durante o verão e a primavera. Já durante os meses de inverno e outono as ondas mais frequentes eram provenientes do quadrante sul. Pianca *et al.* (2010) constataram que nas adjacências do Rio Grande do Sul durante o verão a ondulação provém de nordeste (28,4%), com alturas entre 1 e 2m e períodos

entre 6 e 8s, e de sul (26,7%), com alturas de 1 a 3 m e períodos de 8 a 12s. No outono e no inverno, a ondulação dominante vem de sul (36,7%), com alturas entre 2 e 3 m e períodos entre 10 e 12s. Já na primavera as ondas de nordeste voltam a prevalecer.

3.4 Marés

De acordo com classificação proposta por Davies (1980), a costa do Rio Grande do Sul é do tipo micromaré, com amplitude média de 0,31 m (Möller *et al.*, 1996) devido à proximidade com dois pontos anfidrômicos no Atlântico Sul. Entretanto, elevações frequentes do nível do mar da ordem de 1 a 2 m, originadas por marés meteorológicas, causam alterações morfológicas (Calliari *et al.*, 1998) e sedimentares (Siegle e Calliari, 2008) devido à alta energia das ondas associadas à tempestades do quadrante sul. Goulart (2014), ao analisar eventos de inundação na Praia do Cassino, concluiu que os mesmos apresentam maior relação com variáveis como ondas, ventos e gradiente local de pressão do que com a maré astronômica.

3.5 Deriva litorânea de sedimentos

A transferência lateral de sedimentos, ou *deriva litorânea*, ocasionada principalmente pela incidência de ondas oblíquas à linha de costa, caracteriza-se como um dos mais importantes fatores responsáveis pela configuração das praias. No Rio Grande do Sul, observa-se um fluxo principal de sedimento de sudoeste a nordeste, embora haja um fluxo secundário de nordeste para sudoeste (Motta, 1969; Fontoura, 2004).

A abordagem de deriva litorânea através de indicadores geomorfológicos é considerada por alguns autores mais vantajosa e precisa quando comparada a medidas diretas realizadas em campo (Schwartz, 1982; Terence, 2013). Ao observar às desembocaduras não estabilizadas de lagunas, rios e sangradouros, é possível inferir

através do deslocamento do fluxo, o sentido da deriva resultante (Tomazelli e Villwock, 1992).

Evidências do sentido de transporte sedimentar na região podem ser observadas pelo acentuado aumento na largura da Praia do Cassino na área adjacente ao molhe oeste, enquanto o norte, na praia do Mar Grosso, está submetido à erosão (Calliari, 1980; Long e Paim, 1987). Ao quantificar alterações da linha de costa nas praias oceânicas adjacentes às principais desembocaduras do Rio Grande do Sul, Lélis e Calliari (2006) encontrou o mesmo padrão na desembocadura do Rio Mampituba, em Torres.

Há também indícios da deriva litorânea, com resultante para NE, na composição das areias do pós-praia, ao longo do litoral médio do RS. Em estudo sobre minerais pesados na região, Barros *et al.* (2005) observaram que a concentração desses minerais decrescia de sul para norte.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Amostragem geológica e perfis topobatimétricos

As saídas de campo foram planejadas com base no modelo global *Global Forecast System- GFS* com 50 km de resolução e em análise visual de cartas de superfície disponibilizadas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Foram observados parâmetros como altura de onda, acima de 2 m, e ventos intensos, acima de 15 nós, provenientes do quadrante sul, bem como os períodos de entrada de frentes frias.

Após a ocorrência do evento, foram coletadas amostras superficiais de sedimento da região do pós-praia, em intervalos de 5 km, no trecho compreendido entre os pontos denominados Hotel (ponto 0 km) e Chuí (ponto 45 km) (Figura 3).

Foram realizados perfis topobatimétricos transversais à linha de costa, com o auxílio de uma Estação Total Nikon DTM-330 e um prisma óptico, seguindo o mesmo

alinhamento de cada marco. Os perfis foram realizados nos pontos denominados Hotel, Hermenegildo e Chuí. Foi utilizado um nível de referencia local para cada ponto. Os níveis foram estabelecidos como o nível médio do mar durante as amostragens e foram calculados através de média entre o *swash* superior e inferior observados, sendo 8,81 m, 4,38 m e 4,08 m de elevação, respectivamente. Nestes locais, foram coletados testemunhos de 30 cm e 50 cm, no mesmo alinhamento do perfil.



Figura 3: Amostragem de sedimento na região do pós- praia

4.2 Dados de Reanálise

Para caracterizar as condições atmosféricas do evento, foi utilizado o Banco de dados do Projeto Reanálise R-1 do NCEP/NCAR (*National Centers for Environmental Prediction*) (Kalnay *et al.*, 1996), disponível no link www.cdc.noaa.gov. As variáveis utilizadas nas análises foram as componentes do vento (meridional e zonal) e a pressão atmosférica ao nível médio do mar. A resolução temporal analisada foi de 6 horas (0000, 0600, 1200, 1800 UTC), limitados entre 70°S- 20°S e 100°W-0°W.

4.3 Análises granulométricas

Foi aplicada no processamento das amostras a metodologia tradicionalmente utilizada em análises de sedimento (Folk e Ward, 1957). As amostras foram lavadas para a retirada dos sais e posteriormente secas em estufa para a retirada da umidade. Em seguida, foram quarteadas em porções de 30g e peneiradas em intervalos de 1 ϕ . Após a obtenção dos pesos em cada intervalo granulométrico, foi possível classificar as amostras quanto ao tamanho das partículas que as compõem.

Após esta etapa, as amostras passaram por um processo de retirada de carbonatos através da adição de ácido clorídrico, sendo posteriormente lavadas e secas. Os parâmetros estatísticos analisados foram o diâmetro médio, desvio padrão (grau de seleção) e assimetria.

4.3.1 Análise Estatística

Foram realizadas análises de correlação entre o diâmetro médio e o desvio padrão e entre o diâmetro médio e a assimetria, bem como entre estes parâmetros e o teor de minerais pesados, tanto ao longo da área de estudo quanto entre coletas. Este método também foi utilizado para inferências entre o volume do pacote sedimentar subaéreo entre os pontos onde foram realizados perfis topobatimétricos e entre esses dados e o teor médio de minerais pesados encontrados em cada coleta.

Na análise de correlação, o coeficiente de correlação linear de Pearson (r) é a medida numérica da força da relação entre duas variáveis, que representam dados quantitativos. Foram aceitas as análises com nível de significância (p) igual ou inferior a 0,05.

4.4 Mineralogia de pesados

Concluída a etapa anterior, deu-se início à concentração de minerais pesados. Para tanto, foram pesadas alíquotas de 50 g de cada amostra, as quais foram submetidas à separação por meio denso através da utilização de bromofórmio (CHBr_3 , $d=2,89 \text{ g/cm}^3$ a 20° C). Neste procedimento, os minerais pesados concentram-se na parte inferior da pera de decantação, enquanto os leves ficam na superfície. Em seguida, as amostras foram lavadas com álcool etílico para retirada do bromofórmio e secas em estufa.

Após a concentração dos minerais pesados, as amostras foram pesadas em balança de precisão para quantificação. Para a identificação da assembleia mineralógica foi utilizada apenas a fração areia muito fina de cada amostra (3- 4 Φ). Após a separação, as amostras passaram por um procedimento para a retirada da magnetita, com a utilização de um imã de mão, sendo então submetidas ao separador isomagnético Frantz, com o intuito de separar as frações em diferentes intervalos de susceptibilidade magnética. Os pesados foram identificados em lupa binocular e sua percentagem calculada com base na contagem de 100 grãos.

4.4.1 Análise Estatística

Dentro da Análise Multivariada, a qual representa um conjunto de métodos estatísticos em que o objeto em estudo é caracterizado por uma multiplicidade de variáveis, optou-se pela Análise de Componentes Principais. Ao utilizar a ACP no estudo da composição mineralógica de sedimentos arenosos, é possível partir da análise de muitas espécies de minerais e com apenas alguns componentes explicar a maior parte da variância dos dados.

4.5 Índices Mineralógicos

Foram calculados índices mineralógicos baseados em pares de minerais que apresentam o maior número de características similares e/ou contrastantes, para que haja a possibilidade de isolamento de um fator de controle específico. Estes índices são utilizados para avaliar padrões de transporte sedimentar, mudanças nas fontes de sedimentos e ainda o intemperismo desde a época da deposição destes minerais. Segundo Guedes *et al.* (2011) e Terence (2013), os índices mineralógicos são importantes ferramentas na avaliação do transporte sedimentar.

Os índices AB (AB_i, sendo A e B os minerais em questão) são calculados de acordo com a equação (1) :

$$AB_i = \frac{A}{(A + B)} \times 100$$

Com o objetivo de determinar o sentido do transporte sedimentar, foram calculados os índices TZ_i (turmalina/zircão), GS_i (granada/silimanita) e GC_i (granada/cianita) (Morton e Hallsworth, 1994).

5. RESULTADOS

As coletas foram realizadas nos dias 19/06/2013, 15/08/2013, 13/11/2013, 29/01/2014, 02/07/2014, 28/07/2014 e 18/08/2014, em no máximo 5 dias após a observação da ocorrência do evento.

5.1 Parâmetros Granulométricos

5.1.1 Diâmetro

O diâmetro das amostras analisadas variou entre 2,21 Φ e 2,73 Φ (Figura 4) o que as inclui na classe granulométrica areia fina. Ao analisar a distribuição longitudinal do diâmetro ao longo da área em estudo, não foi possível observar uma tendência. O

diâmetro médio de grão encontrado para os pontos coletados foram 2,47 Φ , 2,46 Φ , 2,43 Φ , 2,38 Φ , 2,46 Φ , 2,45 Φ , 2,45 Φ , 2,53 Φ , 2,40 Φ , 2,54 Φ , sendo o 1º valor correspondente ao ponto denominado 0 km, o segundo valor correspondente ao ponto 5 km e assim sucessivamente. Foram observados picos nos pontos 15 km e 40 km (maiores diâmetros médios) e nos pontos 35 km e 45 km (menores diâmetros médios) (Figura 5A).

Ao analisar as coletas individualmente, pode-se observar uma diminuição no tamanho médio de grão. Sendo assim, as médias observadas foram 2,39 Φ , 2,40 Φ , 2,43 Φ , 2,47 Φ , 2,50 Φ , 2,51 Φ , 2,52 Φ , sendo o primeiro valor correspondente a 1º coleta (19/06/2013), o segundo valor correspondente a 2º coleta (15/08/2013) e assim em diante (Figura 5B).

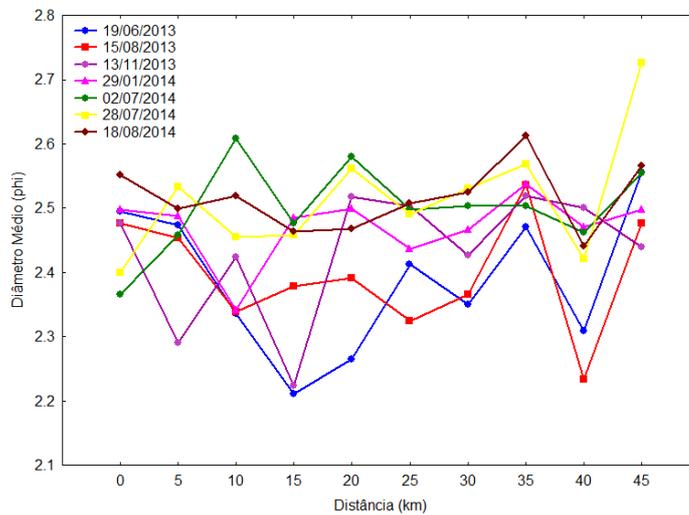


Figura 4: Diâmetro de grão ao longo da área de estudo entre as coletas.

A

B

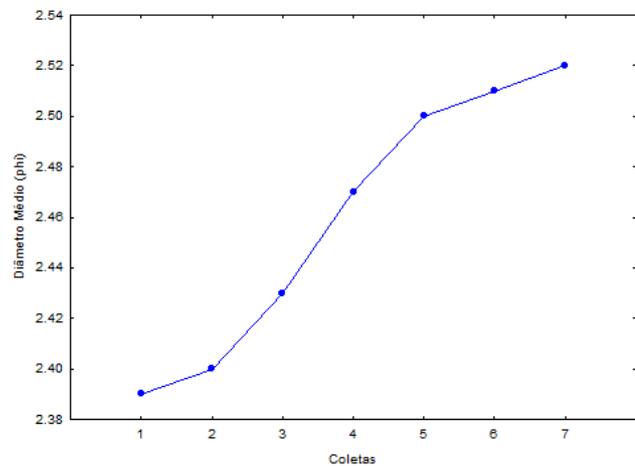
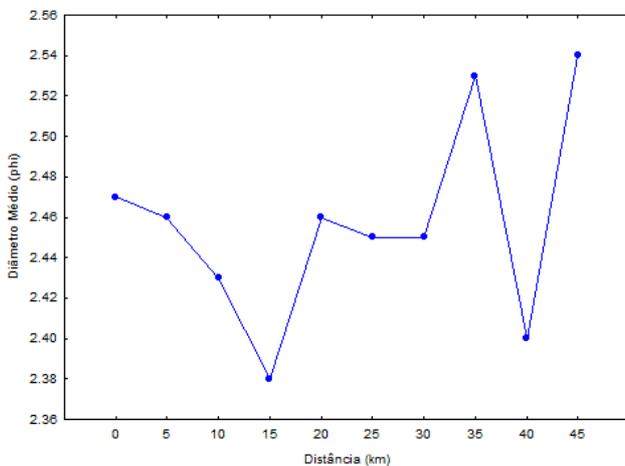


Figura 5: Diâmetro médio de grão ao longo da área de estudo (figura A) e entre as coletas (figura B).

5.1.2 Desvio Padrão

O desvio padrão das amostras analisadas variou entre 0,33 Φ e 0,74 Φ (Figura 6) sendo que 52,86% das amostras foram classificadas como bem selecionadas, 37,14% moderadamente selecionadas e 10% delas, muito bem selecionadas, de acordo com a classificação de Folk e Ward (1957). O desvio padrão médio encontrado para os pontos coletados foi 0,49 Φ , 0,46 Φ , 0,53 Φ , 0,48 Φ , 0,52 Φ , 0,40 Φ , 0,42 Φ , 0,43 Φ , 0,45 Φ e 0,50 Φ , sendo o 1º valor correspondente ao ponto denominado 0 km e os demais aos pontos sucessivos. Foram observados picos nos pontos 25 km e 30 km (menor desvio padrão médio) e nos pontos 10 km, 20 km e 45 km (maior desvio padrão médio) (Figura 7A).

Ao analisar as coletas individualmente, os valores médios observados foram 0,49 Φ , 0,49 Φ , 0,45 Φ , 0,46 Φ , 0,48 Φ , 0,45 Φ e 0,45 Φ , sendo o primeiro valor correspondente a 1º coleta (19/06/2013) e os demais às coletas consecutivas. Foram observados picos na 1º e 2º coletas (maior desvio padrão médio) e na 3º, 6º e 7º coletas (menor desvio padrão médio) (Figura 7 B).

