



Análise da Relação entre a Variação da Linha de Costa e o Clima de Ondas para a Praia da Armação, Ilha de Santa Catarina

Rio Grande, 07 a 09 de Novembro de 2012

Anna Luiza P Dalbosco¹, José Roberto Miranda², Guilherme Hammes³, Rodrigo Barletta⁴, Davide Franco⁵

Universidade Federal de Santa Catarina
Laboratório de Hidráulica Marítima – LaHiMar, ENS
Caixa postal 5039, Campus Trindade, 88040970

¹ aldalbosco@gmail.com

² zeronyoceano@hotmail.com

³ guihammes@gmail.com

⁴ rodrigo.barletta@shawgrp.com

⁵ d.franco.ocean@gmail.com

RESUMO

A Praia da Armação, situada no litoral sudeste da Ilha de Santa Catarina, vem sofrendo com fortes processos erosivos. Estudos anteriores já detectaram suas taxas erosivas, e sugeriram, entre outras possibilidades, que o processo pode ser resultado de um fenômeno de oscilação de médio prazo, conhecido como rotação praial. O presente estudo foi realizado com o objetivo de identificar movimentos característicos do processo de rotação praial e verificar relações entre a evolução da linha de costa da Praia da Armação e o clima de ondas dos últimos 30 anos. Os resultados encontrados indicam que no período entre 1977 e 1994 ocorreu progradação no setor norte da praia e retração no setor central e sul, devido a predominância dos mares de Sul e Sudeste. Já no período seguinte, os mares de NE e E aumentaram de intensidade e frequência, ao detrimento dos mares de S e SE, o que resultou em uma rotação em sentido contrário ao período anterior, com o setor central e sul progredando e o setor norte retrocedendo. E por fim, no último período, o setor norte volta a progredar e o setor central e sul a sofrerem retração devido ao aumento da intensidade dos mares de S e SE e diminuição da intensidade dos mares de NE e E.

Palavras chave: *Linha de Costa, Rotação Praial, Clima de Ondas*

1. INTRODUÇÃO

As praias arenosas oceânicas apresentam-se como sistemas transicionais altamente dinâmicos e sensíveis, que constantemente ajustam-se a flutuações dos níveis de energia locais e sofrem retrabalhamento principalmente por processos hidráulicos (Hoefel, 1998). No Brasil, segundo relatório publicado pelo Ministério do Meio Ambiente (Muehe, 2006) intitulado “Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro”, os processos de erosão ocorrem ao longo de toda a costa com predomínio sobre os processos de acreção. A Ilha de Santa Catarina, assim como o território nacional, também vem sofrendo processos erosivos em diversas praias de sua orla.

Diversos autores estudaram as praias do sudeste da Ilha de Santa Catarina (Abreu de Castilhos, 1995, 1997 e 2010; Simó & Horn Filho, 2004; Horn Filho, 2006; Mazzer, 2008; Rudorff, 2005). Todos estes estudos evidenciaram os problemas costeiros enfrentados em especial na Praia da Armação (Figura 01). Que com grande parte da sua orla intensamente urbanizada, torna-se ainda mais vulnerável a processos erosivos.

