

TENDÊNCIAS DE VARIAÇÃO NA LINHA DE COSTA DE CIDREIRA (RS) E SUAS RELAÇÕES COM PARÂMETROS OCEANOGRÁFICOS E METEOROLÓGICOS

Alice Ioppi Casagrande

Oceanóloga (FURG); Mestre em Oceanografia Química, Física e Geológica (FURG)
Consultora

E-mail: titecasa@gmail.com

Deborah Fonseca Aguiar

Oceanógrafa (UNIVALI); Mestre em Engenharia Oceânica (FURG)
Consultora

E-mail: deborahaguiar09@gmail.com

João Luiz Nicolodi

Geógrafo (UFRGS); Doutor em Geociências (UFRGS)
Professor do Instituto de Oceanografia -Universidade Federal de Rio Grande (FURG)
E-mail: joaoluznicolodi@gmail.com

André Araujo Damião

Oceanólogo (FURG); Mestre em Oceanografia Química, Física e Geológica
Marinha do Brasil, Centro de Hidrografia da Marinha
E-mail: andre_damiao11@hotmail.com

RESUMO

Visando contribuir ao desenvolvimento sustentável da zona costeira, este trabalho tem como objetivo obter a tendência de variação da linha de costa da praia de Cidreira para o período entre 2003 e 2014, comparando-a e discutindo com o panorama até então apontado na literatura para a região. Foram utilizadas imagens aéreas de diversas datas, as quais foram georreferenciadas, tendo calculadas suas taxas de variação de linha de costa a partir do Método do Polígono da Mudança. Foram analisados dados de ondas e ventos disponíveis em bancos de dados públicos na web. Buscou-se ainda avaliar a sazonalidade do perfil praial a partir de dados topográficos obtidos em campo. Os resultados obtidos assinalaram saldo positivo no balanço sedimentar para o período. Os dados de vento analisados apontam aumento na frequência dos ventos provindos do continente. Os dados de onda apontaram maior frequência da direção S seguidas da direção ENE, período entre 6s e 8s e altura entre 1,5m e 2,0m. Os perfis praiais apontaram acresção nos meses de primavera e verão, e erosão nos meses de outono e inverno. Conclui-se haver uma reversão de tendência da variação da linha de costa de Cidreira de um padrão erosivo apontado no final da década de 1990 e começo de 2000 para um padrão estável e/ou progradante entre os anos de 2003 e 2014, relacionado principalmente à variação nos padrões de ventos da região no período analisado, tendo como consequência principal acresção no pacote vertical de sedimentos.

PALAVRAS CHAVE: progradação; erosão; linha de costa; clima, litoral do Rio Grande do Sul.

VARIATION TRENDS ON THE CIDREIRA COAST LINE (RS) AND ITS RELATIONSHIP WITH OCEANOGRAPHIC AND METEOROLOGICAL PARAMETERS

ABSTRACT

Aiming to contribute to the sustainable development of the coastal zone, this work intends to obtain the trend of variation of the beach coast line of Cidreira, Rio Grande do Sul, Brazil, for the period

between the years of 2003 and 2014. Aerial images of several georeferenced dates were used, having their rates of coastline variation calculated by the Polygon of Changes method. Waves and winds data were analyzed from public databases on the web. A Nikon total station was used for the seasonal evaluation of the beach profile. The results obtained indicated a positive result in the sedimentary balance for the period. The wind data analyzed indicate an increase in the frequency of the continental winds. The wave data showed a higher frequency of the S direction followed by the ENE direction, period between 6s and 8s and height between 1.5m and 2.0m. The beaches profiles showed accretion in the months of spring and summer, and erosion in the months of autumn and winter. The conclusion is that there is a reversal of the trend of the Cidreira coastline variation from an erosive pattern pointed in the late 1990s and early 2000 to a stable and / or progradant pattern between 2003 and 2014. This stable pattern is mainly related to the variation in the region's wind patterns in the analyzed period, with the main consequence being the vertical sediment packet.

KEYWORDS: progradation; erosion; shoreline; climate changes; Rio Grande do Sul shoreline

INTRODUÇÃO

O conhecimento detalhado de processos e agentes (ondas, ventos, marés, balanço sedimentar) que atuam na variabilidade da posição da linha de costa de praias oceânicas é crucial à tomada de decisões pelo poder público, contribuindo ao melhor uso do espaço pela sociedade, com foco na conservação de ecossistemas e seus serviços e no desenvolvimento sustentável das zonas litorâneas.

O estado do Rio Grande do Sul ainda é uma das poucas regiões onde a população litorânea não excede a interiorana (STROHAECKER, 2016), porém ao longo das últimas décadas esse padrão vem sendo alterado e o aumento da especulação imobiliária nestas regiões apresenta crescimento exponencial.

De acordo com IBGE (2010) o litoral norte do Rio Grande do Sul foi um dos segmentos urbanos que mais cresceu em termos relativos entre os anos 2000 e 2010 chegando a obter uma taxa de crescimento médio anual maior que a região metropolitana de Porto Alegre.

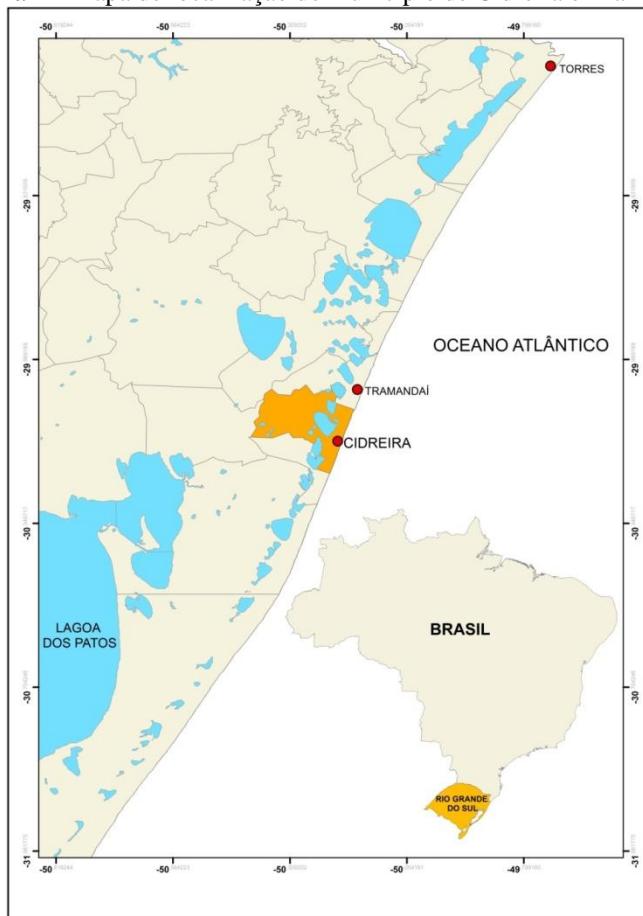
Dentre esses municípios do litoral norte que possuem elevado crescimento populacional está Cidreira. Este município possui, do ponto de vista de veraneio, a mais antiga praia do litoral norte do Rio Grande do Sul, sendo ainda uma das mais próximas à capital (120 km de Porto Alegre).

A intensificação da dinâmica de uso desta porção do território, com destaque à especulação imobiliária, remete a necessidade de uma melhor compreensão dos processos dinâmicos atuantes nesses locais, com destaque para a relação entre variáveis hidrodinâmicas (ondas, ventos, marés, etc) e variáveis geomorfológicas (transporte sedimentar). Tal compreensão permite conhecer as variações da linha de costa em diferentes escalas temporais e espaciais.

Além deste cenário já exposto, variações em parâmetros climáticos no Rio Grande do Sul são amplamente registradas na última década, com recordes históricos documentados pelo CPTEC (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos), INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Dentre eles estão a maior temperatura no estado em 71 anos, maior enchente desde 1967, e o inverno mais quente em 2014. Em 2015, Porto Alegre registrou a temperatura máxima mais alta para o mês de agosto em 105 anos. Em 2016, foi registrado o mês de março mais quente em 137 anos e a menor temperatura mínima para o mês de abril desde 1967, além da passagem de um severo ciclone extratropical em outubro que elevou o nível do mar em patamares poucas vezes identificados na literatura (OLIVEIRA et al. 2017).

É neste contexto que se insere o presente estudo: discutir uma possível reversão (a ser descrita posteriormente) na tendência erosiva da linha de costa do município de Cidreira, RS (Figura 1) e analisar quais parâmetros podem estar associados a esta variação. Para tanto, foram comparadas imagens aéreas de diferentes datas, bem como foram analisados bancos de dados de ventos e ondas para um período de 10 anos buscando identificar alterações significativas. Para descrição do comportamento sazonal da praia de Cidreira foram realizadas medições mensais de perfil topográfico visando avaliar possíveis variações no pacote sedimentar em curta escala temporal (um ano).

Figura 1 - Mapa de localização do município de Cidreira e Tramandaí.



Organização: os autores

O presente estudo pressupõe a abordagem de um tema atual e em constante debate dentro da ciência e no âmbito das mudanças climáticas: A variabilidade da linha de costa e suas relações com parâmetros climáticos e oceanográficos. Parte-se do estudo realizado por Casagrande (2014), que no âmbito do projeto “Identificação da vulnerabilidade da costa do Rio Grande do Sul frente a eventos meteorológicos extremos e definição metodológica de Geoindicadores”¹, apontou uma possível inversão na tendência da linha de costa de Cidreira entre o panorama traçado no inicio da década de 2000 e a década atual.