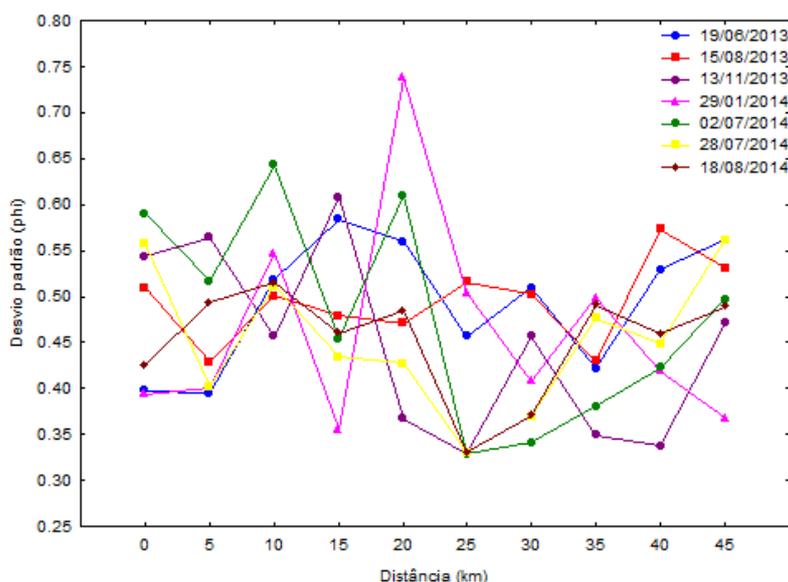


Figura 6: Desvio padrão ao longo da área de estudo entre as coletas.

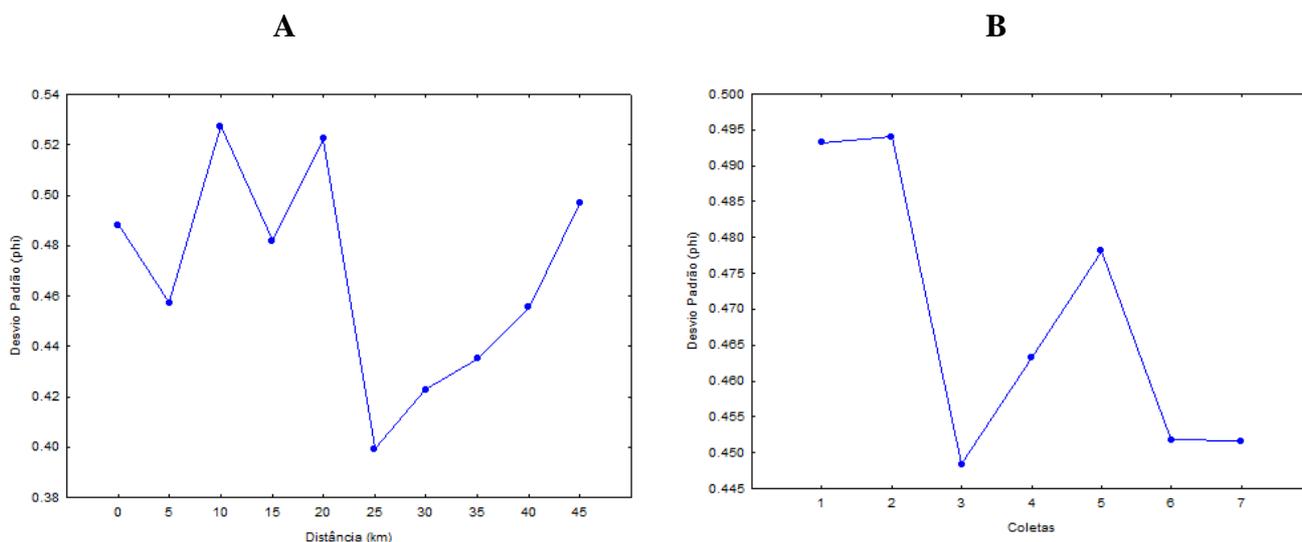


Figura 7: Desvio padrão médio ao longo da área de estudo (figura A) e entre as coletas (figura B).

5.1.3 Assimetria

A assimetria variou entre 0,25 e -0,27 (Figura 8), na qual 38,57% das amostras analisadas foram classificadas como aproximadamente simétricas, 48,57% apresentaram assimetria negativa e 12,86%, assimetria positiva, conforme a classificação proposta por Folk e Ward (1957). A assimetria média encontrada para os pontos coletados foi de -0,05, -0,09, -0,13, -0,17, -0,04, -0,09, -0,08, 0,07, -0,16 e 0,04, sendo o 1º valor correspondente ao ponto denominado 0 km, e assim sucessivamente. Foram observados picos nos pontos 15 km e 40 km (assimetria negativa) e nos pontos 35 km e 45 km (assimetria positiva).

Ao analisar as coletas individualmente, os valores médios observados foram -0,17, -0,14, -0,10, -0,09, -0,03, 0,02 e 0,01, sendo o primeiro valor correspondente a 1º coleta (19/06/2013), e os demais as coletas seguintes. Foram observados picos na 1º e 2º coletas (assimetria negativa) e na 6º e 7º coletas (assimetria positiva).

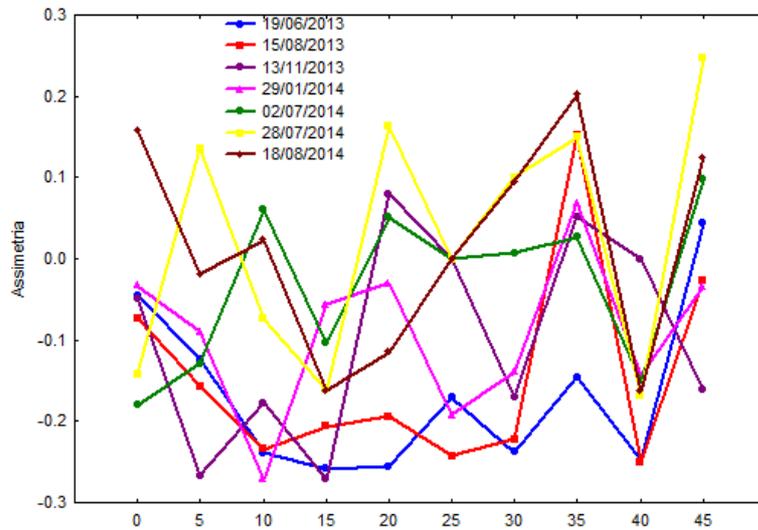


Figura 8: Assimetria ao longo da área de estudo entre coletas.

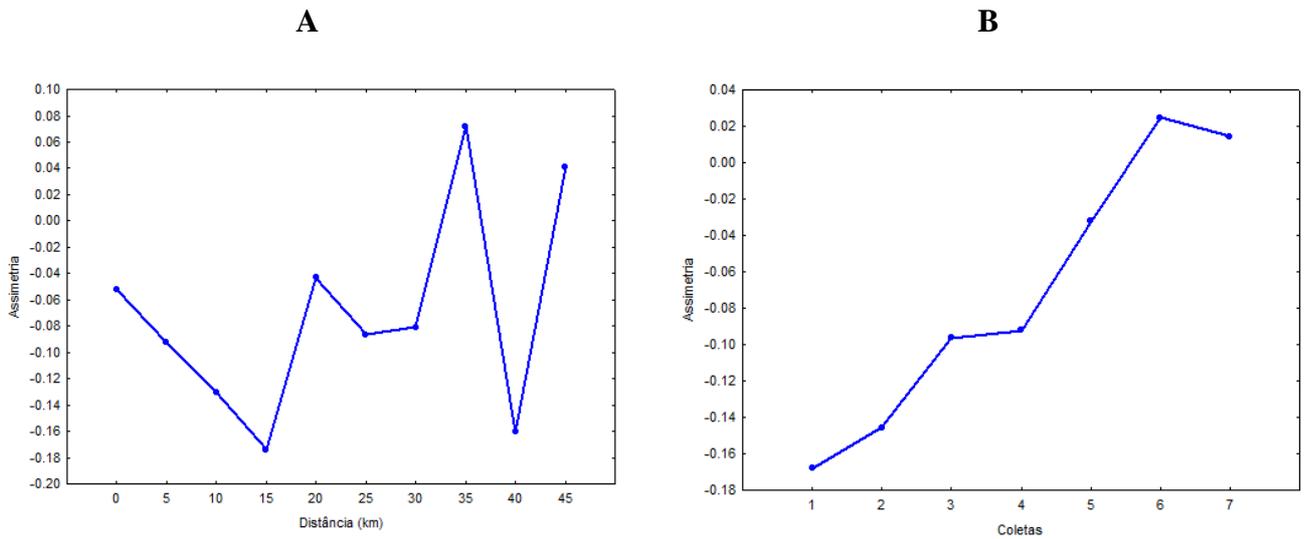


Figura 9: Assimetria média ao longo da área de estudo (figura A) e entre as coletas (figura B).

5.2 Perfis Topobatimétricos

Foram realizados 7 perfis topobatimétricos entre junho de 2013 e agosto de 2014, nos pontos denominados Hotel, Hermenegildo e Chuí. Referente ao ponto Hotel, pode-se observar um máximo erosivo na 6ª coleta (28/07/2014) e um máximo acréscimo na 2ª coleta (15/08/2013) (Figura 10). O local é caracterizado por uma extensa região denominada leque de sobrelavagem. Com isso, a linha d'água encontra-se consideravelmente afastada do campo de dunas permanente, que não sofrem erosão.

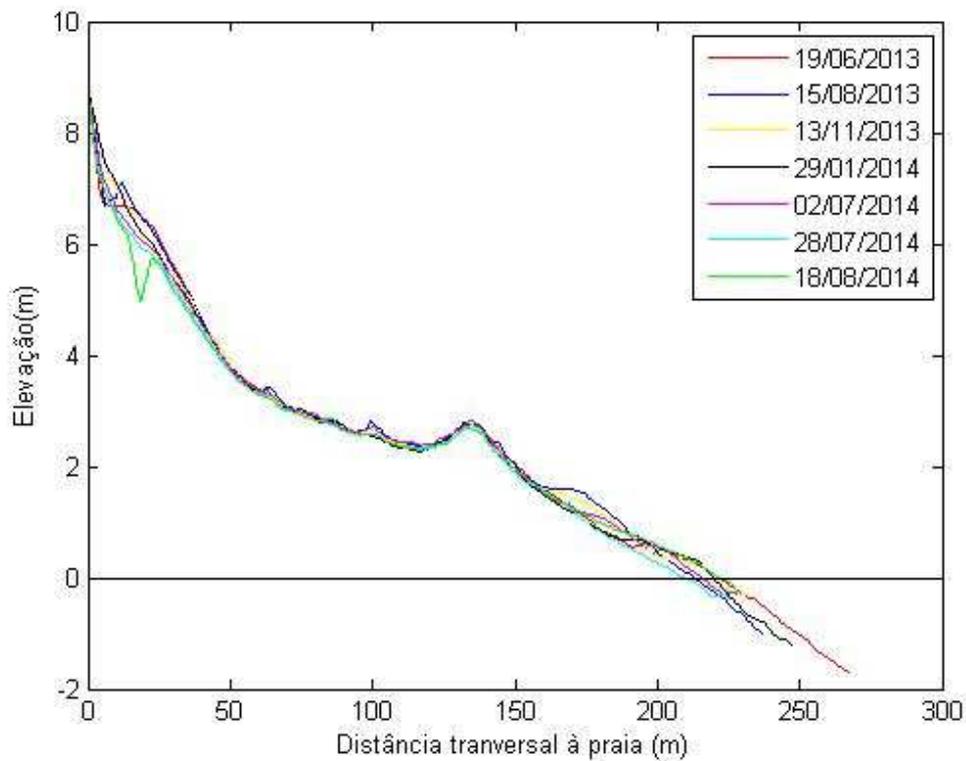


Figura 10: Variação topobatimétrica referente ao ponto Hotel.

Já o ponto Hermenegildo teve seus máximos erosivos na 1ª (19/06/2013) e 6ª coleta (28/07/2014), enquanto os perfis de maior acresção ocorreram na 2ª (15/08/2013) coleta e 3ª coleta (13/11/2013) (Figura 11). Uma observação importante a ser feita sobre o local de realização deste perfil é que o marco encontra-se sobre uma construção de concreto, e por isso é observado um declive acentuado no perfil até aproximadamente 1,5 m. Grande parte da região urbanizada à beira-mar apresenta algum tipo de estrutura de contenção contra erosão, o que limita ou impede processos de troca entre o sistema praia-duna.

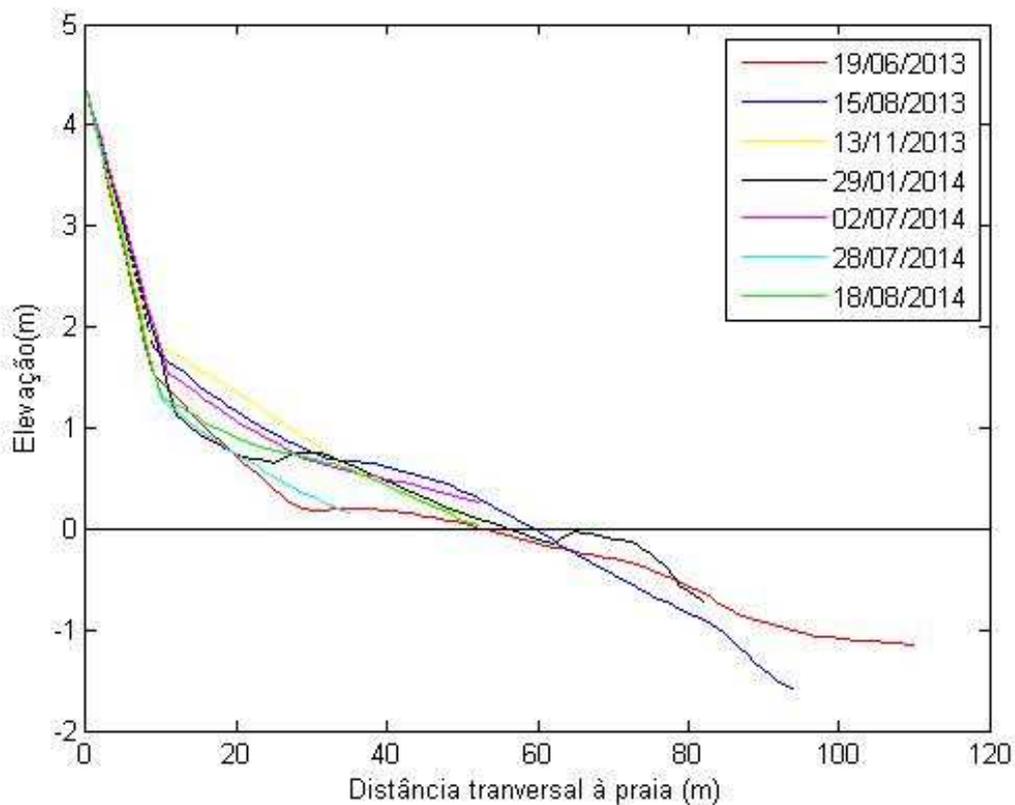


Figura 11: Variação topobatimétrica referente ao ponto Hermenegildo.