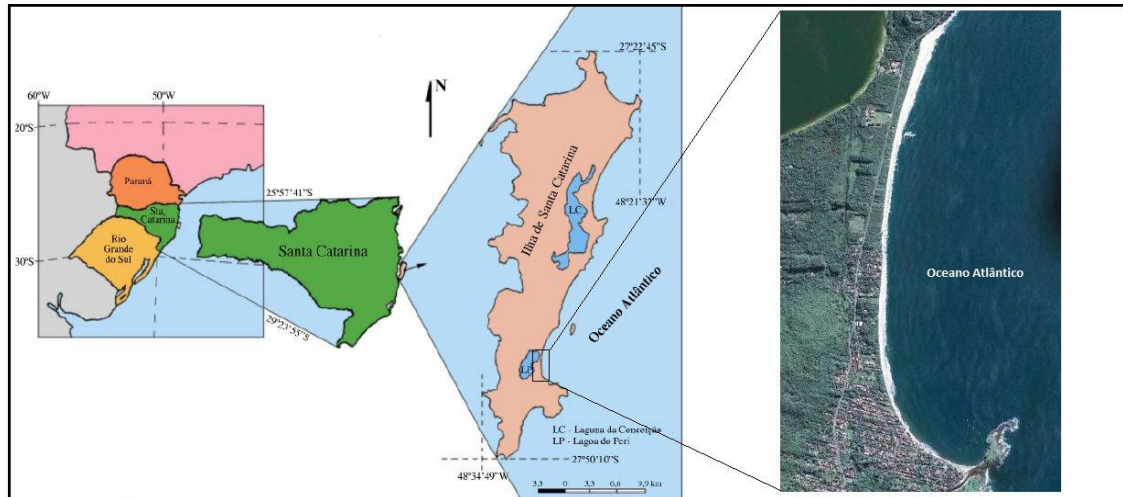


Figura 01 – Localização da Área de Estudo – Praia da Armação.

Um processo de médio prazo, conhecido como rotação praial, foi atribuído as variações intercadais da linha de costa encontradas na Praia da Armação por Mazzer (2009). Segundo Short (1999), o processo de rotação praial refere-se a um movimento periódico lateral de sedimentos entre as extremidades de uma praia de enseada. E este movimento seria resultado da variação no clima de ondas da região.

Assim, este trabalho tem como objetivo, identificar movimentos característicos do processo de rotação praial e verificar relações entre a evolução da linha de costa da Praia da Armação e o clima de ondas dos últimos 30 anos,

2 METODOLOGIA

As taxas de acreção e retração da Linha de Costa foram obtidas através do processamento de fotografias aéreas e imagens de satélite. As imagens e fotografias analisadas correspondem aos anos de 1977, 1994, 2002, 2007 e 2009, compreendendo um período de 32 anos. Para o conhecimento do clima de ondas da região em questão, foram utilizados dados de onda extraídos do modelo numérico global “WAVEWATCH III” (WW3) na versão 3.14. Os dados de onda correspondem ao período de 1980 à 2009 (30 anos).

2.1 Área de Estudo

A Praia da Armação tem sentido de orientação Norte-Sul (Figura 01). Sabendo-se que a deriva litorânea torna-se efetiva em praias de enseada quando as ondas atingem a praia em direção oblíqua a linha de costa, a Praia da Armação terá sua resultante de transporte sedimentar de norte para sul quando as ondas de N e NE forem predominantes. E de sul para norte, quando as ondas de S e SE forem mais significativas (Figura 02).

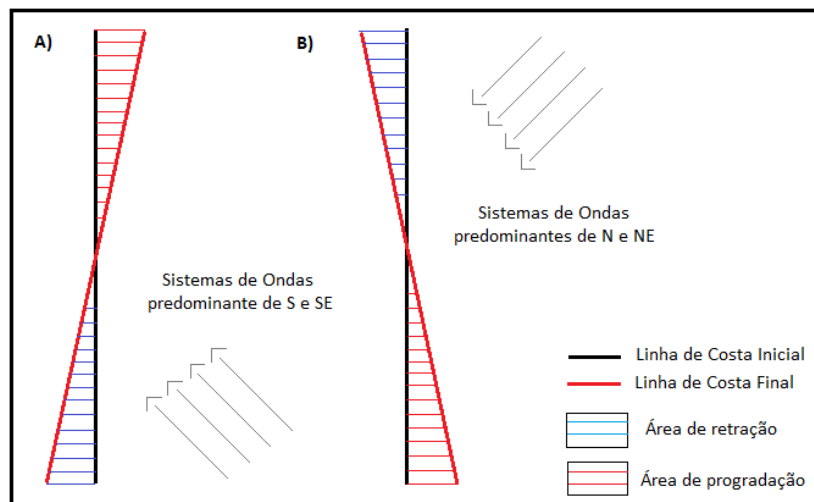


Figura 02 – Esquematização do comportamento da Praia da Armação frente aos Sistemas de Ondas dominantes.

2.2 Variação da Linha de Costa

Todas as imagens adquiridas foram georreferenciadas através do *software ArcGIS 9.3*, tendo como referência a Base Cartográfica 2007 do IPUF (Instituto do Planejamento Urbano de Florianópolis). Com as imagens já georreferenciadas, extraiu-se de cada imagem uma linha de costa. Como estimador da linha de costa, optou-se por adotar o critério da Linha de Preamar Média (LPM), a qual é determinada pela linha de saturação hídrica nos sedimentos. De acordo com Leatherman (2003) a LPM representa uma boa opção como indicador de linha de costa, por representar melhor as posições de máximas variações durante o dia da obtenção da aerofoto, minimizando erros de variações diurnas. As Linhas de Costa foram extraídas sendo digitalizadas também pelo *software ArcGis 9.3*. Para cada imagem (ano) foi gerado um shapefile de Linha de Costa para a data correspondente (Ex: shoreline1938.shp).