Indicadores morfológicos visuais como dunas embrionárias permanentes, altura do pacote sedimentar em relação a muros e calçadões (Figura 2), dunas vegetadas em frente de obras de contenção de erosão, entre outros, suscitaram dúvidas em relação às tendências erosivas identificadas por outros autores em décadas passadas (TOMAZELLI et al., 1998; TOLDO Jr. et al.

¹ Projeto vinculado ao Instituto de Oceanografia da Universidade Federal de Rio Grande (FURG).

1999; ESTEVES et al. 2002; MARTINHO, 2008). Estes trabalhos apontavam uma tendência erosiva em praticamente toda a linha de costa da região de Cidreira.

Como forma de contribuir a essa discussão, esta pesquisa visa contribuir para um melhor entendimento dos processos atuantes na variabilidade da linha de costa a fim de auxiliar os programas de gestão costeira na ocupação e uso do espaço geográfico costeiro.

Figura 2 - Destaque para altura do pacote vertical de sedimentos acumulados junto ao calçadão (a), enrocamentos (b) e muro de contenção instalado no pós praia (c).



Fonte: fotos dos autores

MATERIAIS, MÉTODOS E TÉCNICAS

Diferentes metodologias foram adotadas para uma melhor compreensão da tendência de variação da linha de costa da praia de Cidreira, sendo as mesmas descritas a seguir.

Perfis praiais

Para o estudo do comportamento do perfil sedimentar da praia de Cidreira (pequena escala temporal), foi monitorada a diferença de comprimento da largura de praia e altura do pacote sedimentar, no período de novembro de 2014 a agosto de 2015.

As perfilagens foram feitas em três pontos distintos transversais à linha de costa: O primeiro ao sul da Plataforma de Pesca de Cidreira, em local com urbanização rarefeita (Figura 3), o segundo em frente ao calçadão existente no centro da cidade (região com obras de engenharia), e o terceiro em frente a Casa Tiberíades² (cordão extenso de dunas preservado).

Figura 3 - Localização dos pontos de controle dos perfis. Percebe-se o contraste dos campos de dunas com a urbanização do local.



Fonte da imagem: Google Earth. Organização: os autores

Para as medições foi utilizada uma estação total Nikon DTM-330 e um prisma óptico, com a qual os perfis monitorados seguiram o mesmo alinhamento onde a estação foi ancorada, em um marco de referência (RN: Referência de Nível) instalado sobre as dunas frontais.

Os perfis possuem a finalidade de avaliar o comportamento anual do perfil praial de Cidreira e seus eventos acrescivos e erosivos ao longo de um ano. Juntamente com a aquisição dos dados de perfil, foram feitos acompanhamentos de tabuas de maré e elementos climatológicos atuantes na

² Colônia de férias para padres e sacerdotes, denominada popularmente como “Seminário dos Padres”.

região, uma semana antes e três dias após a medição. Os dados obtidos foram tratados e analisados por meio de software padrão para a interpolação dos dados.

Análise das imagens

A utilização do sensoriamento remoto, em diferentes escalas e datas, é uma ferramenta muito utilizada no reconhecimento das principais feições morfológicas, sendo capaz de indicar a dinâmica dos sistemas deposicionais costeiros, a variabilidade da linha de costa e sua evolução no tempo (BENTZ & GIANNINI, 2003).

Foram comparadas imagens de alta resolução de diferentes anos (2004, 2009, 2012 e 2015) obtidas com Google Earth Pro. A escolha das datas baseou-se na análise previa das condições meteorológicas entre sete dias antes e sete dias após as datas de obtenção das imagens, com a finalidade de não superestimar ou subestimar a vetorização das linhas de costa em cada imagem, visto que passagens de frentes podem resultar em significativos empilhamentos de água na costa ou no oceano. Foram observados, principalmente, dados de direção e intensidade dos ventos assim como de pressão atmosférica. As baixas pressões atmosféricas tendem a elevar o nível médio do mar e os ventos quando constantes (período de vários dias) em um quadrante preferencial podem também empilhar ou retirar água da costa em função da espiral de Eckman.

Para confecção de mosaicos referentes a cada ano, foram utilizadas cinco imagens obtidas em escala de 1:5000. Essas imagens foram georreferenciadas no sistema de coordenadas UTM, datum WGS 84 22S. Para o georreferenciamento foram escolhidos 100 pontos de controle para cada data, todos próximos à linha de espraiamento de onda. As feições utilizadas para georreferenciamento das imagens foram obras de engenharia fixas como casas, quadras ou ruas. Por meio do software ENVI®, foram gerados mosaicos fotográficos para cada data em questão visando estimar a evolução da linha de costa para o referido período.

Com base em Toldo et al. (1999), optou-se pela utilização da linha de preamar média como sendo a representativa da linha de costa. A linha de preamar média é identificada como a linha que separa a areia seca da areia molhada. Com utilização do software ArcGis®, foi gerada uma linha de base comum para todas as datas seguidas da geração de polígonos. Com os polígonos prontos utilizou-se a rotina “Modeler” do software Erdas Imagine®, da qual a partir do Método do Polígono da Mudança (SMITH & CROMLEY, 2012), obtiveram-se as taxas de erosão e acresção em cada polígono na unidade de m^2 .

No Método do Polígono da Mudança, a partir de duas linhas de costa distintas previamente

vetorizadas, é possível extrair as áreas erodidas e/ou acrescidas, através da geração e subtração de polígonos. Assim, do cruzamento de duas linhas de costa, uma série de polígonos é criada de forma que estes representem as regiões que estão sofrendo processo de acresção e/ou erosão. Dessa forma, áreas de mudança, tanto acrescivas quanto erosivas, podem ser calculadas a partir da decomposição desse polígono complexo em uma série de sub polígonos simples.

Análise de ondas

A morfologia costeira, ou morfologia praial, é função da interação entre a dinâmica local e o substrato de fundo. Neste contexto as ondas de gravidade, possuem um papel fundamental na remobilização do material de fundo e consequentemente no transporte de sedimento (RODRIGUEZ et al. 2016).

Como input de dados de ondas foi utilizada as séries disponíveis pela NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) (<ftp://nopp.ncep.noaa.gov>), contendo parâmetros de onda [altura(Hs), período(Tp) e direção (Dp)] e vento [direção (dir.) e intensidade (vel.)] correspondente à 30 anos (1979-2009). Esses dados são produzidos pelo modelo de águas profundas NWW3 (WaveWatch III), utilizando os dados de vento de Reanálise do NCEP/CFSR, (*National Center for Environmental Prediction/Climate Forecast System Reanalysis*) como entrada para o modelo de ondas. Tais dados foram validados por Aguiar *et.al* (2014), onde os autores realizaram uma comparação entre os dados sintéticos do NWW3 com medições de campo realizadas pela boia Minuano-PNBÓIA para a região *offshore* de Rio Grande, obtendo resultados considerados satisfatórios. Outros trabalhos semelhantes que validaram este tipo de dados, neste caso em Santa Catarina, podem ser encontrados em Melo Fº *et. al.* (2010) e Franco & Melo Fº *et. al.* (2008).

42

Análise de ventos

Parâmetros relacionados à dinâmica dos ventos incidentes na Planície Costeira do RS, bem como variações do nível médio do mar, são considerados os principais agentes responsáveis pelos processos geomorfológicos que atuam na região (TOMAZZELI, 1993; MACHADO, 2014; MAIA *et. al.* 2016). No presente trabalho são analisados os parâmetros de frequência, intensidade e direção de vento para a praia de Cidreira. Os dados foram obtidos junto à estação de Tramandaí³, para um período de 10 anos. Todos os dados foram obtidos a partir do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e foram convertidos em gráficos (rosa de ventos) utilizando algoritmos específicos

³ Aproximadamente 30 quilômetros de distância do local dos perfis, na localização 30° 00' S e 50° 08" W.

no Matlab. A aquisição dos dados é feita de hora em hora e são obtidos dados de direção (ângulo de incidência) na unidade de graus e velocidade do vento na unidade de m/s. Todos os dados foram normalizados e padronizados a 10m de altura.