O ponto Chuí apresentou seu máximo erosivo na 6ª coleta (28/07/2013) e seu máximo acrescivo na 2ª coleta (15/08/2013) (Figura 12). Este local encontra-se próximo ao Balneário Hermengildo, embora fora da região urbanizada. É possível observar um campo de dunas preservado, assim como uma região de pós-praia, que permitem interações entre o sistema praia-duna, diferentemente do ponto Hermengildo.

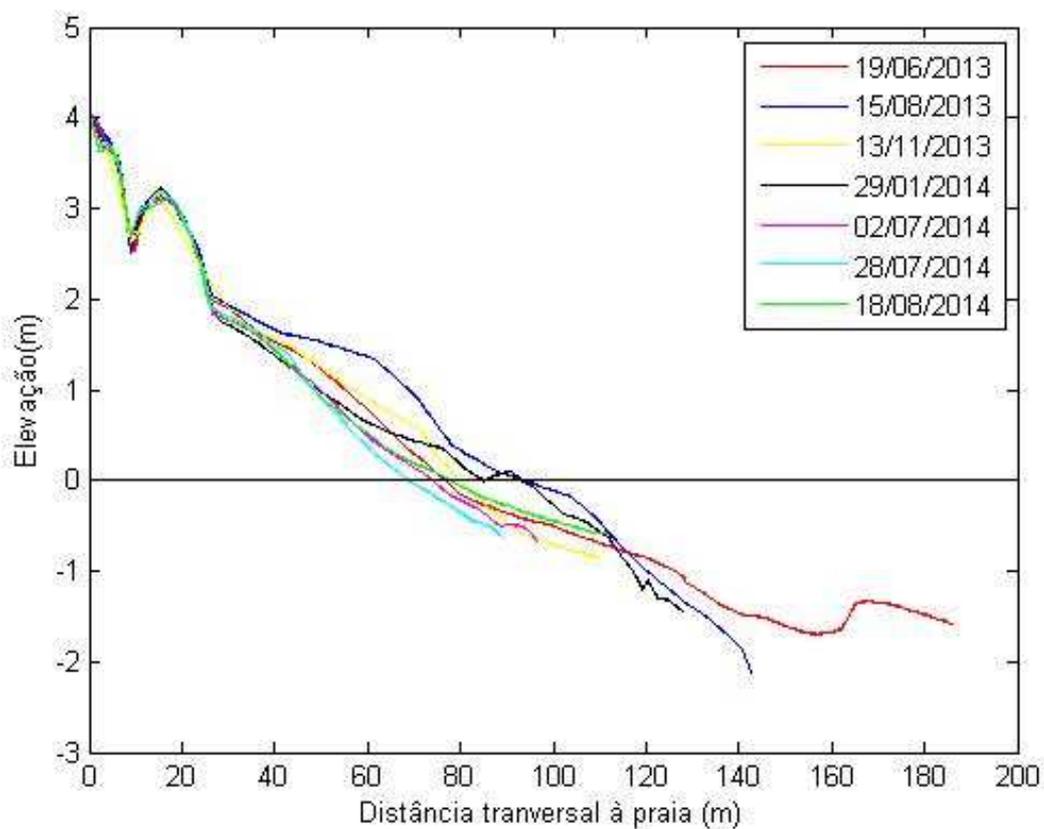


Figura 12: Variação topobatimétrica referente ao ponto Chuí.

5.3 Variações no Pacote Sedimentar

No que diz respeito a variações no pacote sedimentar, foram calculados os volumes de sedimento da região subaérea da praia nos pontos amostrados. Pode-se observar que para os pontos Hotel e Chuí, os eventos atuaram de forma similar: uma diminuição/aumento no volume sedimentar observada em um dos pontos foi verificado no outro. Entretanto, para o ponto Hermenegildo isso não foi observado, ou seja, o local respondeu de forma diferente frente aos eventos analisados (Tabela 1).

Tabela 1: Volume sedimentar subaéreo observado durante as coletas (m^3/m).

Pontos	1° Coleta	2° Coleta	3° Coleta	4° Coleta	5° Coleta	6° Coleta	7° Coleta
Hotel	631,9	645,2	633,9	630,7	630,2	607,5	613,8
Hermenegildo	42,9	65,3	64	55,6	60,2	43,6	53,7
Chuí	136,8	158,4	140,4	135	128,7	126,8	128,1

Sabendo-se da importância das características antecessoras do perfil para quantificação dos processos erosivos e na ausência desses dados, optou-se por considerar a média do volume sedimentar para cada local como base para o cálculo da erosão observada por evento. Sendo assim, os valores médios de volume sedimentar subaéreos considerados foram $627,61 m^3/m$ (Hotel), $55,06 m^3/m$ (Hermenegildo) e $136,33 m^3/m$ (Chuí). A partir desses dados, foram obtidas as seguintes variações de volume sedimentar observadas por evento.

Tabela 2: Variações de volume sedimentar observada em relação ao volume sedimentar subaéreo médio (m^3/m)

Pontos	1° Coleta	2° Coleta	3° Coleta	4° Coleta	5° Coleta	6° Coleta	7° Coleta
Hotel	4,3	17,6	6,3	3,1	2,6	-20,1	-13,8
Hermenegildo	-12,1	10,3	8,9	0,6	5,1	-11,4	-1,4
Chuí	0,5	22,1	4	-1,3	-7,6	-9,5	-8,2

Tozzi e Calliari (1999) analisaram a influência das tempestades sobre o estoque subaéreo das praias entre Rio Grande e Chuí. A partir dos padrões encontrados, classificou a intensidade das tempestades levando em consideração a variação do volume sedimentar. Sendo assim, valores menores que $10\text{m}^3/\text{m}$ foram classificados como impacto baixo; entre $10\text{ m}^3/\text{m}$ e $20\text{ m}^3/\text{m}$ foram classificados como impacto moderado; entre $20\text{ m}^3/\text{m}$ e $50\text{ m}^3/\text{m}$ como impacto significativo e variações de volume entre $50\text{ m}^3/\text{m}$ e $80\text{ m}^3/\text{m}$ foram classificados como impacto severo. Esta classificação também foi utilizada por Parise *et al.* (2009), em estudo sobre a resposta morfodinâmica da Praia do Cassino frente à ocorrência de marés meteorológicas.

Com base nesta classificação, pode-se dizer que não houve um evento classificado como de impacto severo. De impacto significativo pode ser citado 1 evento: a 6° coleta (Hotel). Já de impacto moderado foram observados os seguintes eventos: 1° coleta (Hermenegildo), 6° coleta (Hermenegildo) e 7° coleta (Hotel). Os demais eventos que apresentaram erosão em relação ao volume médio foram classificados como de impacto baixo.

5.4 Análise das Trajetórias dos Ciclones

Foram amostrados 7 eventos de alta energia, entre junho de 2013 e agosto de 2014. As trajetórias dos eventos foram traçadas desde a formação até sua dissipação sobre o Oceano Atlântico (Figura 13).

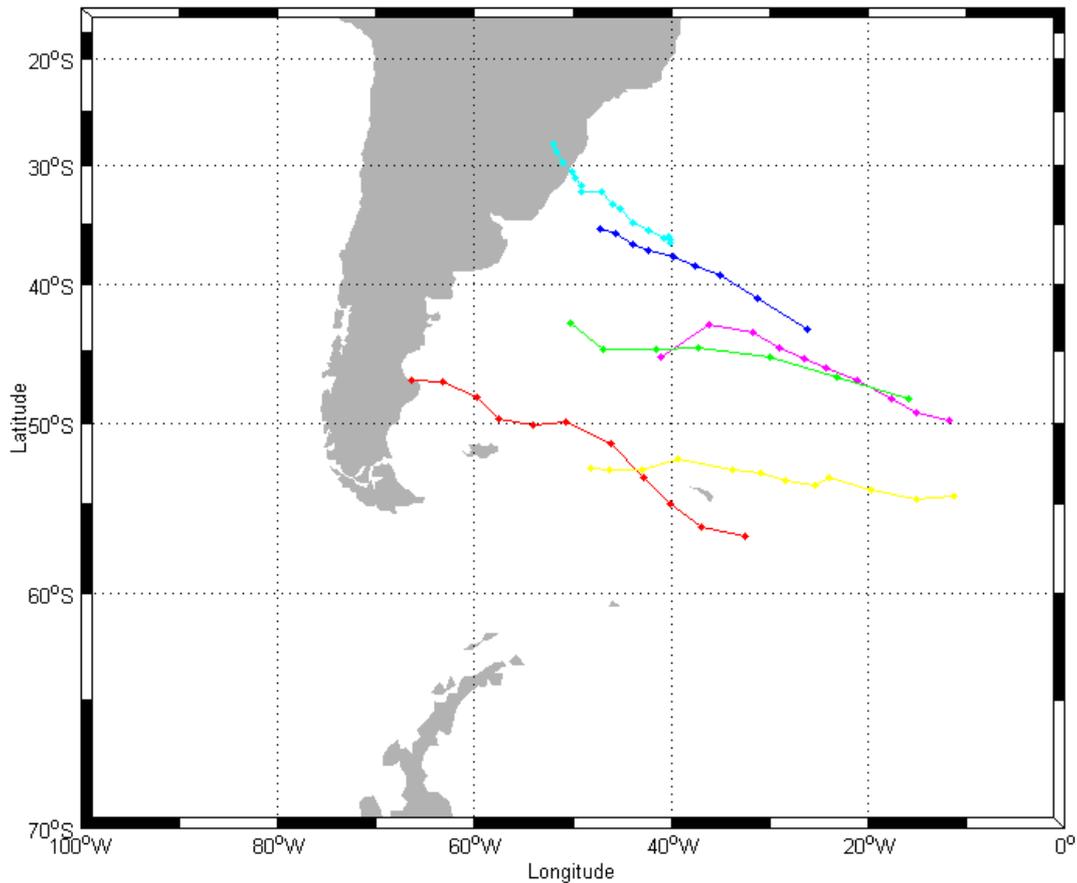


Figura 13: Trajetórias dos sistemas meteorológicos analisados. Em magenta, evento amostrado em 19/06/2013; em vermelho, evento amostrado em 15/08/2013; em azul, evento amostrado em 13/11/2013; em verde, evento amostrado em 29/01/2014; em ciano, evento amostrado em 02/07/2014; e em amarelo, evento amostrado em 18/08/2014.

Tabela 3: Resumo dos padrões atmosféricos observados

Coletas	Tipos de sistema	Trajatória	Direção de deslocamento
19/06/2013	Ciclone extratropical	Entre 45° S e 50° S	Leste
15/08/2013	Ciclone Extratropical	Entre 47° e 56° S	Sudeste
13/11/2013	Ciclone Extratropical	Entre 35° e 44° S	Sudeste
29/01/2014	Ciclone Extratropical	Entre 43° e 48° S	Leste
02/07/2014	Ciclone Extratropical	Entre 27° S e 36° S	Sudeste
28/07/2014	Sistema de cava	-	-
18/08/2014	Ciclone extratropical	Entre 53°S e 54S°	Leste

O evento ocorrido em 19/06/2013 apresentou ciclogênese a leste da costa da Argentina com deslocamento para leste e trajetória limitada entre as latitudes entre 45° S e 50° S. O evento ocorrido em 15/08/2013 apresentou ciclogênese ao sul da costa da Argentina, com deslocamento para sudeste e trajetória limitada entre as latitudes 47° S e 56° S. O evento ocorrido em 13/11/2013 apresentou ciclogênese ao sul da costa do Uruguai, com deslocamento para sudeste e trajetória limitada entre as latitudes 35 ° S e 44° S. O evento ocorrido em 29/01/2014 apresentou ciclogênese a leste da costa da Argentina com deslocamento para leste e trajetória limitada entre as latitudes 43 ° S e 48° S. O evento ocorrido em 02/07/2014 apresentou ciclogênese sobre o Rio Grande do Sul, com deslocamento para sudeste e trajetória limitada entre as latitudes 27 ° S e 36 ° S. O evento ocorrido em 18/08/2014 apresentou ciclogênese ao leste da costa da Argentina com deslocamento para leste e trajetória limitada entre as latitudes 53° S e 54° S (Figura 14). O evento ocorrido em 28/07/2014 foi não teve sua região de formação

nem trajetória caracterizados, uma vez que foi classificado como um sistema de cava. As cavas se formam sobre o sul do Brasil e não sofrem deslocamento. (Goulart, 2014).

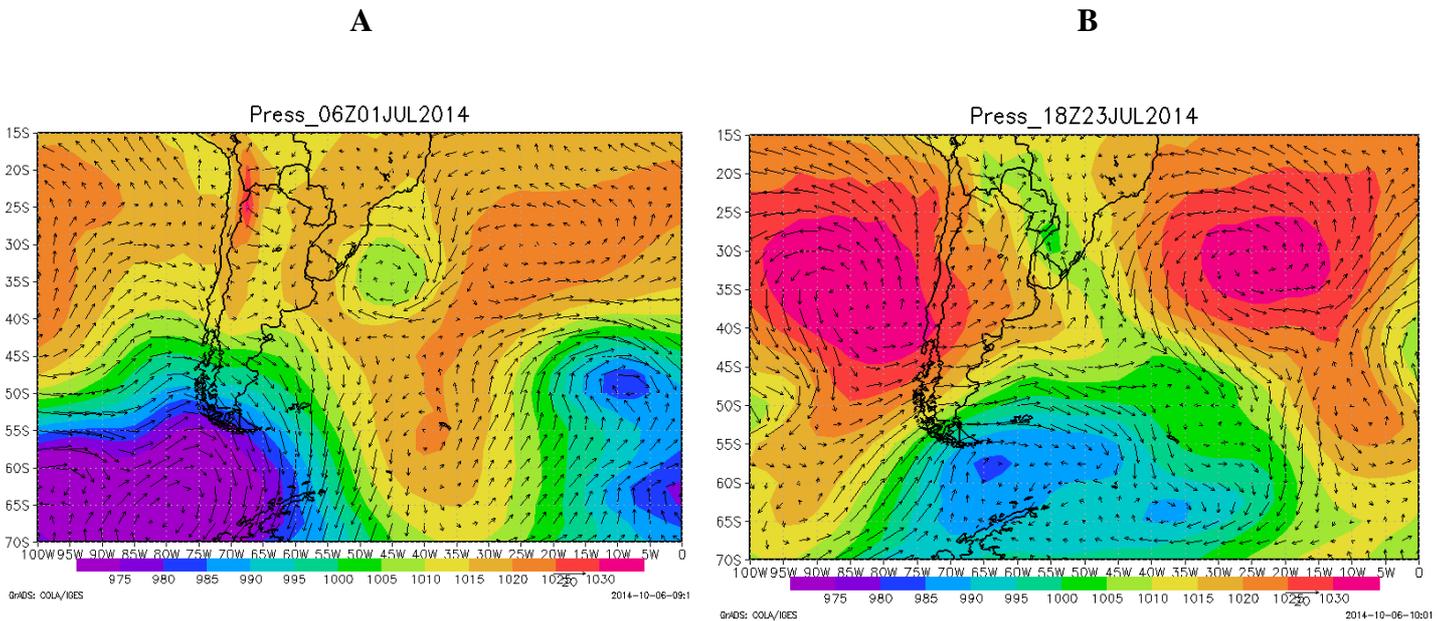


Figura 14: Exemplos dos sistemas atmosféricos analisados. Na figura A, um ciclone extratropical e na figura B, um sistema de cava. As cores representam a pressão na superfície, enquanto o vento é representado pelas setas.