Para calcular a Incerteza gerada no processo de Extração das Linhas de Costa foram utilizadas as fórmulas propostas por HAPKE et al (2006). As equações utilizadas são mostradas a seguir:

$$E1 = \sqrt{eg^2 + ed^2 + em^2} \quad (1)$$

$$Ea = \frac{\sqrt{E1^2 + E2^2}}{n} \quad (2)$$

A Equação (1) define que a Incerteza gerada no processo de Extração de cada Linha de Costa é dada pela raiz da soma dos quadrados das fontes dos erros individuais. Tais erros individuais são: eg = erro de georreferenciamento; ed = erro de digitalização da linha de costa; em = erro devido à variação da maré.

A Equação (2) define a Incerteza entre duas ou mais Linhas de Costa por ano. Onde $E1$ é a Incerteza da Linha de Costa no tempo “1”, $E2$ é a Incerteza da Linha de Costa no tempo “2” e n é o tempo transcorrido entre as linhas de costa “1” e “2”.

As taxas de variação da Linha de Costa foram calculadas utilizando a ferramenta computacional *DSAS 3.2 (Digital Shoreline Analysis System)*. O DSAS é uma extensão desenvolvida para ser utilizada no *software ArcGIS*. A ferramenta gera transectos ortogonais às linhas de costa, com espaçamentos pré-definidos pelo usuário, e então calcula as taxas de variação, que são então reportadas em uma tabela de atributos. Para este estudo, os transectos foram gerados com um espaçamento definido em 50 metros. Gerando 67 transectos para a Praia da Armação.

As análises dos resultados para Praia da Armação foram realizadas para praia como um todo, e para praia setORIZADA em Norte, Centro e Sul. Tal divisão foi feita pela praia apresentar características morfodinâmicas e processos de acreção e regressão da Linha de Costa bem distintos em cada trecho.

2.3 Análise Estatística do Clima de Ondas

As informações de entrada do modelo WW3 são a batimetria do GEBCO_08 (General Bathymetric Chart of the Oceans) e o campo de ventos a 10 metros do CSFR referentes ao período de 1980 à 2009. O WW3 global tem resolução de grade de $1^\circ \times 1^\circ$ de longitude por latitude. Para este trabalho foram extraídos os valores do ponto com coordenadas: 27,44S e 48,1W.

Os dados de ondas obtidos foram disponibilizados em intervalos de 6 em 6 horas. Os campos de saída do WW3 são paramétricos e as informações disponibilizadas utilizadas foram:

- Altura significativa de ondas (H_s): Média de 1/3 das maiores ondas presentes em um dado registro de onda;
- Período de Pico (T_p): Corresponde a frequência com a maior densidade de energia presente em um espectro de frequência uni-modal;
- Direção de Pico (D_p): Direção associada à frequência de pico.

A partir deste dados, foram extraídos também valores de Fluxo de Energia, que é a taxa temporal de energia transferida de um local para o outro (Holthuijsen, 2007):

$$\text{Fluxo de Energia} = f1 + f2 + f3 \quad (3)$$

Onde $f1$ é o fluxo de energia potencial, $f2$ é o fluxo de energia cinética e $f3$ o fluxo de energia da propagação das ondas. Substituindo as variáveis e simplificando a equação, temos a equação que será utilizada neste trabalho:

$$\text{Fluxo de Energia} = 0,5 Hs^2Te \quad (4)$$

A análise dos dados foi realizada mais profundamente para os períodos decadais (1980, 1990 e 2000) separadamente, já que o processo de rotação praial a ser estudado é definido como de médio prazo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Variação da Linha de Costa

Os resultados das análises das linhas de costa nos mostram 3 períodos com padrões distintos de variação de linha de costa. O primeiro padrão refere-se ao período de 1977 à 1994 (década 80), onde a linha de costa sofre progradação no setor norte da praia (+6,55 m), e retração no setor central (-15,51) e sul (-14,74) (Tabela 01). Verifica-se, portanto, que a resultante do transporte sedimentar para este período é de sul para norte. Onde parte do sedimento removido dos setores central e sul é realocado no pós praia do setor norte (Figura 03 – A).