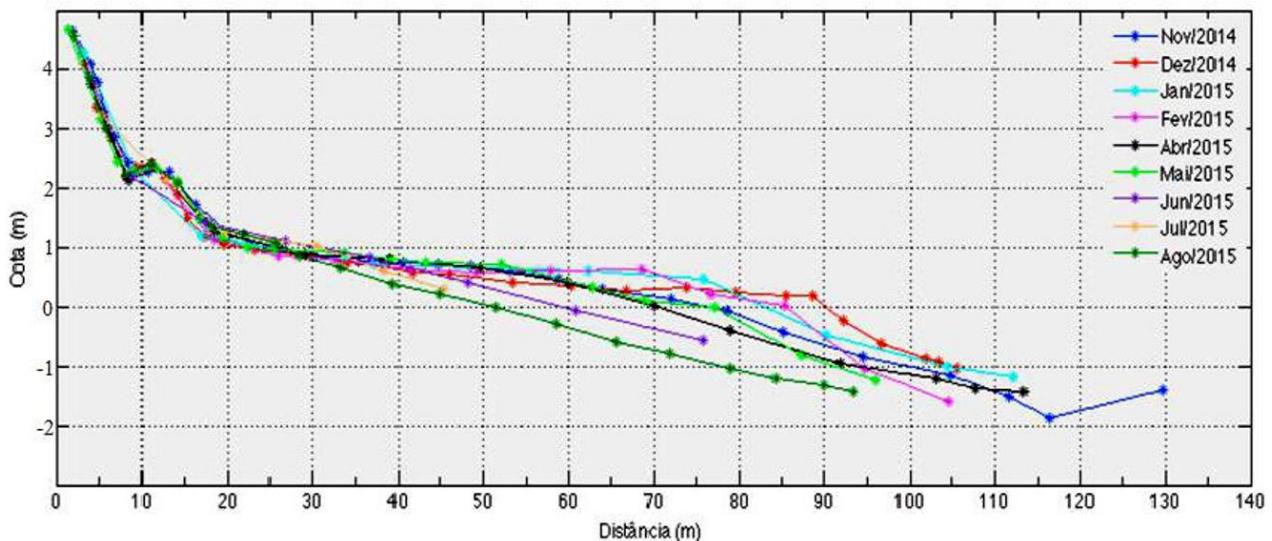
RESULTADOS

Perfis

Foram monitorados três pontos ao longo da praia de Cidreira os quais indicaram variações em função da sazonalidade, tendo como fonte uma série de 10 perfis de praia obtidos ao longo de 12 meses (novembro de 2014 a agosto de 2015) (figuras 4, 5 e 6).

O ponto 1 (Figura 4) possui a maior largura de faixa de areia, com exceção dos perfis medidos nos meses de junho e julho. Em todos os meses de coletas de dados a largura de praia não foi inferior à 90m de extensão, chegando ao seu máximo no mês de novembro de 2015 com 130m.

Figura 4 - Perfil ponto 1 “plataforma”.



Organização: os autores

Figura 5 - Perfil do ponto 2 “calçadão”

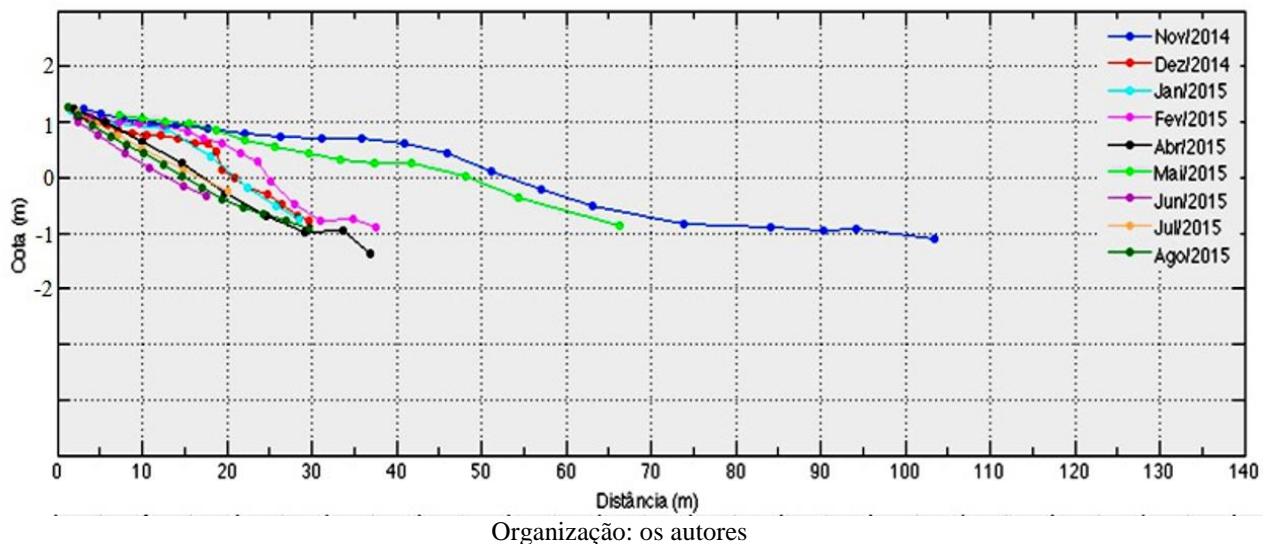
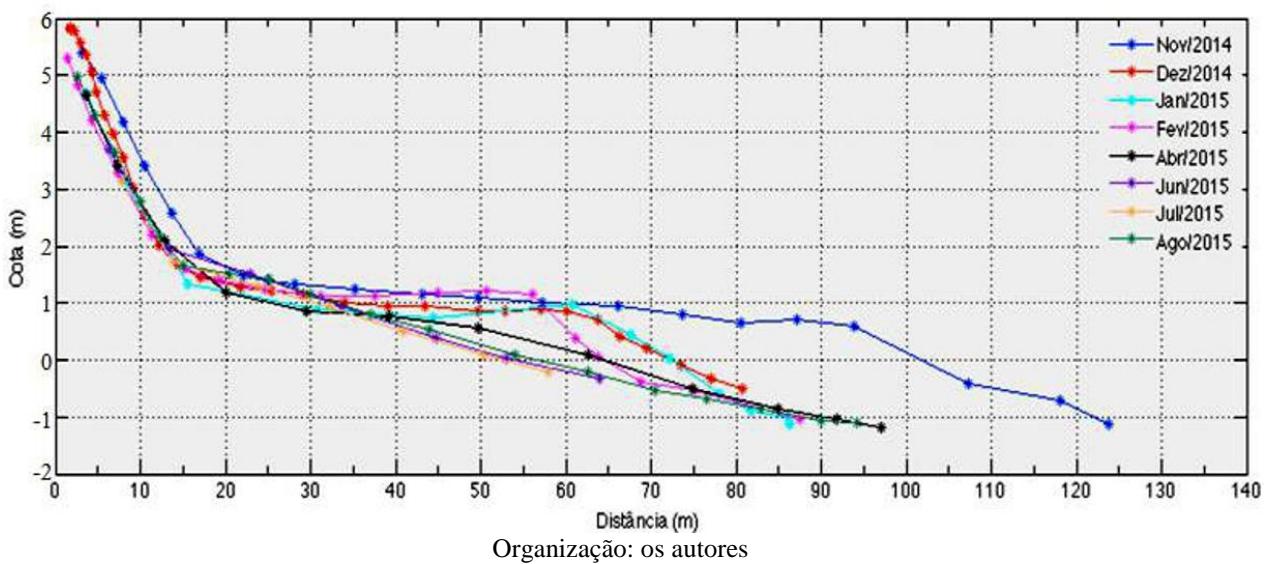


Figura 6 - Perfil do ponto 3 “seminário”



Imagens de satélite

As imagens foram obtidas em alta resolução no programa Google Earth Pro, para os anos de 2004, 2009, 2012 e 2015. O indicador de linha de costa escolhido foi a linha de preamar média ou linha de *swash*.

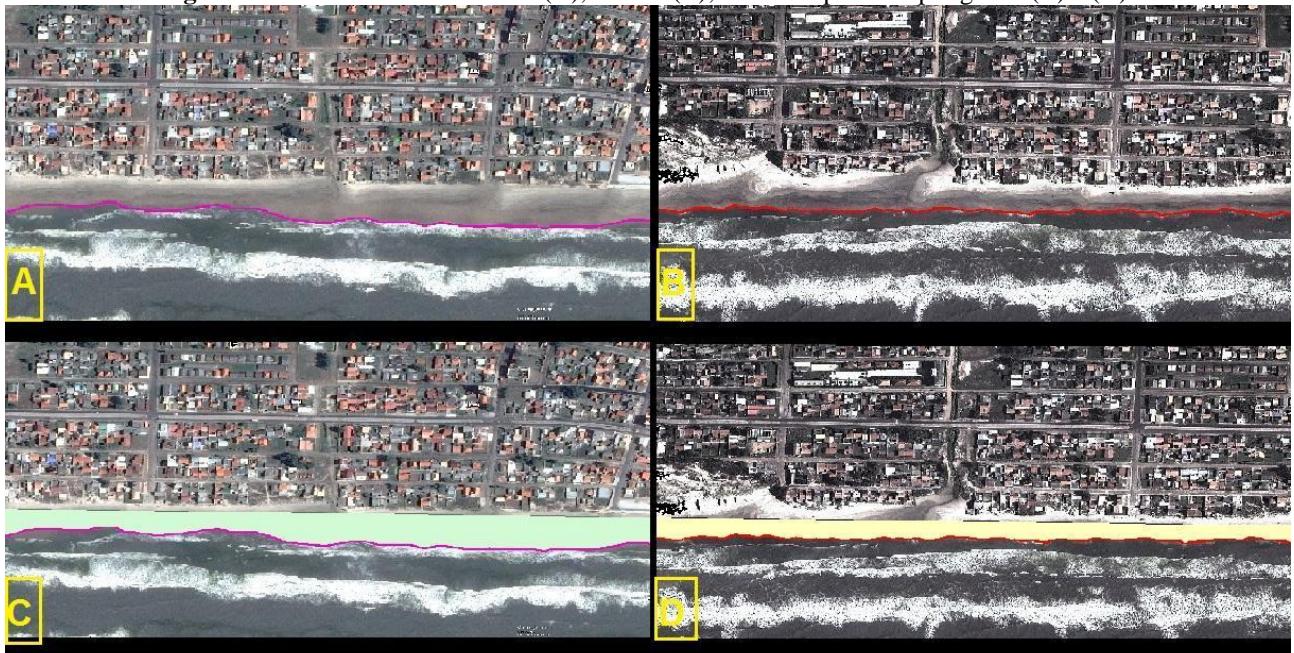
Os principais erros relacionados à linha de preamar como indicador da linha de praia estão associados à declividade da praia, ao *run up* de onda e amplitudes de maré astronômica e meteorológica. Variações nesses fatores podem gerar um erro de até 30m no plano horizontal (TOLDO et al. 1999), por isso todas as condições meteorológicas das datas escolhidas foram

monitoradas, evitando que se afastassem das médias para a região. Variações obtidas de até 30m no plano horizontal foram descartadas.