5.5 Teor de Minerais Pesados

O percentual de minerais pesados nos 45 km analisados variou entre 0,12%, no ponto 20 km, referente a 2^o coleta (15/08/2013), a 41,07% no ponto 45 km, referente a 6^o coleta (28/07/2014). Foi observada uma tendência de aumento no teor de minerais pesados em direção ao sul da área de estudo (Figura 15), o que também pode ser constatado através dos testemunhos coletados no extremo norte e no extremo sul da área (Figura 16).

Na figura 16A, referente ao ponto Hotel, é possível observar algumas lentes finas e manchas contendo minerais pesados, enquanto na figura 16B, ponto Chuí, os estratos são mais visíveis, intercalados com lâminas de minerais leves. É possível identificar um estrato mais nítido, de aproximadamente 1 cm que pode ser visto na 1^o, 2^o e 4^o coletas. Na 4^o coleta é possível identificar, acima do estrato mais nítido de pesados, as deposições posteriores a esse evento, indicando que as camadas de pesados

observadas indicam eventos sucessivos. A espessura da camada possivelmente esta associada à magnitude do evento.



Figura 15: Minerais pesados presentes na região do pós-praia, no ponto 45km, durante coleta realizada em 28/07/2014

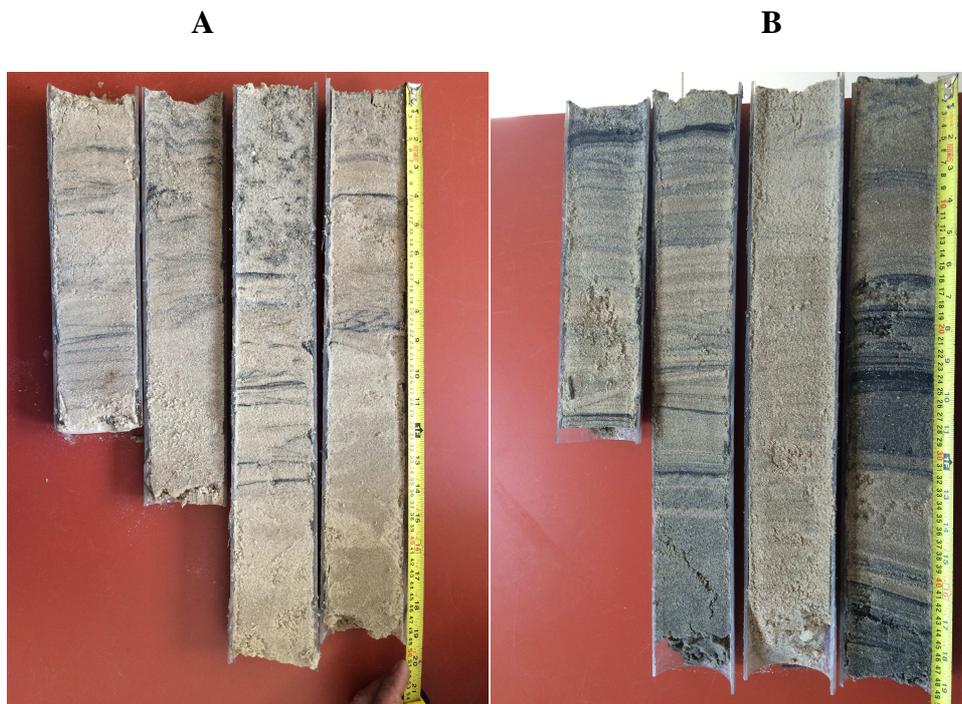


Figura 16: Testemunhos coletados em 19/06/2013, 15/08/2013, 13/11/2013 e 29/01/2014. A figura A corresponde ao ponto Hotel e a figura B ao ponto Chuí.

Em relação às coletas, os maiores teores de minerais pesados ocorreram na 6°, 5°, 7°, 4°, 2°, 1° e 3°. O percentual médio de minerais pesados encontrados na área de estudo foi de aproximadamente 7,74% (Figura 17).

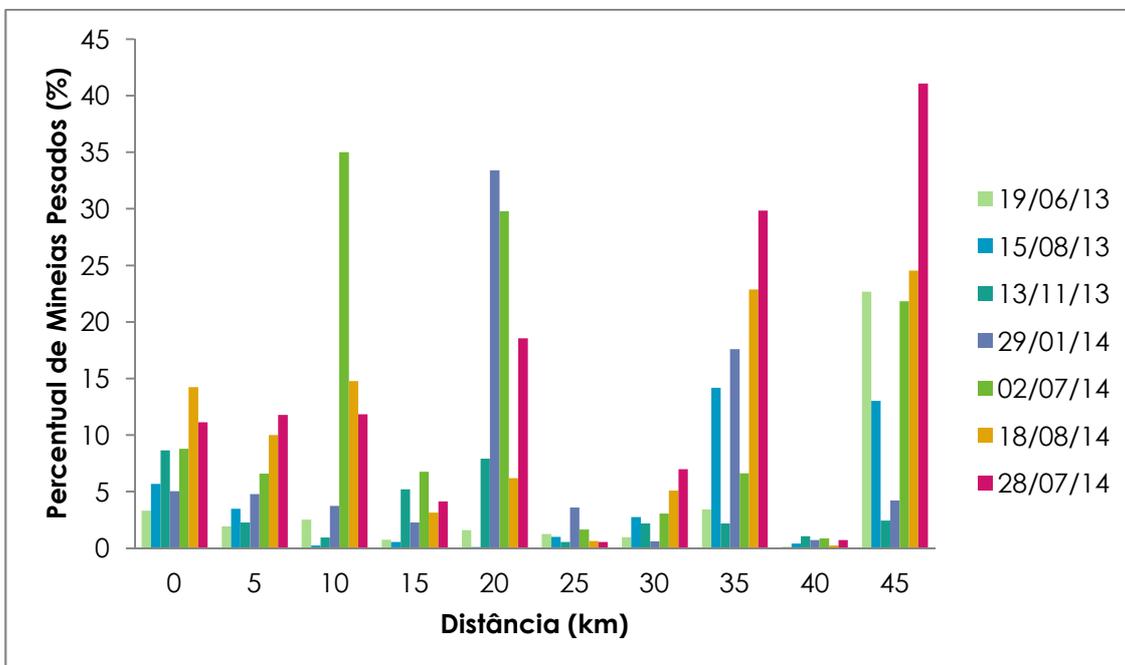


Figura 17: Variação no percentual de minerais pesados ao longo dos 45 km analisados.

5.6 Assembleia Mineralógica

Os resultados das análises mineralógicas revelaram o predomínio de ilmenita (percentual médio de 21%), seguida por zircão (12,5%), epidoto (9,5%), turmalina (9,17%), magnetita (8%), clinozoisita (7,33%), rutilo (6,66%), apatita (4,67%), cianita (4%), estauroлита (4%), granada (3,67%), augita (3%), silimanita (2,33%), leucoxênio (2%), esfeno (1,17%). Hornblenda, monazita, hiperstênio, actinolita e tremolita apresentaram concentrações iguais ou abaixo de 1% (Figura 18).

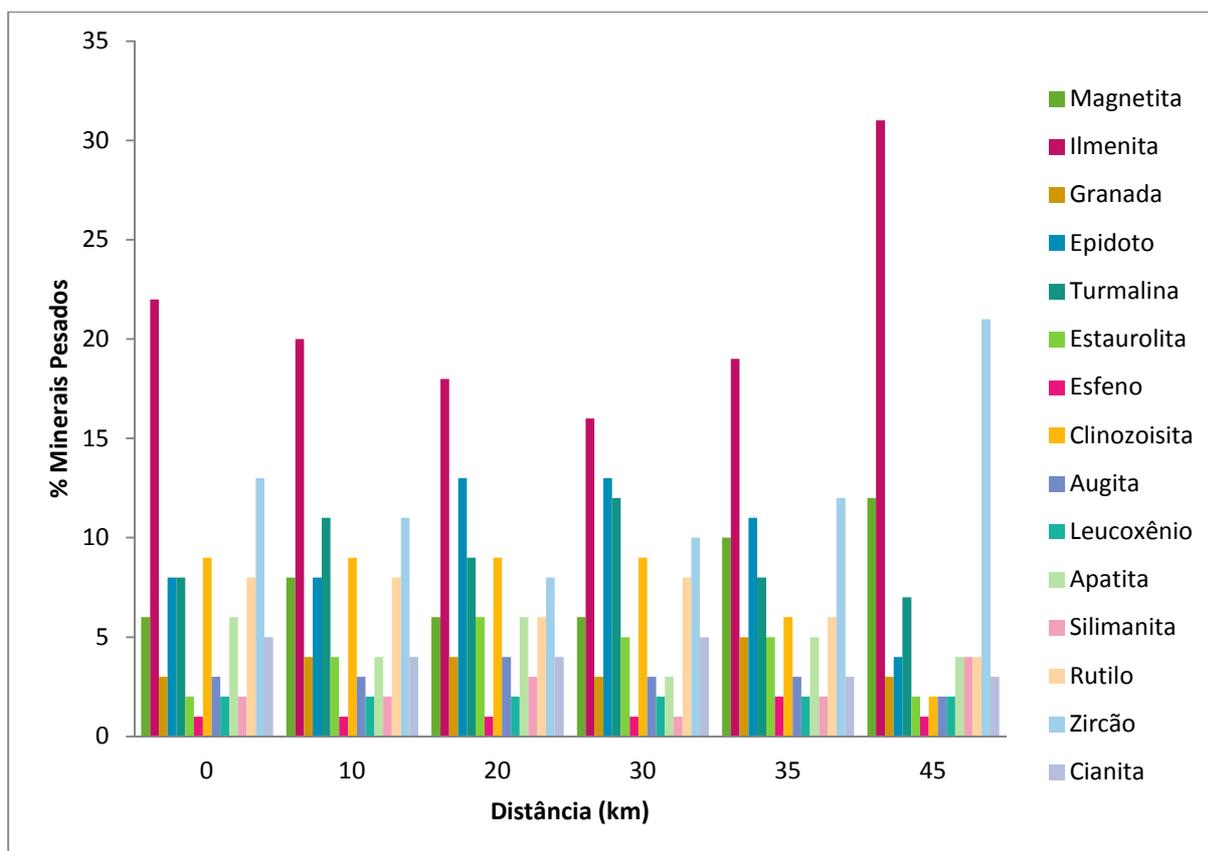


Figura 18: Variação da assembléia mineralógica ao longo da área analisada.

Determinada a composição da assembleia de minerais pesados, foi realizada a Análise de Componentes Principais (ACP). O objetivo desta análise foi estabelecer associações de minerais de acordo com afinidades de distribuição. Neste aspecto, consideraram-se os componentes segundo os quais se projetam dois ou mais minerais de forma semelhante ou que evidenciam comportamentos extremos (Casalho, 2000). Sendo assim, devem ser considerados os componentes que tenham valores próprios elevados.

Através da ACP, foi possível explicar uma porcentagem total de variância superior a 91%, com apenas 3 componentes. O componente principal 1 tem valor próprio igual a 6 e explica cerca de 54% da variância dos dados. O componente principal 2 tem valor próprio igual a 2,58 e explica cerca de 23,5% da variância dos dados. Já o componente principal 3 tem valor próprio igual 1,49 e explica cerca de 13,5% da variância dos dados.

De acordo com os dados analisados, pode-se observar que o componente principal 1 é fortemente influenciado pelo zircão, epidoto, clinozoisita, augita,

silimanita e rutilo. Já o componente principal 2 é fortemente influenciado pela granada, cianita, apatita, estaurólita e augita, enquanto o componente principal 3 é fortemente influenciado pela apatita, turmalina e estaurólita e cianita.

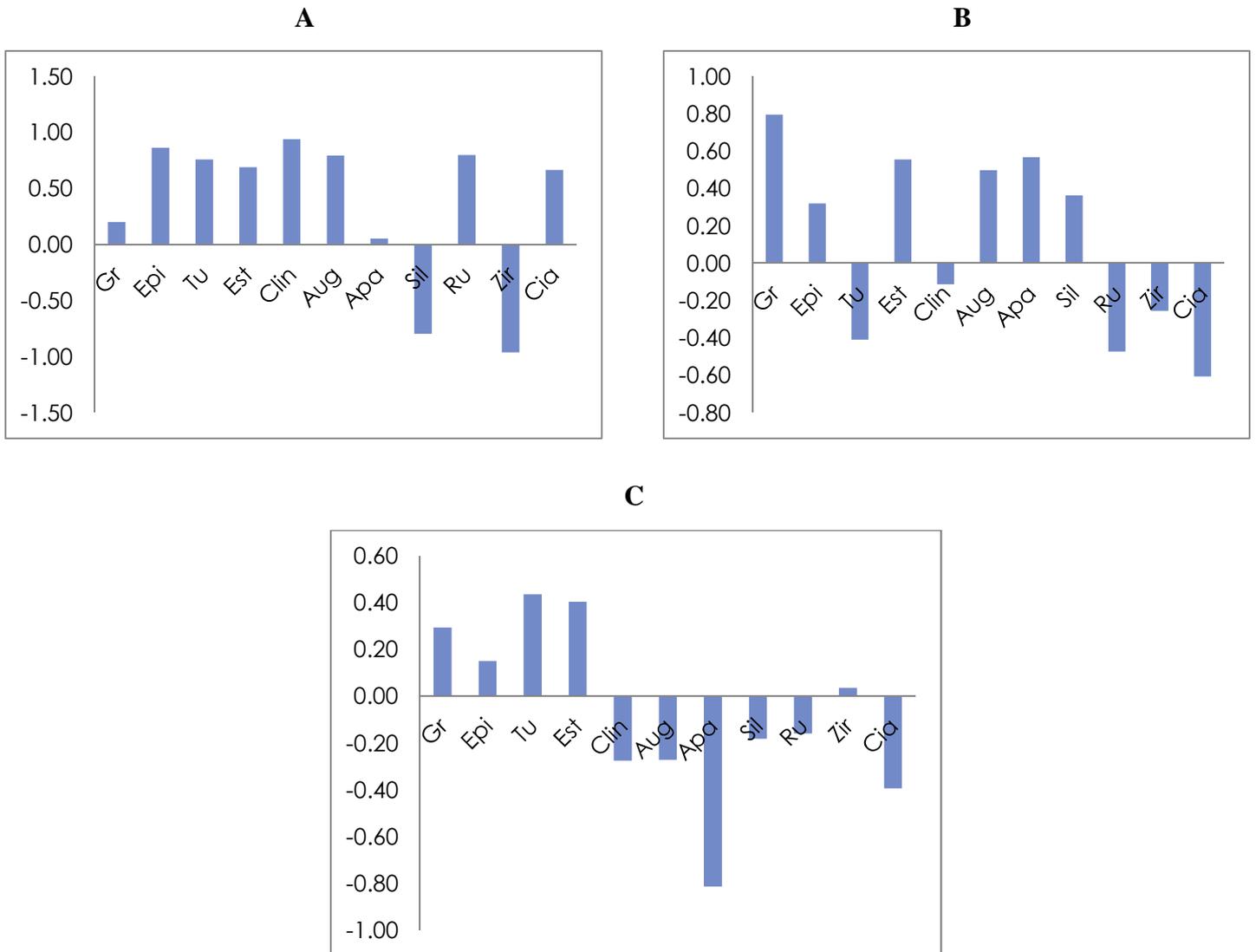


Figura 19: Componente principal 1 (figura A), Componente principal 2 (figura B) e Componente principal 3 (figura C) da matriz de dados analisada.