Tabela 01 – Valores de Deslocamento Total (metros) e Taxa de Variação (metros por ano) e seus valores de desvio padrão, referente aos períodos de 1977 à 1994, 1994 à 2002 e 2002 à 2009.

Deslocamento Total (m)						
Setor	1977 - 1994		1994 - 2002		2002 - 2009	
	Δx	σ	Δx	σ	Δx	σ
Norte	6,55	10,78	-6,89	5,70	12,43	12,06
Central	-15,51	4,63	1,83	3,38	-2,56	5,05
Sul	-14,74	8,98	11,13	4,70	-19,71	11,43
Total	-7,99	13,29	2,30	8,84	-3,78	16,73
Taxa de Variação (m/ano)						
Setor	1977 - 1994		1994 - 2002		2002 - 2009	
	TV	σ	TV	σ	TV	σ
Norte	0,38	0,63	-0,86	0,71	1,78	1,72
Central	-0,91	0,27	0,23	0,42	-0,37	0,72
Sul	-0,86	0,52	1,39	0,59	-2,82	1,63
Total	-0,47	0,78	0,29	1,10	-0,54	2,39

Para o período que segue, de 1994 à 2002 (década 90), verifica-se o padrão inverso encontrado no período anterior. Com o setor central da praia sofrendo retração (-6,89) e os setores central (+1,83) e sul (+11,13) em processo de progradação da linha de costa. O que nos indica uma deriva litorânea de norte para sul, onde parte do estoque sedimentar removido do setor norte, provavelmente é depositado no setor central e principalmente no setor sul da praia (Figura 03 - B)