Depois de georreferenciados, os mosaicos passaram pelo processo de vetorização das linhas de costa, posteriormente foram obtidas as taxas de variação da linha de costa e suas respectivas áreas (figuras 7 e 8). Os resultados encontrados serão discutidos posteriormente, mas podem ser observados na Tabela 1.

As linhas referentes às diferentes datas foram transformadas em polígonos e sobrepostas, obtendo o valor referente ao balanço sedimentar, o qual pode ser positivo (progradação da linha de costa) ou negativo (erosão) para o período analisado.

Figura 7 - Linhas de costa de 2015 (A), e 2012 (B); e seus respectivos polígonos (C) e (D).



Fonte das imagens: Google Earth. Organização: os autores.

Figura 8 - Polígonos sobrepostos



Fonte das imagens: Google Earth. Organização: os autores.

Tabela 1 - Sistematização dos dados obtidos com aplicação do Polígono da Mudança para a linha de costa de Cidreira, RS entre os anos de 2004 e 2015.

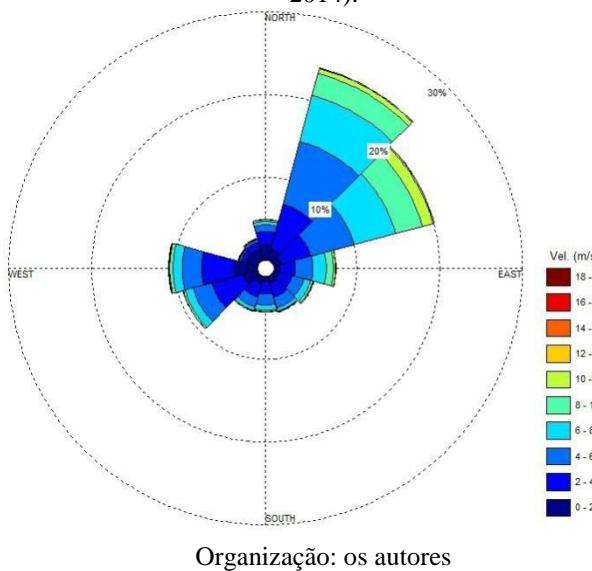
Intervalo	Erosão (m ²)	Progradação (m ²)	Balanço sedimentar
2004-2009	1.805.650 m ²	589.560 m ²	negativo
2009-2012	27.190 m ²	500.750 m ²	positivo
2012-2015	14.164 m ²	2.157.771 m ²	positivo
2004-2015	170.040 m ²	294.620 m ²	positivo

Ventos

Os resultados obtidos com a sistematização do banco de dados do INMET para a região de estudo durante todo o período analisado pode ser observado na Figura 9.

Os dados foram obtidos entre os anos de 2003 a 2014, resultando em uma predominância de ventos do quadrante E-NE (49%), seguidos por ventos do quadrante W-SW (24%). As velocidades medidas apresentaram o valor máximo de 20m/s.

Figura 9 - Rosa dos ventos representando direção, intensidade e frequência para todo o período de estudo (2003 a 2014).



Para fins de comparação, buscando-se variações significativas entre diferentes períodos de tempo, estes dados foram comparados àqueles analisados por Tomazelli (1990), conforme pode ser observado na Tabela 2 (todo o período) e Tabela 3 (por estação do ano).

Observam-se algumas variações na frequência de direção dos ventos entre os períodos analisados (1970 a 1982 e 2003 a 2014), com destaque para os ventos do quadrante norte que praticamente quadruplicaram sua frequência.

No presente trabalho observaram-se variações nas direções mais frequentes, sendo que se mantiveram as três primeiras direções (NE, W e SE), havendo uma substituição dos ventos de leste pelos ventos de norte. Outra mudança foi um aumento considerável dos ventos provindo da direção noroeste, pouco documentado por Tomazelli (1993).

Tabela 2 - Comparação entre a frequência de direção do vento entre diferentes conjuntos de dados: 1970 a 1982 (Tomazelli, 1990) e 2003 a 2014.

Direção	Frequência média (%) entre os anos 1970 e 1982. (Tomazelli, 1990)	Frequência média (%) entre 2003 e 2014
NE	41.4	37,8
E	10.5	12,07
SE	7.3	7,1
W	17.3	14,71
S	7.0	6,30
SW	7.5	10,04
NW	1.4	3,49
N	2.6	8,5

Tal comparação também foi realizada considerando-se a componente sazonal, com a definição das frequências médias nas quatro estações do ano. Os resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Comparação sazonal entre a frequência de direção do vento entre diferentes conjuntos de dados: 1970 à 1982 (TOMAZELLI, 1990) e 2003 à 2014.

Direção	Direção do vento (frequência média - %)							
	Primavera		Verão		Outono		Inverno	
	1970 - 1982	2003 - 2014	1970 - 1982	2003 – 2014	1970 - 1982	2003 - 2014	1970 - 1982	2003 - 2014
NE	46,5	42,9	46,7	44,2	32,2	31,6	40,06	33,4
E	12,8	13,4	13,3	16,4	7,8	11,7	8,03	6,9
SE	8,6	8,1	10,1	9,7	5,7	7,04	4,7	4,05
W	11,3	9,8	8,8	6,4	27,6	18,8	21,2	22,6
S	9,4	8,03	7,9	6,8	5,03	5,9	5,6	4,7
SW	8,5	9,9	5,3	5,7	6,8	10,9	9,3	13,2
NW	0,8	3,0	1,3	2,3	2,4	4,2	1,1	5,1
N	0,7	5,5	2,2	8,07	4,8	9,6	2,7	9,7

Ondas

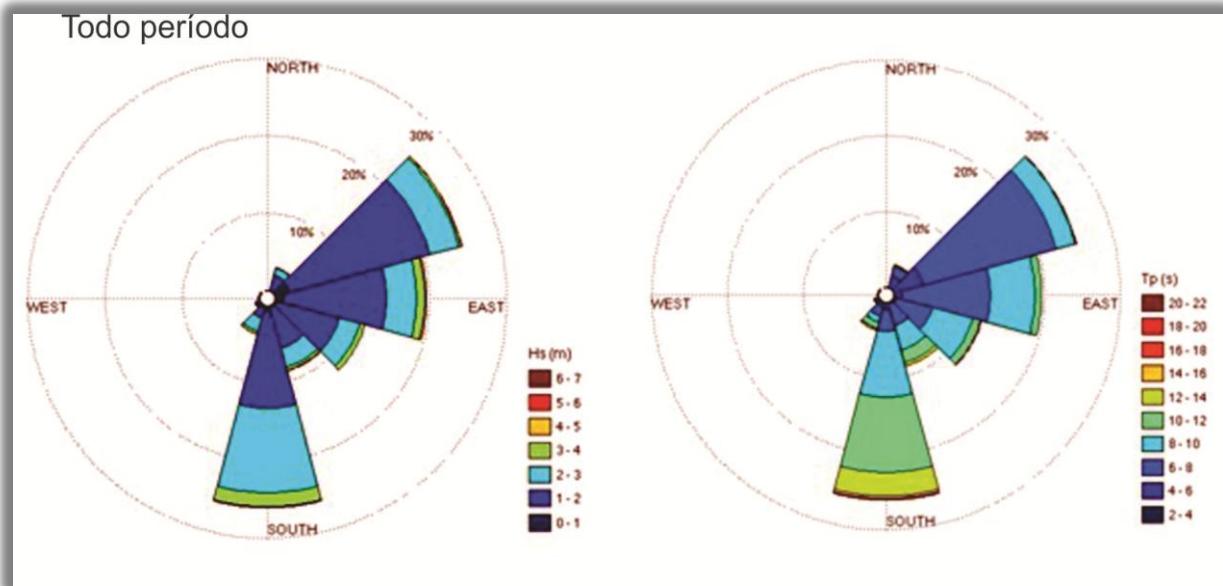
Dados relacionados a parâmetros de ondas são raros no Brasil, sendo que apenas na última década o país vem incrementando esforços nesse sentido (RODRÍGUEZ et al, 2016). Embora o Rio Grande do Sul tenha sido pioneiro neste tipo de trabalho, os registros são esparsos no tempo e no espaço. Tal cenário faz com que dados modelados sejam amplamente utilizados para pesquisas, como é o presente caso.

Os dados referentes aos parâmetros de ondas utilizados neste estudo são apresentados a seguir, na forma de rosa de ondas, conforme as figuras 10 (todo o período), 11 (primavera), 12 (verão), 13 (outono) e 14 (inverno).