5.7 Índices Mineralógicos

Os índices TZi (turmalina/zircão), GSi (granada/silimanita) e GCi (granada/cianita) foram calculados com o objetivo de determinar o sentido do transporte sedimentar. O TZi é utilizado uma vez que estes minerais apresentam comportamento

químico similar (ultraestáveis) mas diferentes formas e densidades (3,25 e 4,6, respectivamente). Sendo assim, assume-se que TZi aumente no sentido do transporte sedimentar. Já quanto aos índices GSi e GCi, espera-se uma redução no rumo de transporte sedimentar, pelo fato de a granada ser mais densa e equidimensional que a cianita e a silimanita (Morton e Hallsworth, 1994).

Não foi observada correlação significativa entre os índices mineralógicos ao longo da área de estudo, provavelmente em função da variância entre os dados dos pontos amostrados. Entretanto, é possível identificar uma tendência de aumento no índice TZi no sentido sudoeste- nordeste, sendo este o sentido resultante da deriva litorânea. Outro índice que parece indicar o rumo do transporte sedimentar foi o GCi, uma vez que este apresentou uma diminuição na direção nordeste.

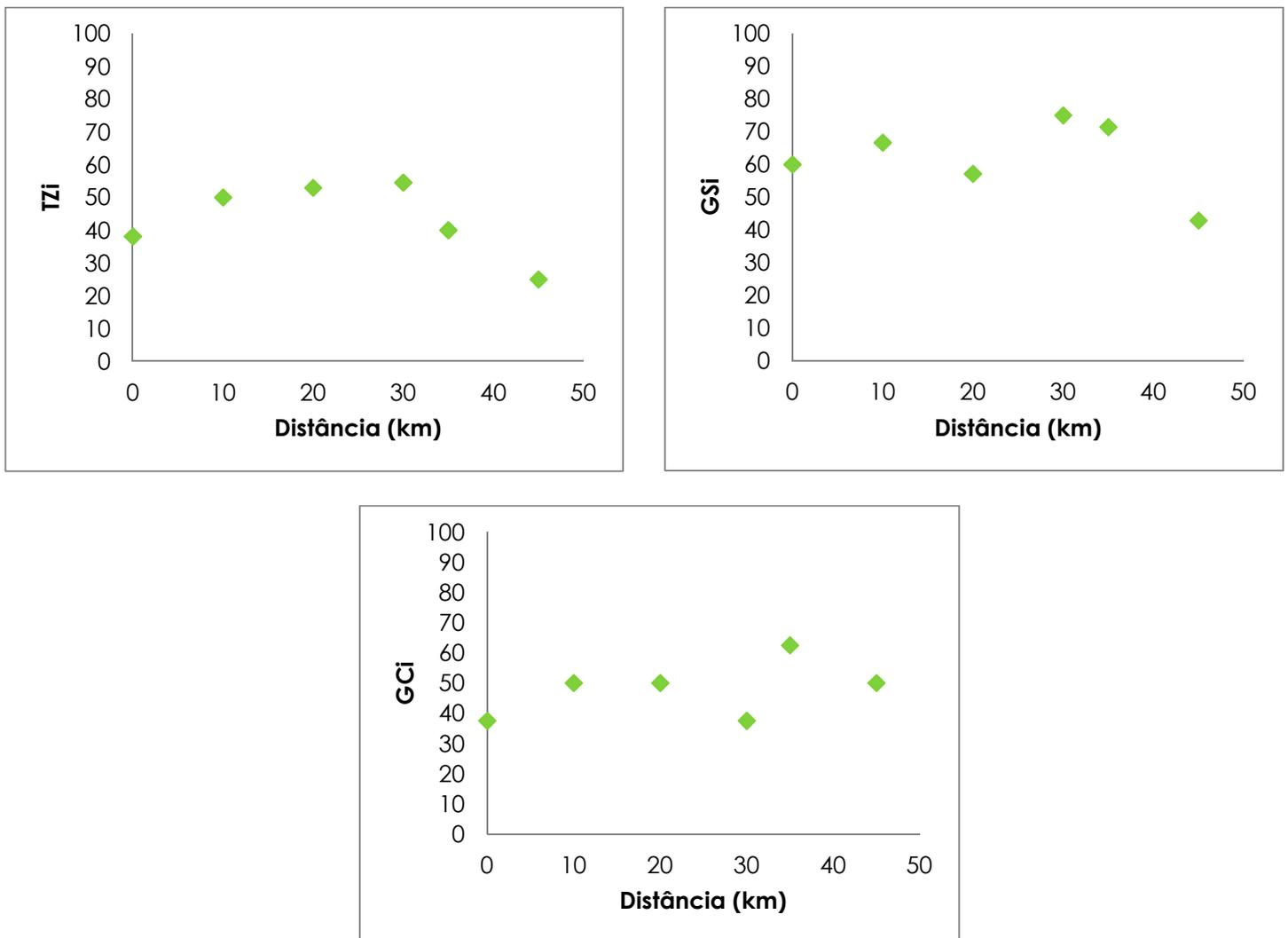


Figura 20: Variação longitudinal dos índices TZi, GSi e GCi.

6. ANÁLISES DE CORRELAÇÃO

6.1 Parâmetros Granulométricos

Ao relacionar os parâmetros desvio padrão e assimetria ao diâmetro médio de grão na totalidade das amostras, pode-se observar uma correlação significativa entre o diâmetro médio e o desvio padrão, porém baixa ($p= 0,01$ e $r= -0,30$, Figura 21A). Em relação à assimetria, foi possível observar uma forte correlação entre este parâmetro e o diâmetro médio ($p=0,00$ e $r= 0,89$, Figura 21B). Sendo assim, ao analisar o conjunto de dados, pode-se dizer que há uma tendência de melhora no grau de seleção à medida que o tamanho de grão diminui. Já em relação à assimetria, há uma maior dependência deste parâmetro com o diâmetro médio: à medida que o diâmetro médio diminui, os valores da assimetria também se elevam.

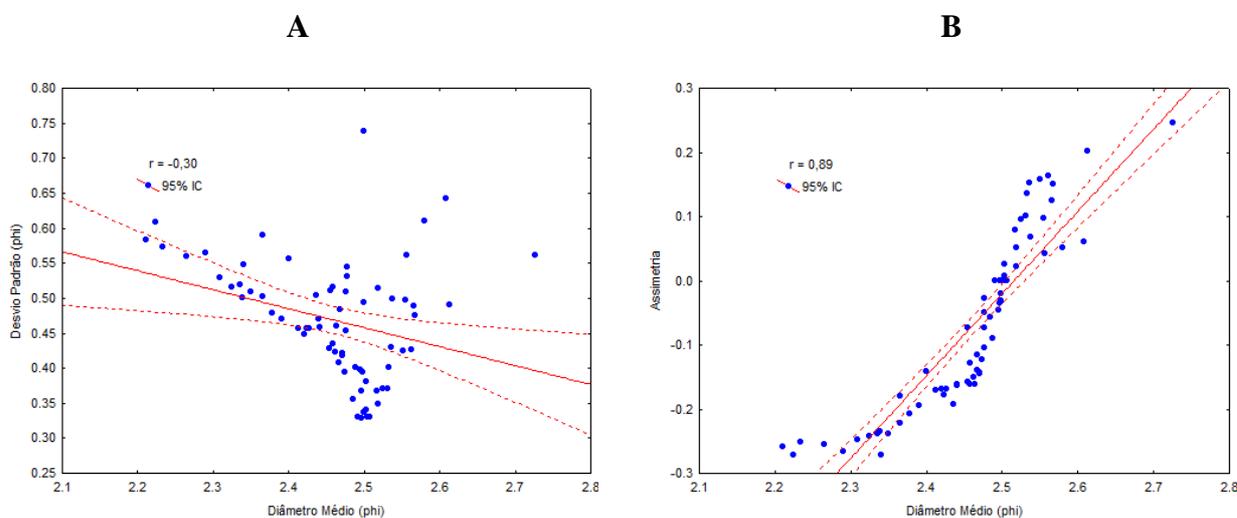


Figura 21: Análise de correlação entre o diâmetro médio e o desvio padrão (figura A) e entre o diâmetro médio e a assimetria (figura B).

Ao comparar a quantidade de sedimentos encontrados na fração granulométrica areia muito fina com a quantidade de minerais pesados encontrados na amostra, pode-se observar uma alta correlação entre as duas variáveis ($p= 0,00$ e $r= 0,95$). Isto significa

que quanto maior a quantidade de areia muito fina em uma amostra, maior será a quantidade de minerais pesados encontrados no sedimento.

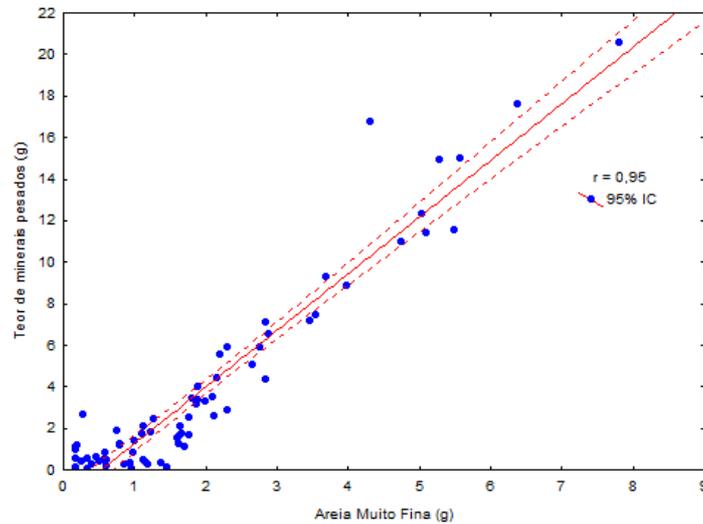
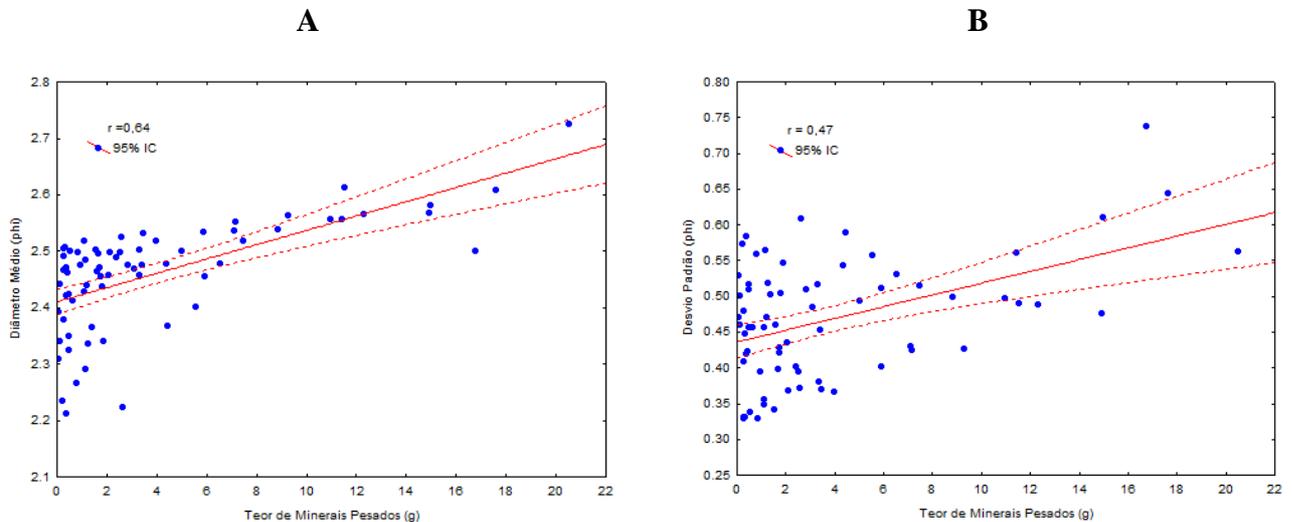


Figura 22: Análise de correlação entre os teores de areia muito fina e de minerais pesados encontrados na totalidade das amostras analisadas.

Sabendo-se que o teor de minerais pesados exerce influência na distribuição granulométrica, foi realizada a correlação entre as variáveis teor de minerais pesados e diâmetro médio, teor de minerais pesados e desvio padrão e teor de minerais pesados e assimetria. Com isso, pode-se observar uma correlação significativa nas 3 análises realizadas. À medida que o teor de minerais pesados aumenta, o diâmetro médio do grão diminui ($p=0,00$ e $r=0,64$, Figura 23A) e o desvio padrão aumenta ($p=0,00$ e $r= 0,47$, Figura 23B), assim como a assimetria ($p=0,00$ e $r=0,67$, Figura 23C).



C

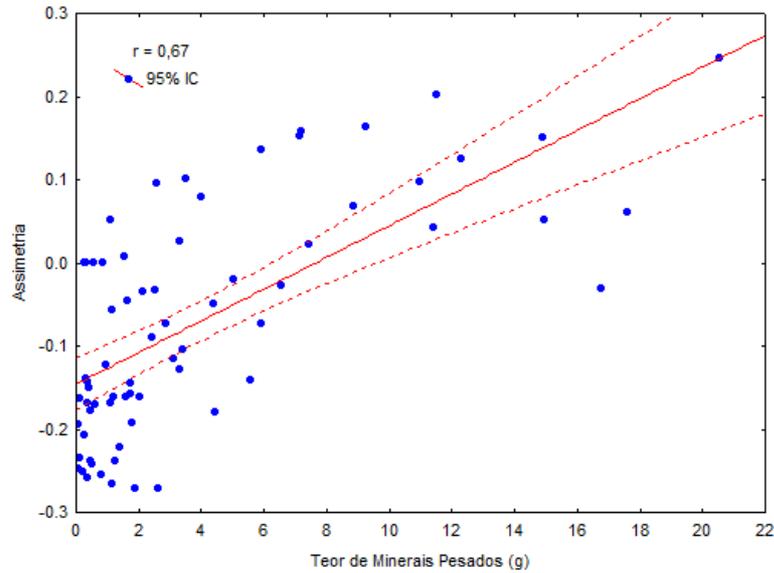


Figura 23: Análise de correlação entre o teor de minerais pesados e o diâmetro médio (figura A), o desvio padrão (figura B) e entre a assimetria (figura C).