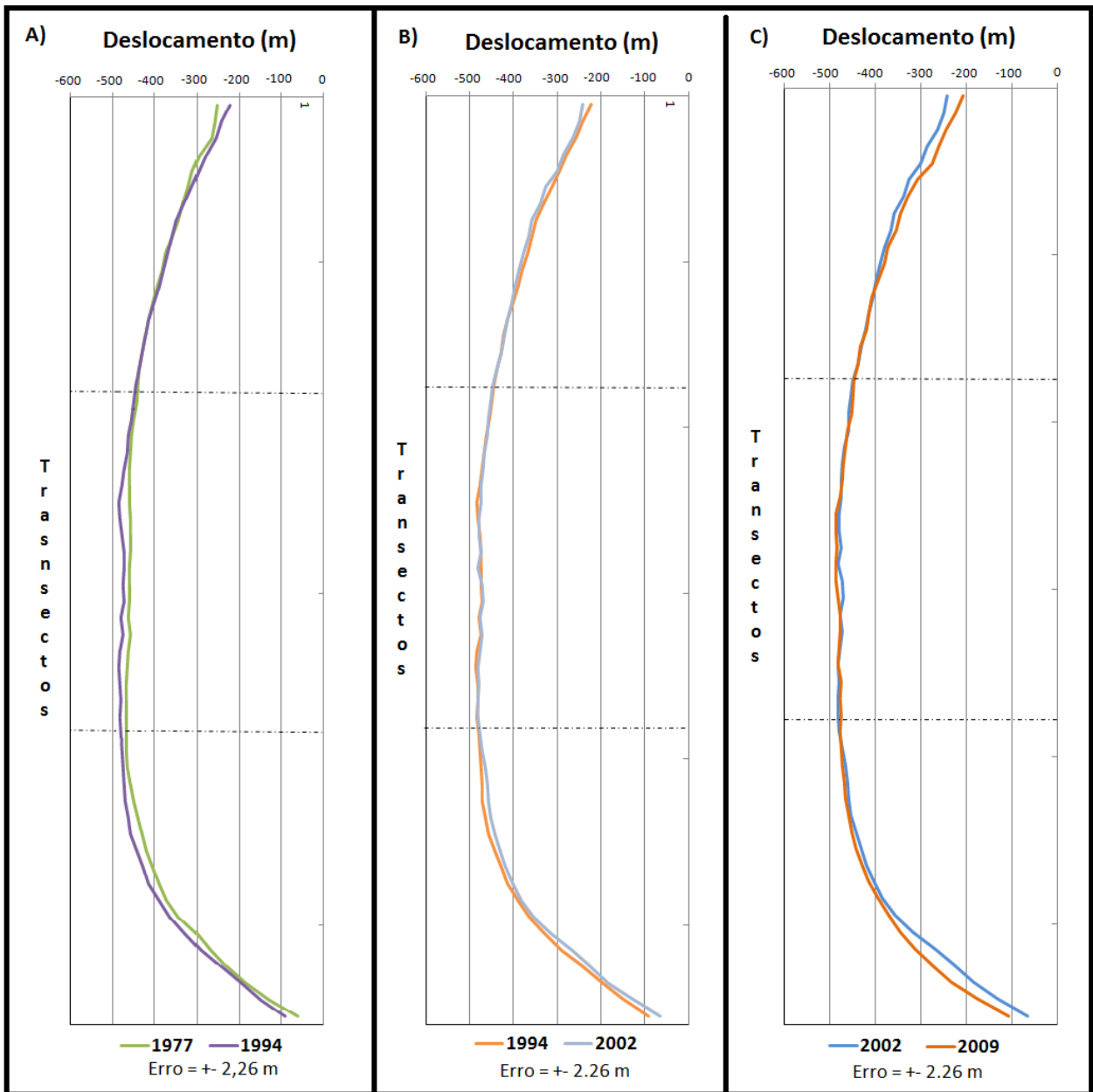


Figura 03 – Gráficos do Deslocamento da Linha de Costa (m) para os períodos de 1977 à 1994, 1994 à 2002 e 2002 à 2009

Para o último período, referente a década de 2000 (2002 à 2009), ocorre um processo de progradação (+12,43) no setor norte e retração do setor central (-2,56) e sul (-19,71). O que caracteriza, assim como no primeiro período, uma resultante no transporte sedimentar de sul para norte.

3.2 Análise Estatística do Clima de Ondas

Para todo o período analisado (1980 à 2009) o clima de ondas na região de estudo apresentou uma Altura Significativa (H_s) mediana de 1,63, tendo 60% das ocorrências com valores entre 1,0 e 2,0 metros (Figura 04). Já o Período de Pico (T_p) tem como predominante (80%) os valores entre 6 e 12s, e uma mediana de 8,91s. As Direções de Pico mais atuantes são as ocorrentes entre 45° (NE) e 180° (S).