A análise de 11 anos de dados (2003-2014) de ondas permite inferir que, para a região de estudo, há ocorrência tanto de ondas vagas (baixo período) quanto ondas de *swell* (grande período). As ondas de altura significativa mais frequente foram as de valores entre 1,5 m e 2,0 m. A direção de incidência predominante foi de S seguidas da direção ENE, com período entre 6s e 8s. Tais informações são compatíveis com os registros de ondas já conhecidos para a região de estudo

(RODRIGUES et al., 2016), bem como são condizentes com os também conhecidos padrões de distribuição sedimentar no RS (TOMAZELLI & VILWOCK, 1992; TOLDO et al. 2006).

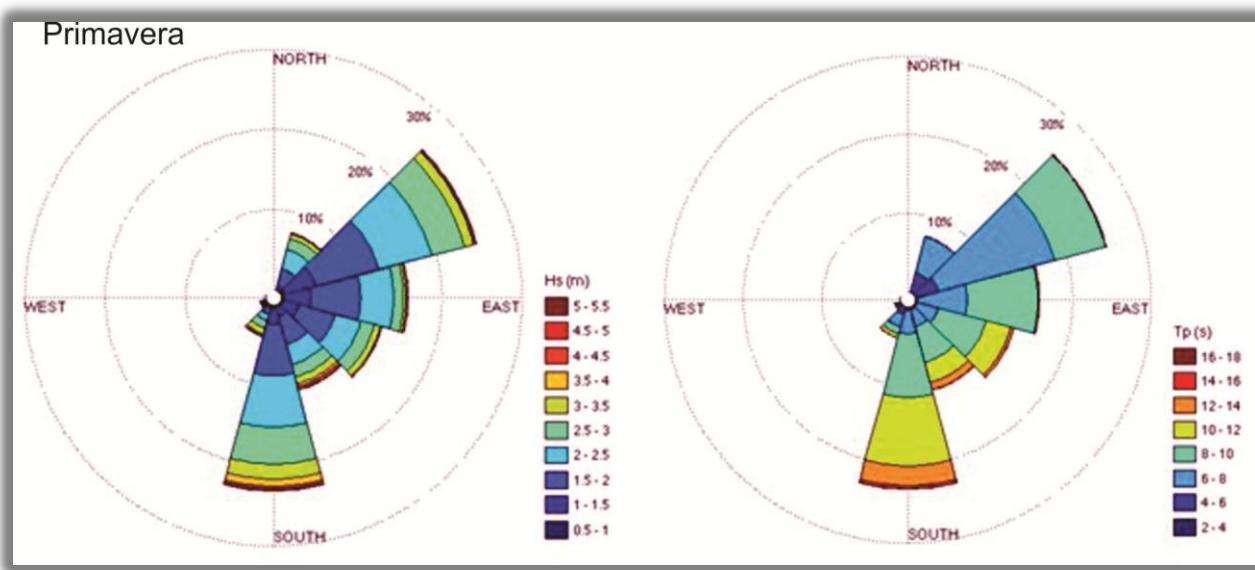
Figura 10 - Rosa de ondas representando altura de onda Hs(m) e período de onda Tp(s), para todo período de estudo (2003-2014).



Organização: os autores

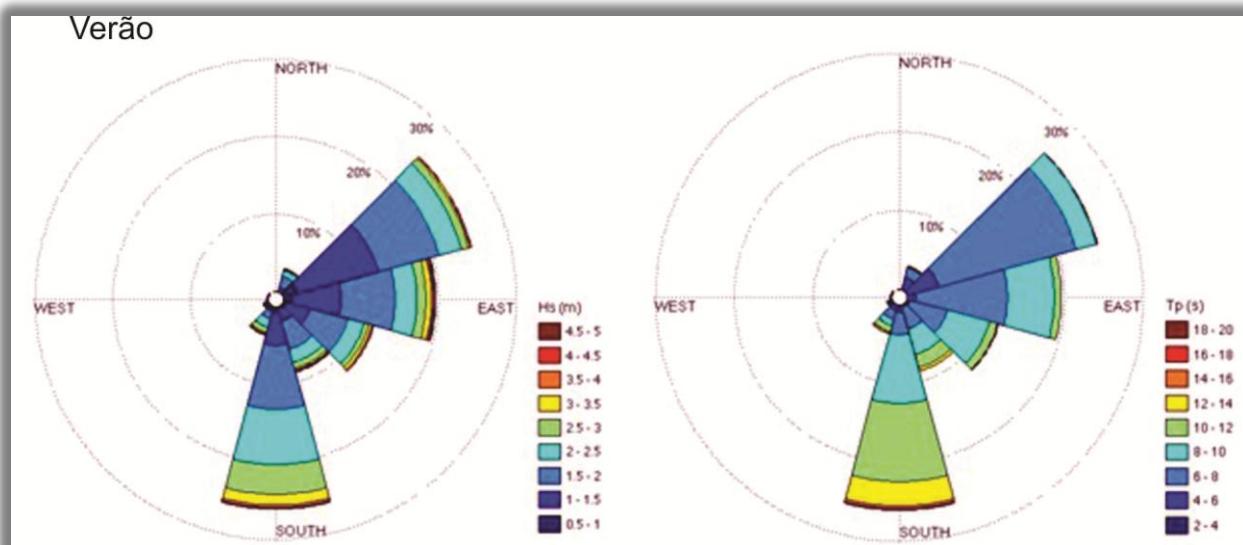
49

Figura 11 - Rosa de ondas representando altura de onda Hs(m) e período de onda Tp(s), para a primavera, período de estudo (2003-2014).



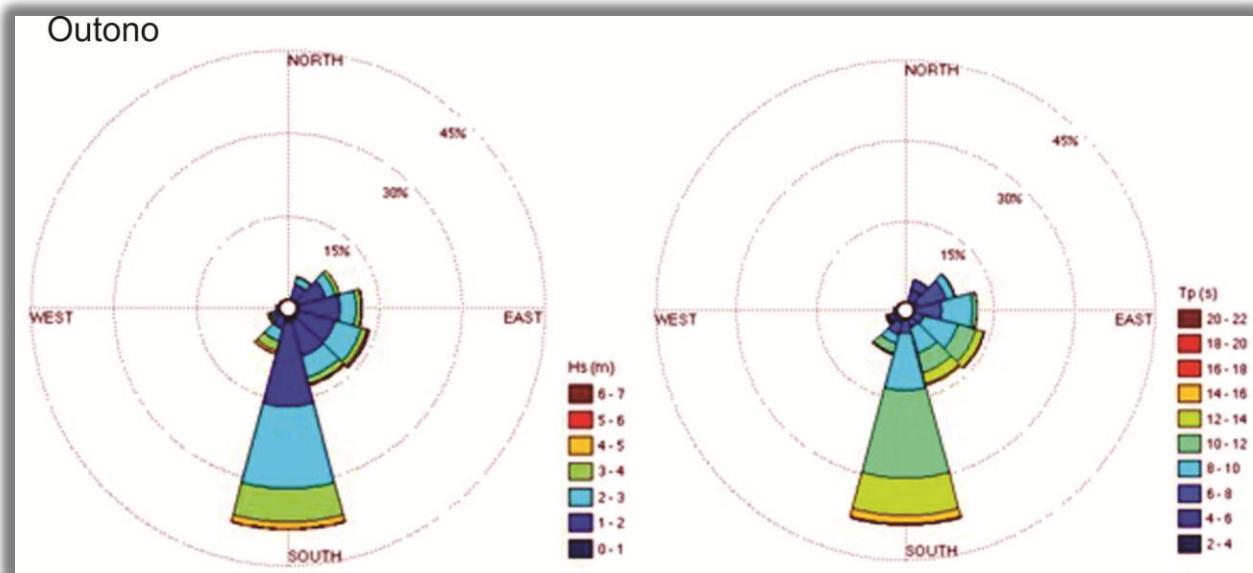
Organização: os autores

Figura 12 - Rosa de ondas representando altura de onda Hs(m) e período de onda Tp(s), para o verão, período de estudo (2003-2014).



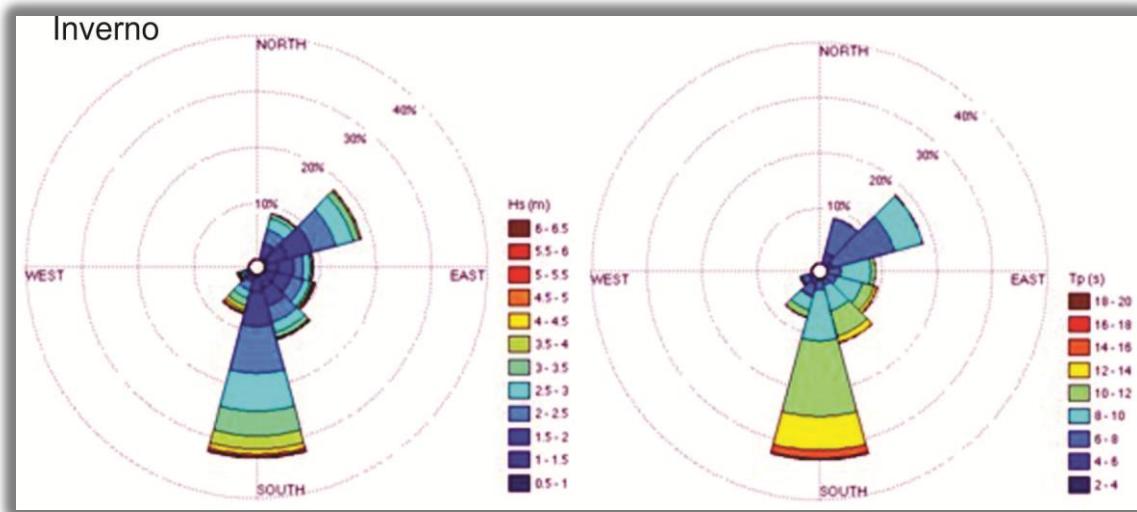
Organização: os autores

Figura 13 - Rosa de ondas representando altura de onda Hs(m) e período de onda Tp(s), para o outono, período de estudo (2003-2014).