6.2 Teor de Minerais Pesados

Ao analisar o teor de minerais pesados longitudinalmente, optou-se por utilizar a média encontrada entre dois pontos consecutivos. O objetivo foi diminuir a variância entre dos dados, possibilitando assim uma possível visualização de um padrão na distribuição dos pesados. Dessa forma, as médias observadas para os pontos 0-5 km, 10-15 km, 20-25 km, 30-35 km e 40-45 km foram denominados Setor 1, Setor 2, Setor 3, Setor 4 e Setor 5, respectivamente. Sendo assim, foi possível observar um aumento de minerais pesados na direção sul da área de estudo ($p=0,02$ e $r=0,93$, Figura 24).

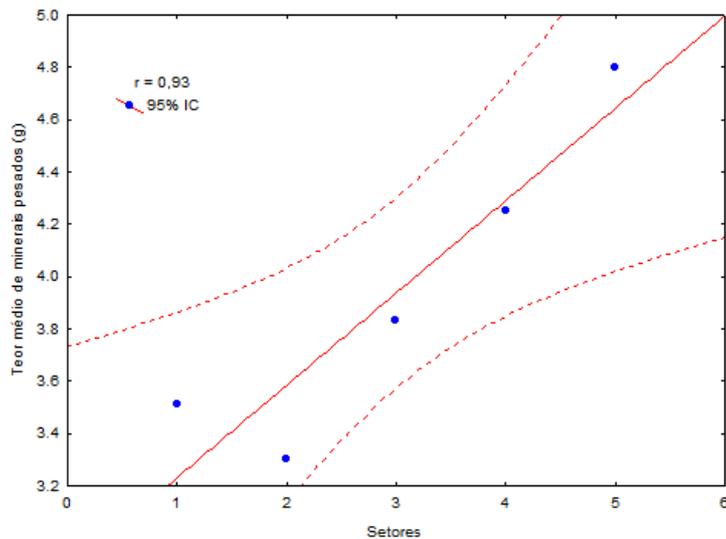


Figura 24: Análise de correlação entre o teor de minerais pesados ao longo da área de estudo.

6.3 Variações no Pacote Sedimentar e Teor de Minerais Pesados

Com o objetivo de analisar de que forma o pacote sedimentar subaéreo se comporta em face aos diferentes eventos de alta energia amostrados, foi realizada uma correlação entre os volumes de sedimento observados nos pontos Hotel, Hermegildo e Chuí. Sendo assim, encontrou-se uma forte correlação entre os pontos Hotel e Chuí ($p=0,02$ e $r=0,83$), ou seja, eventos que apresentaram erosão ou acreção no ponto Hotel foram seguidos do mesmo processo no ponto Chuí (Figura 25). Entretanto, para o ponto Hermenegildo não foi observado esta correlação com os demais pontos, ou seja, o ponto se comporta de forma diferente frente aos eventos de alta energia.

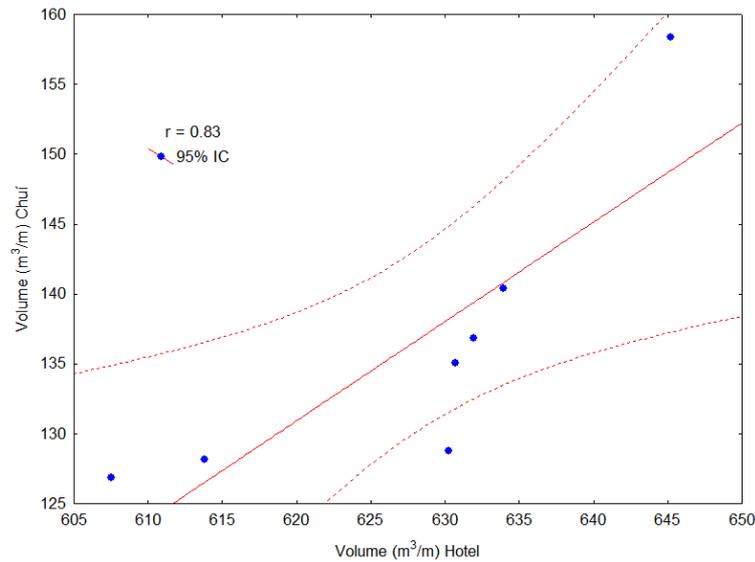


Figura 25: Análise de correlação entre o volume subaéreo de sedimento nos pontos Hotel e Chuí.

Em função de os pontos Hotel e Chuí apresentarem o mesmo padrão de resposta frente aos eventos, foi testada a correlação entre o volume de sedimento e a média do teor de pesados encontrado em cada coleta. Sendo assim, foi observado que perfis mais acrescivos (maior volume de sedimento na região subaérea da praia) apresentam um teor de minerais pesados menor. Esse padrão foi encontrado nos pontos Hotel ($p=0,04$ e $r=-0,77$, Figura 26A) e Chuí ($p=0,05$ e $r=-0,75$, Figura 26B).

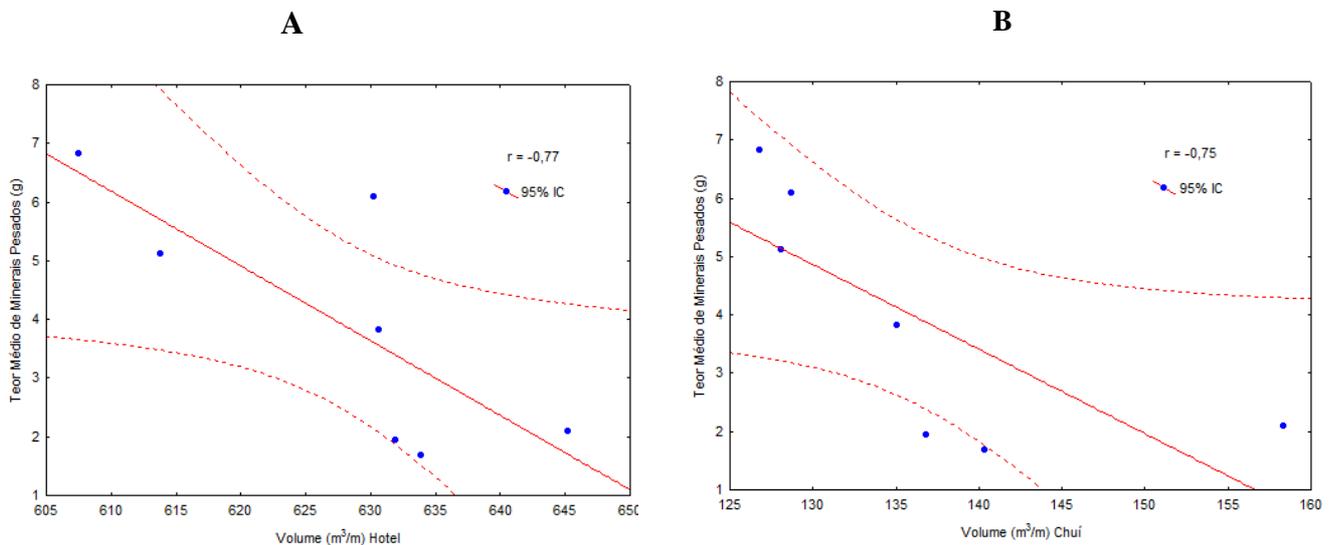


Figura 26: Análise de correlação entre os teores de minerais pesados e o volume de sedimento subaéreo nos pontos Hotel (Fig. A) e Chuí (Fig. B).

7. DISCUSSÃO

7.1 Parâmetros Granulométricos

7.1.1 Número de Modas

A moda de uma distribuição granulométrica corresponde ao diâmetro mais abundante da amostra e ao mais frequente na distribuição. Em geral, em um ambiente praial, o tamanho médio do sedimento pode variar entre as classes granulométricas areia muito fina a areia média. Já em sedimentos eólicos, entre areia fina e muito fina. Em ambientes fluviais, varia de areia média a areia grossa (Martins, 2003). Como as amostras apresentaram uma distribuição unimodal, é possível que os sedimentos tenham sido retrabalhados igualmente ou que apresentem uma única fonte. Entretanto, sabe-se da influência de cascalho biotétrico (Calliari e Klein, 1993), e de sedimentos pleistocênicos grossos com características fluviais na composição do sedimento, embora com pequena representatividade.

7.1.2 Diâmetro Médio

O diâmetro médio consiste no tamanho médio das partículas, sendo influenciado pela fonte de suprimento, transporte, ambiente de deposição e seu nível de energia (Martins, 2006). O diâmetro das amostras analisadas variou entre 2,21 Φ e 2,73 Φ . De acordo com os dados analisados, este parâmetro não variou de forma substancial, uma vez que o mesmo esteve sempre entre os valores limitados à classe granulométrica areia fina. Calliari e Klein (1993), ao analisarem as características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias entre Rio Grande e Chuí, verificaram que os sedimentos apresentam tamanho médio de 2,5 Φ (areia fina), tanto no Balneário Hermenegildo quanto para a Barra do Chuí.

Ao analisar este parâmetro ao longo da área de estudo, não foi possível observar uma tendência única de variação, como afinamento ou engrossamento do tamanho médio em uma determinada direção. Entretanto, pode-se observar picos nos pontos 15 km e 40 km (maior diâmetro médio), locais onde ocorreram baixos teores de minerais pesados e nos pontos 35 km e 45 km (menor diâmetro médio), locais que apresentaram

os maiores teores médios de minerais pesados. De fato, foi encontrada uma correlação significativa entre o teor de minerais pesados e o diâmetro médio ($p=0,00$ e $r=0,64$): à medida que o teor de minerais pesados aumenta, o diâmetro médio diminui.

Com base no fato de que os minerais pesados exercem influência sobre a distribuição granulométrica, foi observado que quanto maior a quantidade de areia muito fina em uma amostra, maior será a quantidade de minerais pesados encontrados na mesma. Da Silva (1979) afirma que a maior concentração de minerais pesados ocorre na fração 0,062mm, diminuindo consideravelmente na fração 0,125. Dessa forma, o peneiramento em si já se mostra eficiente na concentração dos pesados.

Isso ocorre em função do comportamento equivalente: as partículas de minerais pesados tendem a ser, num mesmo depósito sedimentar, de menores dimensões do que as partículas de minerais leves (Lowright *et al*, 1972). Devido a esse fato, as partículas maiores apresentam maior propensão a serem colocadas em movimento, uma vez que estão mais expostas. Partículas menores ficam mais protegidas da ação do fluxo, obstruídas pelos grãos de maiores dimensões.

Inferências sobre rumo de transporte sedimentar apontam para uma diminuição do tamanho do grão no sentido do transporte, o que não foi observado neste trabalho. Entretanto, partindo da hipótese de que a área mais ao sul seja a região na qual os minerais se dispersam, uma vez que há uma concentração mais elevada de minerais pesados, a diminuição no teor desses minerais no sentido sudoeste-nordeste pode indicar um possível transporte de sedimentos neste sentido.

7.1.3 Desvio Padrão

O desvio padrão refere-se ao grau de seleção (ou selecionamento) e é uma medida de dispersão da amostra em torno da distribuição, sendo segundo Martins (2006), independente do tamanho médio. Sedimentos mal selecionados indicam uma grande dispersão em torno do tamanho médio, assim como sedimentos bem selecionados apresentam uma pequena dispersão (Briggs, 1977).

Ao analisar o conjunto total de dados, foi observada uma correlação significativa, porém baixa, entre o diâmetro médio e o desvio padrão ($p= 0,01$ e $r= - 0,30$): há uma tendência de melhora no grau de seleção à medida que o tamanho do grão

diminui. De uma forma geral, o grau de seleção aumenta no sentido do transporte e à medida que se distancia da área fonte, bem como com a diminuição do tamanho do grão.

Ao analisar este parâmetro ao longo da área de estudo, não foi possível observar uma tendência única em relação à seleção, como piora ou melhora em um determinado sentido. Entretanto, foi possível visualizar picos nos pontos 10 km, 20 km e 45 km (pior selecionados), os quais apresentaram altos teores de minerais pesados, e nos pontos 25 km e 30 km (melhor selecionados), locais com baixos teores de minerais pesados. Sendo assim, ao realizar a correlação entre o teor de minerais pesados e o desvio padrão, a mesma foi significativa, mas um pouco baixa ($p=0,00$ e $r= 0,47$): há uma tendência de diminuição no grau de seleção à medida que o teor de minerais pesados aumenta. O aumento no teor de areia muito fina, fração na qual se concentram os minerais pesados, eleva a dispersão em torno do tamanho médio.

7.1.4 Assimetria

A assimetria representa o grau de deformação da curva de frequência simples. Em uma curva normal a assimetria é zero, enquanto distribuições de frequência com assimetria positiva indicam predominância de frações finas, e assimetria negativa indicam predominância de frações grossas. Segundo Martins (2003), as areias de praia possuem assimetria negativa, ocasionada pela remoção de grãos finos da distribuição enquanto que areias de rios e dunas, assimetria positiva, o que reflete a direção unidirecional do fluxo.

Ao analisar a assimetria ao longo da área de estudo, não foi possível observar uma tendência única de variação. Entretanto, assim como com o diâmetro médio, pode-se observar picos nos pontos 15 km e 40 km (assimetria negativa), locais com maior diâmetro médio e menor teor de minerais pesados e nos pontos 35 km e 45 km (assimetria positiva), locais com menor diâmetro médio e maiores teores médios de minerais pesados. De fato, foi encontrada uma correlação significativa entre a assimetria e o diâmetro médio ($p=0,00$ e $r=0,89$) e entre assimetria e o teor de minerais pesados ($p=0,00$ e $r=0,67$): a assimetria aumenta à medida que o tamanho do grão diminui e com o aumento no teor de minerais pesados.

7.2 Teor de Minerais Pesados

De acordo com os dados analisados, foi possível observar um aumento no teor de minerais pesados em direção ao sul da área de estudo ($p=0,02$ e $r=0,93$). Este resultado também foi encontrado por Da Silva (1979), Siegle e Calliari (2008), Corrêa *et al.* (2008) e Martins (2011). Entretanto, o local que apresentou o menor de teor de minerais pesados encontra-se muito próximo ao que apresentou o maior teor, respectivamente o ponto 40 km (ponto Hermenegildo) e o ponto 45 km (ponto Chuí).

O ponto Hermenegildo localização na região urbanizada do Balneário Hermenegildo, conhecido por apresentar erosão acentuada. Entretanto, a baixa concentração de minerais pesados no local pode estar associada à inexistência de um campo dunas, assim como de uma região de pós- praia permanente. Não há interações entre o sistema praia-duna, o que elimina uma fonte permanente de minerais.