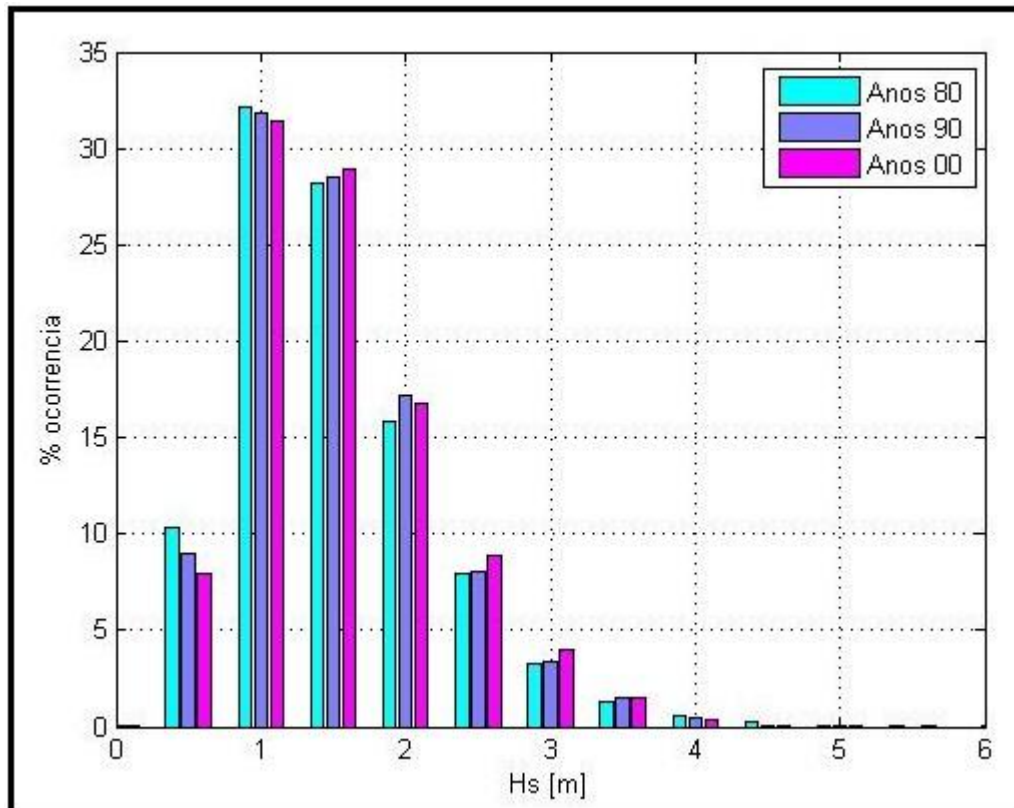


Figura 04 – Histograma ocorrência das Alturas Significativas (Hs) ao longo três décadas analisadas

Ao analisar os valores de Hs, Tp, Dp para as diferentes décadas, identificou-se os seguintes comportamentos que merecem destaque:

- *Período de Pico (Tp)*: as ondas com períodos entre 4 e 8 segundos, aumentaram progressivamente ao longo das três décadas. Enquanto que os períodos maiores, entre 10 e 16 segundos, diminuíram também progressivamente ao longo do tempo.
- *Direção de Pico (Dp)*: a ocorrência dos mares de NE e E aumenta em detrimento dos mares de SE entre a década de 80 e 90. Já entre as décadas 90 e 2000, os mares de S sofrem uma queda, dando lugar ao aumento da ocorrência dos mares de NE. Logo, esse aumento da frequência dos mares NE e E e diminuição dos mares de S e SE concordam com o comportamento dos valores de Período de Pico ao longo das 3 décadas, indicando uma diminuição na frequência dos mares de *swell* e aumento dos mares locais.
- *Altura Significativa (Hs)*: as ondas, com alturas superiores a 1,5 metros, aumentaram em número de ocorrência ao passar das décadas (Figura 04), logo a altura significativa média aumentou ao longo do tempo. Conforme mencionado nos itens anteriores, mesmo com a diminuição das ondas de maior período e de mares de S e SE que por característica possuem maior energia de ondas que os mares locais, a altura significativa continuou aumentando entre 1980 e 2009. O que nos indica um incremento de energia nas ondas locais de NE e E, principalmente na década de 90.

4. CONCLUSÕES

Ao confrontar os dados obtidos na análise da variação da linha de costa, com as estatísticas do clima de ondas, chegamos as seguintes conclusões:

1. O primeiro padrão de variação de linha de costa (1977 – 1994), regido principalmente pelo clima de ondas da década de 80, corresponde ao clima de ondas atuante na região no período em questão. Conforme esquema descrito na Figura 02, a progradação do setor norte da Praia da Armação responde a predominância das ondas de S e SE atuantes no local (Tabela 02).
2. O segundo período (1994 – 2002), regido pelo clima de ondas da década de 90, caracteriza-se pelo comportamento contrário do período anterior, com o setor central e sul da praia sofrendo progradação e o setor norte retração. Resultados estes que também concordam com o clima de ondas da década. Observa-se que da década de 80

para 90, as ondas de SE sofrem uma expressiva queda no número de ocorrências (Tabela 02), enquanto aumenta a ocorrência e intensidade das ondas de E, e mais sensivelmente também das ondas de NE. Cabe salientar que as ondas de E não são tão efetivas quanto ao processo de deriva litorânea, já que estas chegam paralelas a linha de costa. Porém a forte queda de intensidade e ocorrência das ondas de SE e em menor proporção nas ondas de S, e sensível aumento da intensidade e ocorrência das ondas de NE, são capazes definir o transporte sedimentar resultante de norte para sul.

3. O terceiro comportamento, indicado no período de 2002 à 2009, é resultado do clima de ondas atuante na década de 2000. Este padrão repete o primeiro, onde o setor central e sul sofrem retração da linha de costa, enquanto o setor norte prograda. Tal comportamento pode ser explicado pelo aumento da intensidade e ocorrência das ondas de SE e aumento da intensidade das ondas de S. Somadas a diminuição da ocorrência e intensidade das ondas de E e intensidade das ondas de NE.

Tabela 02 – Valores de Fluxo de Energia (Phy) e Probabilidade de Ocorrência (Probab) para cada década em relação as Direções de Pico mais atuantes na região. Unidades: Phy = KW/m e Probab = %, onde 0,1% corresponde a x dias.