Organização: os autores

Figura 14 - Rosa de ondas representando altura de onda Hs(m) e período de onda Tp(s), para o inverno, período de estudo (2003-2014).



Organização: os autores

DISCUSSÃO

Perfis praiais

Apesar dos três pontos estarem localizados no mesmo segmento praial, algumas diferenças significativas em relação a seu nível de urbanização e largura de praia devem ser considerados. O ponto 1 (Figura 4), o qual apresenta a maior largura de faixa de areia, com mais de 90m de extensão (máximo de 130m em 11/15) possui um reduzido nível de urbanização em suas adjacências. O mesmo se manteve com esta extensa largura de praia e elevado grau de recuperação do perfil praial, já que a areia não tem sua migração no sentido perpendicular bloqueada por infraestruturas urbanas, permitindo uma maior remobilização sedimentar neste trecho. As variações de volume no pacote vertical ocorreram principalmente na faixa da face praial e no perfil submerso, sendo que há coincidência entre os perfis erosionais e passagens de frentes frias provindas do quadrante sul. A recomposição dos perfis ocorre principalmente na primavera e no verão, quando as tempestades se tornam menos intensas e frequentes.

Quando há entradas de centros de baixa pressão atmosférica os níveis do oceano aumentam, fazendo com que a linha de costa recue em direção ao continente. Após a passagem desses centros, o nível do mar tende a baixar novamente e a linha de costa migrar em direção ao oceano. A incidência desses centros de baixa pressão é mais frequente nos meses de inverno quando o anticiclone migratório polar ganha força no estado e sua intensidade é diretamente proporcional a

energia de ondas incidentes na costa, ou seja, quanto mais intensa a frente mais enérgicas serão as ondas (MACHADO, 2014; MAIA et al, 2016).

O ponto 2 “calçadão” apresentou as maiores taxas de variação sedimentar entre os perfis analisados. Tal fato decorre da presença de um muro construído sobre o cordão de dunas que deu origem ao calçadão. Os processos erosivos estão associados a um balanço negativo de sedimentos e, geralmente, coincidem com entradas de frentes e tempestade. Estes processos podem ser intensificados nas regiões onde as dunas frontais são removidas ou substituídas por construções que aumentem os processos de reflexão da onda (KLEIN & MENEZES, 2001), como pode ser observado no perfil da Figura 5.

As ondas ao incidirem na face praial tendem a remobilizar o sedimento tanto no sentido *longshore* (paralelo) quanto *crossshore* (perpendicular), porém quando encontram uma barreira física atuam de maneira diferente, já que a barreira reflete a energia de onda causando uma escavação do perfil.

Além de refletir a energia de onda incidente o muro construído como calçadão destruiu o cordão de dunas que funcionava como uma barreira natural da praia contra as ressacas e tempestades. Quando comparada aos demais pontos, este se apresenta como o trecho mais estreito entre os 10km de praia monitorados, recebendo algumas vezes caminhões de areia cedidos pela prefeitura para minimizar os danos causados à morfodinâmica local.

Pode-se observar que na maior parte do ano o perfil encontra-se estreito e com uma pendente mais inclinada, sendo que nos períodos de primavera e verão o perfil apresenta-se mais acrescido e com uma pendente mais suave. Tal fato é consequência da ação dos ventos de NE e da diminuição das tempestades e eventos erosivos associados a frentes frias vindas do quadrante sul.

No Rio Grande do Sul, o vento nordeste tem a função de redistribuir o sedimento aéreo na região do pós praia e dunas frontais, fazendo com que a largura da faixa praial aumente, também em função do efeito de recuo da linha de *swash* (CALLIARI et al. 2005).

Já no ponto 3 “seminário” (Figura 6) a largura de praia média não foi inferior a 60m, atingindo seu máximo em 125m no mês de novembro de 2014. A parte subaquosa foi onde ocorreram as maiores variações no pacote sedimentar, seguidas pela face praial.

A região das dunas frontais apresentou, ao longo do ano, certa constância havendo variação apenas entre os meses de novembro e dezembro quando uma via de acesso à praia foi aberta no local de realização dos perfis, causando um aplaíamento na face da duna.

Os perfis mais acrescivos coincidem com períodos sem entradas de frentes e ondulações de grande energia provindas do quadrante sul, enquanto os perfis erosionais coincidem com entradas de frentes e *swells* de grande período de onda. Nesse ponto observa-se pouca urbanização e uma parcela do cordão de dunas transgressivas encontra-se preservado, sendo uma região de alta dinâmica eólica.

Imagens de satélite

A partir das imagens de alta resolução, foi detectada uma tendência de linha de costa estável, ou até mesmo progradante, havendo ao longo dos anos de observação, um saldo positivo sedimentar na praia de Cidreira. Esse acréscimo no pacote sedimentar corrobora com os dados de vento, que apontam um acréscimo dos ventos continentais provindos de N e NW (Tabela 2), os quais são responsáveis por trazer para a praia sedimento estocado no cordão de dunas transgressivas mais interiorizado, assim como, areia das dunas frontais adjacentes a linha de praia. Outro fator que auxilia nessa progradação costeira são as correntes de deriva litorânea. Essas correntes tem grande potencial como transportadoras de sedimentos.

Estudos mostram que o transporte litorâneo no RS é bidirecional, atuando tanto na direção SW-NE como na direção NE-SW. Porém, mesmo sendo menos frequentes, as correntes litorâneas de SW-NE, possuem maior competência para transportar sedimento, devido à maior energia de ondas provenientes do quadrante sul; portanto, há um transporte líquido para NE (TOMAZELLI, 1990). Pode-se afirmar também que essa bidirecionalidade tem componente sazonal, devido às variações dos parâmetros climáticos. Nos meses de outubro a março é marcante o predomínio de correntes para SW, e em maio e agosto esse domínio é para NE, sendo seu saldo líquido na direção NE.

Segundo Toldo et. al (2005), as correntes litorâneas geradas pelas ondulações incidentes do quadrante S exibem comportamentos episódicos de elevada energia e são responsáveis por mais que 30% do transporte de sedimento. Outros autores como Tomazelli e Villwock (1992) afirmam que a deriva litorânea com direção resultante para NE é evidente em muitos dos depósitos costeiros presentes ao longo do litoral do Rio Grande do Sul, em particular nas desembocaduras dos sistemas lagunares.

Da Motta (2015) descreveu entre o período de 1998 e 2008 para a região de Cidreira, deriva litorânea resultante com sentido para NE, apontando que a região está recebendo grande aporte sedimentar provindo de SW por meio destas.

As correntes de deriva transportam para praia de Cidreira sedimentos vindos de praias adjacentes assim como remobilizam sedimentos do perfil subaquoso ou da antepraia. Toldo et al. (2005) e Nicolodi et al. (2003) descrevem que em função do grande volume de sedimentos transportados pela deriva litorânea com direção resultante para NE, ocorre um engarrafamento de parte desse volume junto às inflexões da linha de costa (Mostardas e Dunas Altas) podendo esta acumulação de areia ter se estendido ao longo do tempo para a antepraia de Cidreira.

Essa acumulação de areia torna-se uma importante fonte de sedimentos para o alargamento da praia e da antepraia assim como para uma tendência de variação de linha de costa progradante.

Ventos

Os ventos são um dos mais importantes agentes modeladores da linha de costa no litoral norte do Rio Grande do Sul. Possuem importante papel no transporte de sedimentos, principalmente porque a região possui grandes quantidades de sedimento estocadas em um extenso cordão de dunas transgressivas (TOZZI, 1999). Segundo Tomazelli (1993), o qual analisou 13 anos de dados consecutivos de velocidade e direção de vento, as quatro direções mais frequentes para a localidade de Imbé⁴ no litoral norte são: NE, W, SE e E, nesta ordem.

Os resultados obtidos indicaram variações nas direções mais frequentes, com uma substituição dos ventos de leste pelos ventos de norte. As maiores variações observadas foram o aumento dos ventos da direção norte, em um acréscimo de 5,9%. Outra mudança foi um aumento considerável dos ventos provindo da direção noroeste, a qual teve pouca relevância no estudo de Tomazelli (1993).

Fanning (2014) em seu trabalho sobre impactos das mudanças do clima na laguna de La Rocha no Uruguai, também documentou mudanças nos padrões de ventos da região com características semelhantes àquelas aqui encontradas, e atribuiu estas mudanças às variações climáticas.

Tais alterações na frequência das direções, mais especificamente o aumento dos ventos provindos de norte e noroeste (que são ventos que chegam com direção provinda do continente), transportam sedimentos em direção à região da face praial, visto que há um grande estoque sedimentar continental neste local, em um campo de dunas transgressivas de aproximadamente 42 km de extensão. Além desse campo de dunas, também pode haver transporte de areia provinda dos

⁴ Município localizado a aproximadamente 30 quilômetros de Cidreira.

cordões de dunas frontais de praias adjacentes localizadas ao norte de Cidreira. A areia pode estar sendo remobilizada para a região de face praial e perfil subaquoso.