Ao estudar a mineralogia das areias entre Rio Grande e Chuí, Da Silva (1979) concluiu que a Plataforma Continental Interna é a principal fonte de sedimentos para a zona costeira. Entretanto, a autora relaciona o maior teor de minerais pesados ao sul da área à erosão da Formação Chuí, que aflora junto à praia sob a forma de barrancas. Uma vez erodidas em períodos de tempestade, fornecem os minerais pesados que formarão os depósitos de praia.

Corrêa *et al.* (2008) ao analisarem a distribuição de minerais pesados sobre a plataforma Sul-brasileira, Uruguia e Norte-argentina, observaram que as maiores concentrações de minerais pesados ocorrem na porção sul da área estudada, entre Chuí e a desembocadura do rio de La Plata. Os autores atribuíram à distribuição dos minerais pesados uma estreita relação com a paleodrenagem, com ênfase ao Rio da Prata e seus tributários.

Segundo Dillenburg *et al.* (2004), há na costa do Rio Grande do Sul duas regiões que apresentam concentrações significativas de minerais pesados, que ocorrem onde a barreira está retrocedendo: ao sul do Hermenegildo, com menor volume, ligado a depósitos praias; e no Bujuru, com volume maior, ligado à dunas transgressivas. Ainda de acordo com estes autores, pelo menos desde o Período Terciário os minerais têm sido transportados pelo sistema de drenagem para a plataforma continental durante abaixamentos no nível do mar, sendo incorporados em sistemas de barreiras transgressivas pela ação das ondas em períodos de nível do mar alto.

De acordo com Munaro (1994), o minério de Bojuru é oriundo do antigo cone de deposição (leque deltaico) da paleodrenagem do Rio Camaquã na plataforma interna, cujos sedimentos foram retrabalhados durante as variações do nível do mar pelos agentes litorâneos, até sua posição atual. Assim como Munaro (1994), Weschenfelder *et al* (2010) ao analisarem a drenagem pretérita do Rio Camaquã, concluíram que a paleodrenagem da Barra Falsa, próximo a Bojuru, foi escavada pelo curso pretérito deste rio.

Siegle e Calliari (2008) determinaram a influência da passagem de frentes frias nas características de sedimentos superficiais de praia no litoral do RS. As concentrações de minerais pesados se mostraram sensíveis à passagem do evento, uma vez que após a ocorrência do mesmo, a porcentagem de pesados encontrada nos sedimentos aumentou. A porção sul da área em estudo apresentou as maiores concentrações de minerais pesados. Martins (2011) analisou a assembleia mineralógica da margem emersa da Bacia de Pelotas. A maior concentração de minerais pesados ocorreu ao sul da área de estudo e chegou ao valor máximo de 4,75%, diminuindo em direção ao norte da plataforma continental.

O atual fornecimento fluvial para região litorânea limita-se à descarga do Arroio Chuí e a presença de sangradouros. O Arroio Chuí, originado nas zonas alagadas ao sul da Lagoa Mirim e Mangueira, apesar de possuir baixa competência de transporte, pode ser considerado como fonte de minerais pesados para a região, principalmente em períodos de maior pluviosidade. Assim como o Arroio Chuí, a existência de sangradouros, responsáveis por carrear material dos paleocordões litorâneos, contribui no transporte de minerais pesados para a região litorânea (Figura 27). Segundo Da Silva (1979), as porcentagens de minerais pesados existentes nos sangradouros foram mais altas que nas amostras de praia no mesmo local, evidenciando os cursos dos arroios como concentradores de minerais pesados.



Figura 27: Minerais pesados no curso e às margens de um sangradouro, referente à amostragem realizada em 02/07/2014.

7.3 Assembleia de Minerais Pesados

Os minerais mais abundantes encontrados na área de estudo foram a ilmenita e o zircão, o que difere em parte da análise realizada por Da Silva (1979), a qual revelou o predomínio de minerais opacos (ilmenita, magnetita, limonita e leucoxênio), sobre os minerais transparentes (zircão, epidoto, turmalina e rutilo).

A ilmenita é o mineral que apresenta um maior atrito para entrar em movimento, seguida pelo zircão, logo estes minerais tem maior tendência para fazer parte de um depósito de placer (Komar e Wang, 1984). Ainda segundo estes autores, normalmente os minerais de menor diâmetro e de maior densidade muito dificilmente entram em movimento devido ao efeito de barreira causado pelas partículas de maior dimensão.

Em ordem decrescente de abundância foram encontrados epidoto, turmalina, magnetita, clinozoisita, rutilo, apatita, cianita, estaurolita, granada, augita e silimanita, respectivamente. Terence (2013) ao estudar os parâmetros granulométricos e mineralógicos entre La Coronilla e Montevideo, no Uruguai, observou uma assembleia

mineralógica composta principalmente por minerais transparentes: epidoto, turmalina, estaurolita, granada e hornblenda.

Ao realizar a Análise de Componentes Principais, foi possível explicar uma porcentagem total de variância superior a 91%, com apenas 3 componentes. A proximidade entre os minerais elucidada através da ACP reflete possivelmente a coincidência da rocha-fonte, uma vez que, tendo pontos de origem próxima, é provável que os minerais possuam características de distribuição semelhantes. Em casos em que isto não é verificado, a associação entre espécies minerais pode ser explicada através de similaridades no comportamento hidrodinâmico, mais precisamente no que se refere à susceptibilidade de entrada em movimento.

O primeiro componente é influenciado pela associação entre zircão, epidoto, clinozoisita, augita, silimanita e rutilo. Segundo Corrêa *et al.* (2008), zircão e a silimanita podem ser encontrados no setor central-sul, com direção predominante de dispersão entre a plataforma norteargentina e a plataforma uruguaia na altura do estuário do rio de La Plata e nas proximidades do Arroio Chuí. Estes minerais são comuns nas rochas do Escudo Sul- Rio- Grandense e Uruguaio e considerados como de dispersão platense (apatita, zircão e silimanita). O epidoto é um mineral de origem metamórfica e predomina na altura do rio Camaquã e da Lagoa Mangueira. Foi o terceiro mineral a apresentar maior abundância neste trabalho, ficando apenas atrás dos opacos segundo Da Silva (1979).

A clinozoisita, que também possui origem metamórfica, foi associada ao epidoto por apresentarem diferenças sutis no que se refere a propriedades ópticas. Alguns trabalhos não individualizam estes minerais, e apenas os denominam de epidoto ou pertencentes ao grupo epidoto (Martins, 2011). A augita concentra-se nas áreas central e sul da plataforma continental externa (Corrêa *et al.*, 2008), sendo um mineral típico de rochas ígneas básicas. Entretanto, sua concentração parece ser maior ao norte do RS, e depois mais ao sul do RS, oriundo dos sedimentos do Rio da Prata. Sua dispersão parece estar associada às rochas basálticas da Formação Serra Geral. Rutilo e zircão parecem estar associados devido a similaridades no comportamento hidrodinâmico, uma vez que são ultraestáveis e apresentam densidades semelhantes.

O segundo componente é influenciado pela associação entre granada, cianita, apatita, estaurolita e augita. A cianita e a estaurolita são minerais típicos de rochas metamórficas, ocorrendo em toda costa do Rio Grande do Sul, como minerais

acessórios, assim como na Província Interna (Pomerancblum e Costa, 1972). A granada é encontrada predominantemente na zona central para norte, e apresenta dispersão a partir do escudo.

O terceiro componente é influenciado pela associação entre apatita, turmalina, estaurolita, e cianita. Com exceção da apatita, os demais minerais concentram-se na altura do Rio Camaquã e Lagoa Mangueira e são comuns nas rochas do Escudo Sul-Rio-Grandense e Uruguaio (Corrêa *et al*, 2008). A apatita parece ter maior ligação com zircão e silimanita, presentes no setor sul da plataforma continental.

Segundo Da Silva (1976), as areias de praia entre Rio Grande e Chuí refletem a conexão entre a assembleia, predominantemente metamórfica, e as rochas do escudo. Os demais minerais, de caráter ígneo básico, parecem ser oriundos dos derrames basálticos da Serra Geral. Epidoto, estaurolita, cianita e granada são essencialmente minerais de origem metamórfica, enquanto ilmenita, magnetita, zircão, rutilo e turmalina apresentam tanto origem metamórfica quanto ígnea.

A constituição da assembleia mineralógica também parece estar de acordo com a divisão da plataforma continental em províncias mineralógicas, interna e externa, proposta por Pomerancblum e Costa (1972). Estendendo-se de Rio Grande ao Arroio Chuí, a Província Interna é composta principalmente por epidoto, estaurolita, granada, zircão e hornblenda. Da Silva (1976) identificou duas associações mineralógicas existentes: ao norte, menos matura, formada por epidoto, piroxênios e anfibólios; e ao sul, composta por opacos e minerais de maior estabilidade mineralógica, concordando com a composição da assembleia proposta para a Província Interna. Martins (2011) também constatou uma assembleia composta por minerais pesados mais estáveis na região ao sul da costa do RS.

7.4 Índices Mineralógicos

Com relação aos índices mineralógicos utilizados, TZi, GSi e GCi, não foi possível observar uma correlação significativa dos mesmos com a área analisada. Entretanto, os índices TZi e GCi apresentaram tendência de aumento e diminuição, respectivamente, no sentido sudoeste- nordeste, indicando uma possível deriva litorânea neste sentido. Já o índice GCi apresentou comportamento oposto ao esperado.

É possível que a análise dos índices não tenha apresentado relação significativa com a área pelo fato de que esta pode ser considerada pouco extensa para detectar padrões claros de distribuição. Guedes *et al.* (2011) ao estudar a variação espacial de minerais pesados ao longo da Ilha Comprida-SP, considerou o índice TZi como um bom indicador do sentido do transporte. Embora tenha analisado o sentido do transporte principalmente através de indicadores geomorfológicos, segundo Terence (2013) os índices mineralógicos TZi, GSi e GCi também auxiliaram na determinação do sentido da deriva líquida no trecho entre Montevideo e La Coronilla, na costa Uruguaia.

7.5 Variações no Pacote Sedimentar e Teor de Minerais Pesados

Nos pontos Hotel e Chuí foi observado que perfis mais acrescidos (maior volume de sedimento na região subaérea da praia) apresentaram um teor de minerais pesados menor, assim como perfis mais erosivos apresentaram teores mais elevados. Isto pode ser explicado através do mecanismo de concentração de minerais pesados: em períodos de tempestades, há a retirada do material mais leve da porção subaérea da praia, que é levado para a porção subaquosa. Além de serem maiores e mais facilmente transportados que as partículas de minerais pesados, os minerais leves são mais abundantes na totalidade do sedimento, o que por si só favorece a concentração dos pesados (Lowright *et al.*, 1972).

Já o ponto Hermenegildo não apresentou a mesma resposta frente aos eventos como os pontos Hotel e Chuí, uma vez que o local apresenta características morfodinâmicas que o difere dos demais. A batimetria complexa atua como “lentes batimétricas”, concentrando ondas longas na região, sendo esta uma das causas dos focos erosivos (Speranski e Calliari, 2001) (Figura 28). Além disso, a inexistência de uma berma assim como do campo de dunas fazem do local um ambiente vulnerável aos processos erosivos.



Figura 28: Afloramento de turfa às margens de um sangradouro, indicador de processo erosivo.
Amostragem realizada em 01/2014.

Segundo Albuquerque (2013), a utilização inadequada da costa é uma das principais causas de erosão principalmente no que se refere ao espaço de resposta da praia frente a tempestades (Figura 29). Durante a passagem de eventos de alta energia, o aumento do nível do mar faz com que as ondas atinjam as estruturas de contenção. Sendo assim, os sedimentos são frequentemente retrabalhados, o que dificulta a formação de depósitos residuais no local.



Figura 29: Elevação do nível do devido à passagem de evento de alta energia no ponto Hermenegildo (Balneário Hermenegildo).

7.6 Análise das trajetórias dos ciclones

Dos eventos amostrados, apenas 1 (02/07/2014) teve sua região de formação entre 20° S e 30° S, apresentando deslocamento para sudeste. O evento teve sua formação no continente, sobre a costa do Rio Grande do Sul. A proximidade com a região costeira pode ser a causa da erosão acentuada. Este evento foi o 2^o que apresentou o maior teor médio de minerais pesados. Reboita *et al* (2008) identificaram uma região de ciclogênese próxima a esta, entre 20° e 35° S.

Da mesma forma, apenas 1 evento apresentou ciclogênese entre 30° e 40° ($11/2013$), com deslocamento para sudeste. Este evento foi o que apresentou o menor teor médio de minerais pesados. Entretanto, segundo Machado (2014) os eventos com formação entre 30° e 40° foram os principais geradores de ventos intensos e grandes

ondas para a costa do RS. Parise *et al* (2009) associaram à ciclogênese ao sul do Uruguai com deslocamento para leste e trajetória entre 35°S e 42,5°S a uma maior erosão observada na Praia do Cassino.

Três eventos amostrados apresentaram ciclogênese entre 40°S e 50°S (06/2013, 15/08/2013 e 01/2014), e apresentaram deslocamento para leste. O evento amostrado em 06/2013 foi o 5° a apresentar o maior teor médio de minerais pesados. Já evento amostrado em 15/08/2013 foi o 6° que apresentou o maior teor médio de minerais pesados. O evento amostrado em 01/2014 foi o 4° a apresentar o maior teor médio de minerais pesados. Um evento apresentou ciclogênese entre 50°S e 60°S (08/2014), apresentando deslocamento para sudeste. O mesmo foi o 3° a apresentar o maior teor médio de minerais pesados.

O evento no qual se pode observar um teor maior de minerais pesados ocorreu em 28/07/2014 e foi classificado como um sistema de cava. As cavas são representadas por um sistema de baixa pressão entre duas regiões adjacentes de maior pressão e não apresentam deslocamento (Goulart, 2014). Por serem estacionários, podem vir a causar maior impacto na costa, uma vez que imprimem próximo à zona costeira gradientes de pressão responsáveis por gerar ventos intensos. Entretanto, a autora classificou este sistema como de baixa amplitude no que diz respeito ao aumento de nível.

8. CONCLUSÕES

Em relação aos parâmetros granulométricos analisados, diâmetro médio, desvio padrão e assimetria, não foi possível observar uma tendência única em determinado sentido, em função da alta variância dos dados. Entretanto, algumas inferências puderam ser feitas a fim de elucidar melhor as relações entre estes parâmetros e a ocorrência dos eventos amostrados.

Tanto o tamanho médio de grão quanto a assimetria parecem estar diretamente relacionados aos teores de minerais pesados. O teor de pesados aumenta à medida que diminui o tamanho do grão, imprimindo uma assimetria mais positiva ao depósito. Entretanto, para o desvio padrão, não há uma relação significativa, mas é possível observar uma tendência à diminuição no grau de selecionamento à medida que o teor de minerais pesados aumenta, provavelmente devido a maior dispersão causada pela areia muito fina em torno do tamanho médio.