Décadas	NE (45°)		E (90°)		SE (135°)		S (180°)	
	Phy	Probab	Phy	Probab	Phy	Probab	Phy	Probab
1980 - 1989	7,04	5,19	8,73	28,38	16,04	16,69	20,5	49,53
1990 - 1999	7,69	5,48	9,78	31,02	14,76	13,86	20	49,49
2000 - 2009	6,33	6,17	9,72	30,84	14,91	14,99	20,64	47,84

5. AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi apoiada com bolsa CNPq 133949/2011-7.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU DE CASTILHOS, J. 1995. Estudo Evolutivo, Sedimentológico e Morfodinâmico da Planície Costeira e Praia da Armação – Ilha de Santa Catarina, SC. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, 134 p.
- ABREU DE CASTILHOS, J.; HOWA, H.; RESSEGUIER, A. 1997. Quantificação de Transporte Sedimentar na Praia da Armação, Ilha de Santa Catarina, SC. Département de Géologie et Océanographie – Université de Bordeaux I, France.
- HAPKE, C. J.; REID, D.; RICHMOND, B. M.; RUGGIERO, P.; LIST, J. National assessment of shoreline change: Part 3: Historical Shoreline Changes and Associated Coastal Land Loss Along the Sandy Shorelines of the California Coast. U. S. Geological Survey Open-file Report, 2006.
- HORN FILHO, N.O. 2006. Ilha de Santa Catarina. In: MUEHE, D. et al. (Eds.) Erosão e progradação do litoral brasileiro. 413-436pp.
- KOMAR, P. K. & HOLMAN, R. A. 1986. Coastal Processes and the development of shoreline erosion. Revista Earth Planet Science. Vol. 14: 237-265. College of Oceanography, Oregon State University, Corvallis, Oregon.
- Leatherman, S.; 2003. Shoreline Change Mapping and Management Along the U.S. East Coast. Journal of Coastal Research Special Issue 38: 5-13.
- MAZZER, A. M.; DILLENBURG, S. R.; SOUZA, C. R. G. 2008 Proposta de método para análise de vulnerabilidade à erosão costeira no sudeste da ilha de Santa Catarina, Brasil. Revista Brasileira de Geociências. 38 (2). 278-294 p.
- MUEHE, D. (org) 2006. Erosão e progradação no litoral brasileiro. Brasília: MMA. 476p.

- NICOLODI, J. L. & PETERMANN, R. M. 2010. Mudanças Climáticas e a Vulnerabilidade da Zona Costeira do Brasil: Aspectos ambientais, sociais e tecnológicos. *Revista de Gestão Costeira Integrada*. Vol 10 (2): 3 – 29.
- OLIVEIRA, Ulisses Rocha de. Relações entre a morfodinâmica e a utilização em trechos da costa oceânica da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. Tese de Doutorado Programa Pós Graduação em Geografia – UFSC. 2009. 222 p.
- RUDDORFF, F.M. 2005. Geoindicadores e análise especial na avaliação de susceptibilidade costeira a perigos associados a eventos oceanográficos e meteorológicos extremos. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFSC. 101p.
- SILVA, M., HORN FILHO, N. O. Roteiro Geológico-Ambiental ao longo da Planície Costeira da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. Reunião do Programa de Geologia e Geofísica Marinha – PGGM. UFSC. 2011.
- SIMÓ, D.H.; HORN FILHO, N. O. Caracterização e distribuição espacial das “ressacas” e áreas de risco na Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. *Revista Gravel*. 2004. Volume 02. P 93 – 103. Porto Alegre.
- STALLWORTHY, Mark. 2006. Sustainability, coastal erosion and climate change; an environmental justice analysis. *Journal of Environmental Law*. Vol I 8 N° 3, 357-373.
- XUE, Z.; Feng, A.; YIN, P.; XIA, D. 2009. Coastal erosion induced by human Activities: a Northwest Bohai Sea case study. *Journal Of Coastal Research*. Vol 25 – 3. 723- 733. West Palm Beach, Florida.
- HOLTHUIJSEN, H. *Waves in Oceanic and Coastal Waters*. Great Britain: Cambridge University Press, 2007. 387 p. 6, 7, 9, 25, 26, 27