O aumento na frequência nos ventos continentais pode acarretar também alteração da velocidade da corrente de deriva litorânea, podendo gerar acréscimo ou decréscimo em sua velocidade, dependendo do sentido da mesma em relação ao vento. Segundo Tomazelli e Willwock (1992), as correntes de deriva geradas na zona de surfe pelos ventos e incidência oblíqua das ondas na costa, são o principal agente de transporte lateral de sedimentos e são importantes para as transformações morfológicas das praias. Os autores destacam ainda que na costa do Rio Grande do Sul o transporte sedimentar costeiro ocorre em grande parte por correntes de deriva litorânea, isso se deve ao fato de que a plataforma continental é extensa, larga e plana, o que favorece a ocorrência dessas correntes juntamente com a ação dos ventos de NE e SW.

Os ventos também atuam na variação do nível do mar, devido ao transporte de Eckman que possui uma resultante 90° à esquerda da direção predominante do vento no hemisfério sul. Os ventos de sul empilham água na costa e os ventos de nordeste empilham água longe da costa fazendo com que a parte subaérea da praia fique menos ou mais exposta respectivamente. A orientação da linha de costa em relação ao vento predominante vindo de NE favorece a migração dos sedimentos para dentro do continente, já os ventos provindos de NW e N fazem o trabalho inverso, mantendo os sedimentos em direção ao oceano.

Segundo Calliari et. al. (2005), a orientação da costa em relação ao vento predominante é o fator mais relevante para diferenciação na altura das dunas frontais, sendo que as condições mais propícias para o desenvolvimento de dunas frontais resultam da associação entre a orientação da linha de costa com a maior frequência e potencial de deriva de sedimentos. Essa situação pode ser observada entre Cidreira e Dunas Altas. O autor aponta uma possível relação entre maior largura de praia com ventos em direção ao oceano (provindos do continente), essa ideia corrobora com os resultados obtidos no atual trabalho, uma vez que houve aumento dos ventos provindos do continente assim como aumento da faixa de areia no local.

Ondas

A análise de 11 anos de dados (2003-2014) de ondas, a qual permitiu inferir a ocorrência de ondas vagas (baixo período) e ondas de swell (grande período) indicou os mesmos padrões já foram documentados por Wainer (1963) e Strauch et al. (2009), com ondas de altura significativa mais frequente entre 1,5 m e 2,0 m. A direção de incidência predominante foi de S seguidas da direção

ENE, e o período mais frequente ficou entre 6s e 8s. Os ventos dominantes para o período foram os de NE o que leva a inferir que, nesse trecho específico, as ondas não possuem a mesma direção de aproximação do vento na costa, visto que apenas 11,31% das ondas possuem esta direção. Quanto às variações sazonais, as alturas de onda apresentaram diferenças entre inverno e verão, sendo que no verão as ondas possuem altura significativa média entre 1,5 m e 2,0 m enquanto que no inverno a altura significativa mais frequente está entre 2,0 m e 2,5 m. Isso ocorre principalmente devido ao fato de que no inverno as tempestades e entradas de frentes frias provindas de sul são mais energéticas e frequentes do que no período de verão. Pelo fato de o inverno possuir maior incidência de frentes frias, este possui período de ondas entre 8s e 10s, enquanto que no verão o período mais frequente fica entre 6s e 8s.

Variações sazonais são representativas nesse contexto, onde se observou que no verão a maior incidência é de ondas oriundas de ENE seguida de S. Já no inverno a direção mais frequente é de S seguida de NE. Para o outono e primavera ondas de altura significativa entre 1,5 m e 2,0 m foram mais frequentes quando oriundas do quadrante S. Essa variação ocorre principalmente em decorrência de uma maior atuação das frentes frias provindas da Antártida no outono. Acompanhadas dessas frentes incidem ondas de maior período, sendo que no outono foram observados os eventos mais energéticos, com ondas de período entre 8s e 10s. Na primavera as ondas apresentaram período entre 6s-8s o que sugere um período menos energético com menor incidência de frentes polares. As ondas de maior altura e período possuem elevado potencial erosivo, já as ondas de elevado período e baixa altura são responsáveis por acumularem sedimentos na praia.

Ondas provindas do quadrante E geralmente estão associadas à progradação, enquanto ondas provindas do quadrante S possuem maior capacidade erosiva.

A análise de todo conjunto de dados indica que as ondas mais frequentes foram aquelas oriundas de sul (24,75%) sendo a altura significativa mais observada entre 1,5m e 2,0m. A segunda direção mais frequente provém de ENE (14,78%) e a altura significativa mais observada está entre 1,5m e 2,0m.

No presente estudo foram analisados dados referentes às ondas em águas profundas, visto que a análise do processo de propagação de ondas para águas rasas para um período tão extenso (11 anos) se torna praticamente inviável. Mesmo avaliando as ondas em águas profundas pode-se ter uma ideia geral da direção predominante e da intensidade das ondas incidentes.

Em praias onde a batimetria da plataforma interna possui uma declividade suave e uniforme, como é o caso de Cidreira, as linhas de ondas tendem a aproximarem-se paralelamente a costa, devido à refração. Como ondulações de maior período possuem maior capacidade de refração, elas tendem a atingir a praia com uma direção perpendicular.

Outro fator importante com relação ao regime ondulatório é que ao incidirem na costa obliquamente juntamente com o movimento de *backwash*, as mesmas dão origem as correntes longitudinais, as quais são responsáveis por grande parte do transporte sedimentar local.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A partir da análise de dados de perfis praiais; direção e frequência de vento; altura direção e período de onda; imagens de satélite, conclui-se que há uma reversão na tendência de variação na linha de costa de Cidreira para o período analisado, ou seja, a linha de costa apresenta-se como estável e/ou progradante. Essa reversão na tendência deve-se, prioritariamente, em função de variações relativas ao regime eólico. Os dados de vento apresentaram variações quando comparadas aos padrões conhecidos, principalmente quanto à diminuição dos ventos de NE e aumento dos ventos de N (direção continental). O aumento na frequência dos ventos provindos do continente (NW, SW, N) faz com que haja maior aporte de sedimentos provenientes do extenso cordão de dunas transgressivas em direção à linha de costa.

A principal consequência da alteração do regime eólico quanto aos padrões conhecidos foi o aumento do pacote sedimentar vertical. Esse acúmulo vertical pode ser observado principalmente junto às obras de engenharia, como, por exemplo, o calçadão de Cidreira. Também foi possível concluir que com o aumento dos ventos continentais a largura de praia se manteve estável e progradante como Calliari et. al. (2005) já havia descrito, ainda que com caráter especulativo.

As imagens de satélite processadas em programas de georreferenciamento apontam um saldo positivo no balanço sedimentar ao longo do período estudado (11 anos), corroborando com os indicativos visuais e fotografias digitais obtidas. O saldo sedimentar positivo pode ter relação com a alteração do regime eólico resultando em maior aporte sedimentar provindo do cordão de dunas transgressivas em direção à face praial, ou por engarrafamento da corrente de deriva litorânea na região de Dunas Altas e posterior deposição na região de Cidreira, como proposto por Toldo et al. (2005) e Nicolodi et al. (2003).

Os dados de onda obtidos em águas profundas apontam direção de incidência mais frequente provinda de S seguidas de ENE, altura significativa mais frequente 1,5 m e 2,0 m e período de onda

mais frequente entre 6s e 8s. Essa maior incidência de ondas de S contribui para uma deriva litorânea resultante para NE, como a documentada por Da Motta (2015).

Os perfis topográficos apresentaram variações sazonais; os perfis mais erosivos coincidem com as passagens de frentes frias no inverno e outono e os perfis mais progradantes são mais frequentes no final da primavera e durante o verão quando as passagens de frentes são reduzidas. Tal comportamento era esperado, uma vez que é amplamente divulgado na literatura científica.

A gama de variações em parâmetros climáticos e oceanográficos é cada vez mais conhecida, sendo que alguns efeitos vêm sendo discutidos com mais ênfase, como por exemplo, a erosão costeira. Dentre as causas da erosão, aponta-se a intervenção do homem nos processos costeiros e na urbanização dos espaços litorâneos, o que influencia no balanço sedimentar das praias. Variações climáticas podem modificar a intensidade e frequência de tempestades que atingem a costa, alterando as características das ondas incidentes, principalmente quanto altura, período e direção. Tais variações podem provocar mudanças na concentração da energia das ondas por efeito da refração controlada pela topografia do fundo marinho, acelerando o processo erosivo em alguns setores do litoral e, até mesmo, criando novas áreas de erosão (PBMG, 2014).

Tais variações surgem como subsídios indiretos para a principal conclusão do presente estudo, a reversão da tendência erosiva da linha de costa do município de Cidreira, corroborando com a variação medida nos padrões de vento, evidenciando que as mudanças climáticas podem alterar significativamente as zonas costeiras e principalmente a dinâmica que rege as praias arenosas e a tendência de variação da linha de costa. Ainda segundo o relatório do IPCC 2014, os riscos das mudanças climáticas são cada vez mais evidentes, embora essas alterações possam produzir resultados inesperados. No caso de Cidreira a alteração nos padrões dos ventos auxiliou na tendência à estabilidade e progradação da linha de costa, porém, em outras localidades, as mudanças nesses padrões podem resultar em diferentes respostas ambientais.