Foi observado um aumento no teor de minerais pesados ao sul da área de estudo, o que pode indicar a área-fonte de dispersão dos mesmos. Processos de erosão mais acentuados nesta região, possivelmente relacionados à erosão das barrancas arenosas da Formação Chuí podem ser uma das causas. O decréscimo desses minerais no sentido sudoeste-nordeste pode ser um indício da direção predominante do transporte sedimentar, uma vez que os minerais pesados apresentam menor susceptibilidade à entrada em movimento. Ao utilizar os índices mineralógicos TZi e GCi, foi possível observar uma tendência de aumento e diminuição na direção norte da área de estudo, indicando um possível transporte sedimentar neste sentido.

Os minerais pesados encontrados nos depósitos de praia provêm essencialmente da plataforma continental interna, trazidos pelas ondas durante períodos de tempestade e depositados na região do pós-praia. Ondas e correntes também são responsáveis pela erosão das dunas frontais em períodos de tempestade, disponibilizando os minerais pesados para a formação de depósitos residuais no pós-praia. Locais onde há um campo de dunas permanente e onde ocorrem interações praia-duna tendem a apresentar um maior teor de minerais pesados nos sedimentos. Deve ser considerado também o papel dos sangradouros, que ao drenarem os paleocordões, contribuem no transporte de minerais pesados para a região litorânea.

O sistema atmosférico responsável pela maior taxa de erosão, acompanhado do maior teor de minerais pesados, foi um sistema de cava. As cavas se formam sobre o sul do Brasil e não sofrem deslocamento, podendo este fato estar relacionado à maior erosão, uma vez que o sistema permanece estacionário. Outro sistema que apresentou erosão acentuada e teores elevados de pesados teve sua região de formação entre 20° S e 30° S, com deslocamento para sudeste. O evento teve sua formação no continente, sobre a costa do Rio Grande do Sul, o que possivelmente está relacionado a uma maior erosão.

A ilmenita e o zircão são os minerais mais abundantes na área de estudo. Estas espécies possuem os maiores fatores de concentração, ou seja, apresentam uma forte tendência a constituir um depósito de plácer. A composição da assembleia mineralógica da região é atribuída às rochas do Escudo Sul- Rio- Grandense e Uruguaio, assim como aos basaltos da Serra Geral.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Addad, J. E. 2010. Minerais pesados: uma ferramenta para prospecção, proveniência, paleogeografia e análise ambiental. São Paulo. 80p.

Albuquerque, M. G. 2013. Análise espaço- temporal das causas da variabilidade da linha de costa e erosão na Praia do Hermenegildo, RS. Porto Alegre, 126p. Tese de doutorado, Programa de Pós- graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Barletta, R. C. 2000. Efeito da interação oceano- atmosfera sobre a morfodinâmica das praias do litoral central do Rio Grande do Sul, Brasil. 134 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande.

Barros, C. E., Toldo Jr., E.E. & Rizzardo, 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: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO*, 10, 2005, Guarapari, Anais... , ABEQUA, 1 CD-ROM.

Benavente, J., Del Río, L., Gracia, F. J., Martínez-del-Pozo, J. A. 2006. Coastal flooding hazard related to storms and coastal evolution in Valdelagrana spit (Cadiz Bay Natural Park, SW Spain). *Continental Shelf Research*, 26: 1061–1076.

Briggs, D. 1977. Sediments sources and methods in geography. Butterworths, London, 193p.

Calliari, L. J. 1980. Aspectos geológicos e ambientais da região estuarial da Lagoa dos Patos. 190p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Calliari, L. J. & Klein, A. H. F. 1993. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. *Pesquisas em Geociências*, 20 (1): 48- 56.

- Calliari, L. J., Tozzi, H. A. & Klein, A. H. F. 1998. Beach Response to Storm Surge in Southern Brazil. ANAIS DA ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIA, v.70, n. 2, p. 231-247.
- Calliari, L. J., Guedes, R. M. C., Pereira, P. S., Lélis, R. F., Antikeira, J. A. & Figueiredo, S. A. 2010. Perigos e riscos associados a processos costeiros no litoral sul do Brasil (RS): uma síntese. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, 14(1): 51-63.
- Cascalho, J. P. V. R. C. 2000. Mineralogia dos sedimentos arenosos da Margem Setentrional Portuguesa. 385p. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências. Universidade de Lisboa.
- Coli, A. B. 2000. Estudo do clima de ondas em Rio Grande, RS. 76 p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica. Departamento de Oceanografia. Universidade Federal do Rio Grande.
- Corrêa, I. C. S., Ayup- Zouain, R. N., Weschenfelder, J. & Tomazelli, L. J. 2008. Áreas fonte dos minerais pesados e sua distribuição sobre a Plataforma Continental Sul-brasileira, Uruguia e Norte-argentina. *Pesquisas em Geociências*, 35 (1): 137-150.
- Da Silva, M. A. M. 1976. Mineralogia das areias de praia entre Rio Grande e Chuí- Rio Grande do Sul. 93p. Dissertação de mestrado. Programa de Pós- Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Da Silva, M. A. M. 1979. Provenance of heavy minerals in beach sands, southeastern Brazil: from Rio Grande to Chui (Rio Grande do Sul State). *Sedimentary Geology*, 24:133 -148.
- Davies, J. L., 1980. Geographical Variation in Coastal Development. Longman, Londres, 221p.
- Dillenburg, S. R., Tomazelli, L. J. & Barboza, E. G. 2004. Barrier evolution and placer formation at Bujuru southern Brazil. *Marine Geology*, 203: 43- 56.
- Clemens, K. E. & Komar, P. D. 1988. Tracers of sand movement on the Oregon Coast. *Coastal Engineering*, 1338- 1351.

Figueiredo, S. A. & Calliari, L. J. 2006. Sedimentologia e suas implicações na morfodinâmica das praias adjacentes às desembocaduras da linha de costa do Rio Grande do Sul. *Revista Gravel*, 4: 73-87.

Fontoura, J. A. S. 2004. Hidrodinâmica costeira e quantificação do transporte longitudinal de sedimentos não coesivos na zona de surfe das praias adjacentes aos molhes da Barra do Rio Grande, RS, Brasil. 275 p. Tese de Doutorado. Programa de pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisas Hidráulicas-IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Folk, R.L. & Ward, W.C. 1957. "Brazos River Bar: a Study in the Significance of Grain Size Parameters". *Journal of Sedimentary Petrology*, 27 (1): 3-26.

Gan, M. A. & Rao, B. V. 1991. Surface cyclogenesis over South America. *Monthly Weather Review*, 119: 293- 302.

Goulart, E. S. 2014. Variabilidade morfodinâmica temporal e eventos de inundação em um sistema praial com múltiplos bancos. 127p. Programa de pós-graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica. Instituto de Oceanografia. Tese de doutorado.

Guedes, C. C. F., Gianinni, P. C. F., Nascimento, D. R., Sawakuchi, A. O., Tanaka, A. P. B. & Rossi, M. G. 2011. Controls of heavy minerals and grain size in a holocene regressive barrier (Ilha Comprida, southeastern Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, 31: 110-123.

Hand, B. M. 1967. Differentiation of beach and dune sands, using settling velocities of light and heavy minerals. *Journal of Sedimentary Petrology*, 37: 514-520.

Hoskins, B. J. & Hodges, K. I. 2005. A New on Southern Hemisphere Storm Tracks. *Journal of Climate*, 18, 4108-4129.

Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K. C, Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R., Jenne, R. & Joseph, D. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77: 437-471.

Komar, P. D. & Wang, C. 1984. Processes of selective grain transport and the formation of placers on beaches. *Journal of Geology*, 92: 637-656.

Komar, P.D. 1998. Beach Processes and Sedimentation. Englewood Cliffs, Nova Jersey. 544 p.

Lélis, R. J. F. & Calliari, L. J. 2006. Historical shoreline changes near lagoonal and river stabilized inlets in Rio Grande do Sul State, Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, (39), 301-305.

Long, T. & Paim, P. S. G. 1987. Modelo de evolução histórica e holocênica do estuário da Lagoa dos Patos. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 1987. Porto Alegre, p. 227-248.

Lowright, R., Williams, E. G. & Dachille, F. 1972. An analysis of factors controlling deviations in hydraulic equivalence in some modern sands. *Journal of Sedimentary Petrology*, 42: 635-645.

Machado, A. A. 2014. Estudos dos padrões atmosféricos sinópticos geradores de eventos extremos de altura de onda, intensidade de vento, marés meteorológicas, e erosão na costa do Rio Grande do Sul. 80p. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica. Instituto de Oceanografia. Universidade Federal do Rio Grande.

Martins, L. R. 1967. Aspectos deposicionais e texturais dos sedimentos praias e eólicas da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Publicação especial da escola de geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, n. 13, p. 1-102.

Martins, L. R. 2003. Recent sediments and grain size analysis. *Revista Gravel*, 1: 90-105.

Martins, L. R. 2006. Relações texturais das areias da zona costeira do Rio Grande do Sul. *Revista Gravel*, 4: 63-72.

Martins, L. P. 2011. Estudo e avaliação das assembleias de minerais pesados detríticos das areias holocênicas praias da margem emersa da bacia de Pelotas. 46p. Dissertação de mestrado. Programa de Pós- Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- Möller, O., Lorenzetti, J., Stech, J. L., & Mata, E. M. 1996. The Patos Lagoon summertime circulation and dynamics. *Continental Shelf Research*, 16 (3): 335-351.
- Morton, A. C. & Hallsworth, C. R., 1994. Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology*, 90: 241 e 256.
- Morton, A. C. & Hallsworth, C. R. 1999. Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology*, 124: 3-29.
- Motta, V. F. 1969. Relatório-diagnóstico sobre a melhoria e o aprofundamento do acesso pela barra de Rio Grande. Relatório técnico, Instituto de pesquisas hidráulicas da UFRGS (IPH/UFRGS). Porto Alegre. 114 p.
- Munaro, P. 1994. Geologia e mineralogia dos depósitos de minerais pesados de Bojuru-RS, 96 p. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Nicolodi, J. L., Siegle, E., Rechden, R. C. & Correa, I. C. S. 2002. Análise sedimentológica do pós-praia no Rio Grande do Sul. *In: Martins, L.R.; Toldo Jr., E.E.; Dillenburg, S.R. (Org.). Erosão Costeira: Causas, análise de risco e sua relação com a gênese de depósitos minerais. OEA/IOC-UNESCO/MCT, CD-ROM.*
- Palma, J. C. 1979. Depósitos de Minerais Pesados. *In: Amaral, C.A.B. (Ed.). Recursos Minerais da Margem Continental Brasileira e das Áreas Oceânicas Adjacentes. Rio de Janeiro, Projeto REMAC, n. 10, p. 33-50.*
- Parise, C. K., Calliari, L. J. & Krusche, N. 2009. Extreme storm surges in the south of Brasil: atmospheric conditions and shore erosion. *Brazilian Journal of Oceanography*, 57(3): 175-188.
- Pianca, C., Mazzini, P. L. & Siegle, E. 2010. Brazilian Offshore Wave Climate Based on NWW3 Reanalysis. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58(1), 53-70.
- Pomerancblum, M. & Costa, M. P. A. 1972. Integração de informações sobre os minerais pesados na plataforma continental brasileira. *In: Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Geologia, v. 2, p. 179-186.*
- Pugh, D. T. 1987. Tides, surges and mean sea level. A handbook for Engineers and Scientists, John Wiley & Sons Ltd, New York, 472pp.

Reboita, M. S. Ciclones extratropicais sobre o Atlântico Sul: simulação climática e experimentos de sensibilidade, 294p. 2008. Tese de doutorado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo.

Rittenhouse, G. 1943. Transportation and deposition of heavy minerals. *Bulletin of the Geological Society of America*, 54: 1725-1780.

Rubey, W. W. 1933. The size distribution of heavy minerals within a water-laid sandstone. *Journal of Sedimentary Petrology*, 3: 3-29. *In*: Cascalho, J. P. V. R. C. 2000. Mineralogia dos sedimentos arenosos da Margem Setentrional Portuguesa. 385p. Tese de Doutorado. Universidade de Lisboa.

Schwartz, M. L. 1982. A coastal geomorphologist's views on recent developments in coastal geomorphology. *In*: Bruum, P. Port Engineering. Gulf Publ, Houston. 2 p. 791-801.

Saraiva, J. M. B., Bedran, C. & Carneiro, C. 2003. Monitoring of Storm Surges on Cassino Beach. *Journal of Coastal Research*, 35: 323- 331.

Silva, C. G. 2000. Pláceres Marinhos. *Revista Brasileira de Geociências*, 18 (3): 327-336.

Siegle, E. & Calliari, L. J. 2008. High energy events and short-term changes in superficial beach sediments. *Brazilian Journal of Oceanography*, 56(2):149-152.

Simmonds, I., Keay, K. 2000a. Variability of Southern Hemisphere Extratropical Cyclone Behavior, 1958 – 1997. *Journal of Climate*, 13: 550 – 561.

Sinclair, M. R. 1994. An Objective Cyclone Climatology for the Southern Hemisphere. *Monthly Weather Review*, 122: 2239-2256.

Sinclair, M. R. 1995. A climatology of cyclogenesis for the Southern Hemisphere. *Monthly Weather Review*, 123: 1601-1619.

Speranski, N. & Calliari, L. J. 2001. Bathymetric Lenses and Localized Coastal Erosion in Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, 34: 209-215.

Terence, V. 2013. Caracterização do sistema praia- duna ao longo da costa Uruguaia, de Montevideo a La Coronilla. 107pp. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica. Universidade de São Paulo.

Tomazelli, L. J. & Villwock, J. A. 1992. Considerações sobre o ambiente praial e a deriva litorânea de sedimentos ao longo do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 19 (1): 3-12.

Tomazelli, L. J. & Villwock, J. A. 2000. O Cenozóico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. *In: Holz, M. & De Ros, L. F. Geologia do Rio Grande do Sul. Edição CIGO/UFRGS, Porto Alegre, p. 375-406.*

Tomazelli, L. J. & Villwock, J. A. 2005. Mapeamento geológico de planícies costeiras: o exemplo da costa do Rio Grande do Sul. *Revista Gravel*, 3: 109-115.

Tozzi, H. A. M. 1999. Influência das tempestades extratropicais sobre o estoque subaéreo das praias entre Rio Grande e Chuí, RS. Campanha do outono e inverno de 1996. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande. p?

Tozzi, H. A. M.; Calliari, L. J. 1999. Trajetórias e distribuição das tempestades extratropicais e o impacto na costa do Rio Grande do Sul. *In: Congresso Latinoamericano de Ciências do Mar 7., , Porto Seguro. Anais... Porto Seguro, BA.*

Weschenfelder, J., Corrêa, I.C.S., Toldo Jr., E.E. & Baitelli, R. 2010. A drenagem pretérita do Rio Camaquã na costa do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências*, 37 (1): 13-23.

Weycamp, F. V. 2006. Meteorologia Sinótica e Aplicações à Oceanografia. UNIDADE 2: Características de tempo e clima da Terra.