Uma linha de costa progradante ou estável não se torna um problema ambiental e social, visto que não há perda de terreno ou de habitats, mas é importante ressaltar que essas transformações podem gerar desequilíbrios no balanço sedimentar de outras regiões. Outro fator importante a ser citado é que a análise de escala temporal de variação da linha de costa foi estipulada para um período de 10 anos, e que essa reversão na tendência pode ser apenas parte de um ciclo de maior escala, do qual muito pouco se sabe. Vários trabalhos que contam com dados de longo prazo têm verificado a existências de ciclos de erosão e progradação muito mais longos,

como por exemplo: Dias (1985), Dillenburg et. al. (2005), Belém (2007), Nascimento (2008), Quadros (2012).

Como sugestão para trabalhos futuros, aponta-se para um monitoramento de mais longo prazo e mais frequente da linha de costa e dos padrões oceanográficos e meteorológicos associados, permitindo assim o perscrutar o conhecimento da tendência de variação da linha de costa em diferentes escalas espaciais e temporais.

Outro gargalo crucial neste tipo de estudo é a obtenção de dados de batimetria de detalhe da parte subaquosa do perfil como ferramenta de auxílio para melhor compreensão dos processos de transporte sedimentar pelas ondas e correntes e também de como a costa responde a essa complexa interação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela sessão de bolsa de pós-graduação para o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, D. F. **Metodologia para determinação da onda de projeto baseada em dados do WW3: Aplicação à região de Rio Grande, RS.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande. 134 p. 2014.

BELÉM, A. L. **Impactos das mudanças climáticas globais no risco de inundações em zonas costeiras.** In: Jornadas Internacionales sobre Gestión del Riesgo de Inundaciones y Deslizamientos de Laderas. Brasil. 2007.

BENTZ, D.; GIANNINI, P. C. F. **Interpretação aerofotogeomorfológica da planície costeira de Una-Juréia, municípios de Peruíbe-Iguape, SP: Modelo evolutivo e origem da erosão na praia da Juréia.** In: 9º Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. Recife: ABEQUA, 2003.

CALLIARI, L. J.; PEREIRA, P. S.; DE OLIVEIRA, O.; FIGUEIREDO, S. A. Variabilidade das dunas frontais no litoral norte e médio do Rio Grande do Sul, Brasil. **Gravel**, v. 3, p. 15-30, 2005.

CASAGRANDE A. I. **Variações na linha de costa do Rio Grande do Sul:** Uma atualização. Monografia de graduação. Universidade Federal de Rio Grande, 46p. 2014.

DA MOTTA, L. M. Sandy sediment budget of the midcoast of Rio Grande do Sul, **Brazil. Journal of Marine Research**, v. 73, n. 3-4, p. 49-69, 2015.

DIAS, J. A. **Registros da migração da linha de costa nos últimos 18 000 anos na plataforma continental portuguesa setentrional.** In: Atas da I Reunião do Quaternário Ibérico, v. 1, p. 281-195, 1985.

DILLENBURG, S. R.; TOMAZELLI, L. J.; MARTINS, L. R.; BARBOZA, E. G. Modificações de longo período da linha de costa das barreiras costeiras do Rio Grande do Sul. **Gravel**, v. 3(1), p. 4-9, 2005.

ESTEVES, L. S.; TOLDO Jr, E. E.; DILLENBURG, S. R.; TOMAZELLI, L. J. Long-and short-term coastal erosion in Southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 36, p. 273-282. 2002.

FANNING, A. L. **Towards valuing climate change impacts on the ecosystem services of a Uruguayan coastal lagoon.** In: International Perspectives on Climate Change. Springer International Publishing, p.61-77, 2014.

FRANCO, D.; MELO FILHO, E. **Relevância dos mares secundários na caracterização do regime de ondas ao largo da Ilha de Santa Catarina, SC.** In: III Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica, FURG, Rio Grande, RS, 2008.

IBGE. **Cidades@.** Disponível em <<https://ibge.gov.br/cidadesat/xtras/home.php>> Acesso em 28 mar. 2018. .

KLEIN, A. H.; MENEZES, J. T. Beach morphodynamics and profile sequence for a headland bay coast. **Journal of Coastal Research**, v. 17 p. 812-835, 2001.

MACHADO, A. A. **Estudo 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.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Rio Grande , FURG. 87 p. 2014.

MAIA, N. Z.; CALLIARI, L. J.; NICOLODI, J. L. Analytical model of sea level elevation during a storm: Support for coastal flood risk assessment associated with cyclone passage. **Continental Shelf Research**, v. 124 p. 23–34. 2016.

MELO FILHO, E.; ROMEU, M. A. R.; HAMMES, G. R. **Condições extremas de agitação marítima ao largo de Rio Grande a partir do modelo WW3.** In: IV Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica, FURG, Rio Grande, RS, 2010.

MARTINHO, C. T. **Morfodinâmica e evolução de campos de dunas transgressivos quaternários do litoral do Rio Grande do Sul.** Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

NASCIMENTO, J. R. Mudanças morfológicas da extremidade NE da Ilha Comprida (SP) nos últimos dois séculos. **Geologia USP.** Série Científica, v. 8, n. 1, p. 25-39, 2008.

NICOLODI, J. L.; TOLDO JR, E.; ALMEIDA, L. E. S. B. **Correntes costeiras induzidas por eventos de tempestades no litoral médio do Rio Grande do Sul.** In: IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Recife. Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. 2003.

OLIVEIRA, U. R.; SIMOES, R. S.; GAUTERIO, B. C.; ESPINOZA, J. M. A. **Impactos do ciclone extratropical de outubro de 2016 sobre localidades costeiras do litoral médio e sul do Rio Grande do Sul.** In: X Encontro Nacional de Gerenciamento Costeiro, 2017, Rio Grande. Rio Grande, RS. 2017

PBMC. Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas** [Assad, E.D., Magalhães, A. R. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, pp. 2014

QUADROS, M. A. R.; ROCHA, T. B.; FIGUEIREDO, M. S.; FERNANDEZ, G. B. Avaliação multitemporal do comportamento da linha de costa no litoral entre Carapebus e Quissamã, RJ—Aplicações com geotecnologias e radar de penetração de solo (GPR). In: **Anais do 9º SINAGEO-Simpósio Nacional de Geomorfologia**, Rio de Janeiro, 2012.

RODRÍGUEZ, M. G.; NICOLODI, J. L.; GUTIÉRREZ, O. Q.; LOSADA, V. C.; HERMOSA, A. E. Brazilian Coastal Processes: Wind, Wave Climate and Sea Level. In: Short, A. D., Klein, A. H. F. **Brazilian Beach Systems**. Springer. 2016. DOI 10.1007/978-3-319-30394-9

SMITH, M. J.; CROMLEY, R. G. Measuring historical coastal change using GIS and the change polygon approach. **Transactions in GIS**, v. 16 (1), p. 3-15, 2012.

STRAUCH, J. C.; CUCHIARA, D. C.; TOLDO Jr, E. E.; ALMEIDA, L. E. S. B. O Padrão das Ondas de Verão e Outono no Litoral Sul e Norte do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14 (4), p. 29-37, 2009.

STROHAECKER, T. M. Trajetória do planejamento territorial no Litoral Norte do Rio Grande do Sul. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, v. 27, p. 68-93, 2016.

TOLDO Jr, E. E.; ALMEIDA, L. E. S.; BARROS, C.; MARTINS, L. R. **Retreat of the Rio Grande do Sul coastal zone, Brazil. Non Living Resources of the Southern Brazilian Coastal Zone and Continental Margin.** Porto Alegre, Brazil: Editora da UFRGS, 62-68. 1999.

TOLDO Jr, E. E.; ALMEIDA, L. E. S. B.; NICOLODI, J. L.; MARTINS, L. R. Retração e progradação da zona costeira do Estado do Rio Grande do Sul. **Gravel**, v. 3, p. 31-38, 2005.

TOLDO Jr. E. E.; NICOLODI, J. L.; ALMEIDA L. E. S. B.; CORRÊA, I. C. S.; ESTEVES, L. S. Coastal Dunes and Shoreface Width as a Function of Longshore Transport. **Journal of Coastal Research**, Proceedings of the 8th International Coastal Symposium. SI39:390-394. 2006.

TOMAZELLI, L. J.; **Contribuição ao estudo dos sistemas deposicionais holocênicos do nordeste da província costeira do Rio Grande do Sul, com ênfase no sistema eólico.** Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado. Porto Alegre. 270 p, 1990.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. Considerações sobre o ambiente praial e a deriva litorânea de sedimentos ao longo do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas**, v. 19, n. 1, p. 3-12, 1992.

TOMAZELLI, L.J. O regime dos ventos e a taxa de migração das dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 20, n.1, p. 18-26, 1993.

TOMAZELLI, L.J.; VILLWOCK, J.A.; DILLENBURG, S.R.; BACHI, F.A.; DEHNHARDT, B.A. **Significance of present-day coastal erosion and marine transgression, Rio Grande do Sul, southern Brazil**. In: Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 70(2), p. 221-229, 1998.

TOZZI, H.A.M. **Influência das Tempestades Extratropicais Sobre o Estoque Subáereo das Praias entre Rio Grande e Chuí, RS. Campanha do Outono e Inverno de 1996**. Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. Dissertação de Mestrado. 115 p. 1999.

WAINER, I. J. **Technical Report. Análise e Previsão das Alturas de Onda em Tramandaí**. Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 30 p, 1963.