

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ANÁLISE DE
VULNERABILIDADE DA ORLA MARÍTIMA À EROSÃO
COSTEIRA: APLICAÇÃO EM PRAIAS ARENOSAS DA
COSTA SUDESTE DA ILHA DE SANTA CATARINA
(FLORIANÓPOLIS, SANTA CATARINA-BRASIL)**

ALEXANDRE MAIMONI MAZZER

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Sergio R. Dillenburg
CO ORIENTADORA: Profa. Dra. Célia Regina de Souza**

Porto Alegre – 2007

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ANÁLISE DE
VULNERABILIDADE DA ORLA MARÍTIMA À EROSÃO COSTEIRA:
APLICAÇÃO EM PRAIAS ARENOSAS DA COSTA SUDESTE DA ILHA
DE SANTA CATARINA
(FLORIANÓPOLIS, SANTA CATARINA-BRASIL)**

ALEXANDRE MAIMONI MAZZER

**ORIENTADORES – Prof. Dr. Sergio R. Dillenburg
Profa. Dra. Celia Regina de Souza**

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Elírio Toldo Junior, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Lauro Calliari, Departamento de Oceanografia, Fundação Universidade do Rio Grande

Prof. Dr. Pedro Walfir, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará

Tese de Doutorado apresentada como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutor em Ciências.

Porto Alegre – 2007

Mazzer, Alexandre Maimoni

Proposta Metodológica para Análise de Vulnerabilidade da Orla Marítima à Erosão Costeira: Aplicação em Praias Arenosas da Costa Sudeste da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis, Santa Catarina-Brasil)./ Alexandre Maimoni Mazzer. – Porto Alegre : Igeo/UFRGS, 2007.

[169 f.]. il.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, RS - BR, 2007.

1. Vulnerabilidade Costeira. 2. Erosão Costeira. 3. Células Costeiras. 4. Variação da Linha de Costa. 5. Ilha de Santa Catarina. I. Título.

Catálogo na Publicação

Biblioteca do Instituto de Geociências - UFRGS

Às minhas filhas,

Amanda e Anne

AGRADECIMENTOS

Eu gostaria de agradecer a todos que contribuíram para a elaboração deste trabalho, em especial:

Aos orientadores Sérgio Rebello Dillenburg e Celia Regina de Souza, por acreditarem desde o início e possibilitarem a conclusão desta importante etapa.

Ao incentivador inicial Prof. Antonio Henrique Klein.

Ao meu sempre amigo e apoiador Alexandre Tadeu Politano.

Aos grandes amigos do “bom abrigo” de Porto Alegre: Filipe Caroni, André Ugri, José Antiquera, Xalupe “Jungleman”, Alex, Rodrigo e demais que possa ter esquecido.

Aos amigos Ulisses Oliveira e César Rocha Bacila pelas prestimosas colaborações técnicas.

Ao pessoal da secretaria do CPPGEO: Roberto, Letícia e demais, por encurtar as distancias entre SC e RS.

Aos professores que participaram de minha qualificação Prof. Elírio T. Junior, Prof. José Tommazelli e Nelson Grubber.

A minha família pelo apoio incondicional em todos os momentos.

RESUMO

A vulnerabilidade da linha de costa à erosão costeira é relativa a fatores geológicos, geomorfológicos, oceanográficos, entre outros, os quais operam em diversas escalas de tempo. No presente trabalho foi construída uma proposta metodológica para analisar a vulnerabilidade de cinco praias localizadas na costa sudeste da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis-SC). Tal proposta apóia-se em: i- medições da linha de costa em escalas interanual e interdecadal, trazendo para o contexto a hipótese de que a linha de costa responde de forma distinta aos agentes processuais como ondas, correntes e marés, conforme a escala temporal sob análise, e ii - na determinação de células costeiras e de deriva litorânea, no sentido de que estas representem unidades homogêneas e fundamentais para aplicações em gerenciamento costeiro. A posição da linha de costa foi analisada através de aerofotos dos anos de 1938, 1978, 1994, 1998 e 2002, em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), enquanto que na determinação das células foram utilizados dois métodos: diagramas de refração/difração de ondas e morfo-textura praial. Os limites das células permitiram seccionar a linha de costa e obter unidades homogêneas para a aplicação de índices de vulnerabilidade, tendo sido adotado o conceito de unidade de orla marítima. Na análise de vulnerabilidade foram utilizadas oito variáveis, as quais foram comparadas quanto a sua correlação com as taxas de variações da linha de costa interanual e interdecadal. Tal comparação foi realizada por agregação linear e possibilitou a obtenção de 3 índices de vulnerabilidade costeira, índice interanual, interdecadal e geral. A análise de risco incluiu a variável de elevação do nível do mar e o risco de danos a edificações na faixa de orla marítima. Entre escalas, percebeu-se que, numa mesma praia, as respostas da linha de costa são diferentes, sendo que muitas variações em escala interanual são absorvidas pela dinâmica temporal maior expressa em taxas interdecadais. Foram identificadas 26 células costeiras, as quais exibem limites divergentes, convergentes e pulsantes, denotando as unidades de orla marítima. De forma geral, existe tendência à erosão costeira da ordem de 0,30m/ano, porém, para fins de análise de vulnerabilidade, devem ser consideradas a contribuição das variáveis em cada escala, bem como suas relações numa mesma praia. Por outro lado, As variáveis que tiveram maior importância foram a inclinação da antepraia e a altura de ondas, sendo que as demais variaram, em importância, conforme a escala sob perspectiva. A utilização de diferentes índices de

vulnerabilidade permitiu avaliar este trecho da linha contemplando diferentes processos como recuperação da praia pós eventos de alta energia, tendências de erosão costeira, elevação do nível do mar, além de considerar o risco de uso e ocupação da orla marítima.. Deste modo, a estrutura da metodologia pautada em unidades de orla marítima (relacionadas ao balanço sedimentar), e na consideração de diferentes escalas temporais propõe uma aproximação com ações diversificadas e efetivas de Planejamento e Gerenciamento Costeiro.

Palavras –chave: Vulnerabilidade costeira, Células costeiras, Erosão Costeira, Variação da Linha de costa, Ilha de Santa Catarina

ABSTRACT

The coastal vulnerability to coastal erosion depends on several factors that varies at time scales. At this study the goal was develop a methodological proposal to analyze coastal vulnerability of five beaches placed at southeast shore of Santa Catarina Island (Florianópolis-SC-Brazil). It's based on: i- shorelines position measurements in interdecadal and interannual scales, which highlighted the different responses from shorelines to coastal process; ii- Coastal and drift cells determination, which representing homogeneous unities to coastal management applications. The shoreline position was measured using aerial photography sets from the years: 1938 to 2002, using Geographical Information Systems (GIS), and the coastal and drif cells was studied with two methods: Diagram of wave refraction/diffraction obtained by MIKE 21 PMS modelling software, and a set of beach sampling profiles to analysis the morphological and sediments texture characteristics. The boundary between the coastal cells divide the shoreline in stretch representing homogeneous unities, to be used in vulnerability and risk analysis. Eight variables was correlated and compared with both interannual and interdecadal rates of shoreline change to compose the vulnerability analysis. The linear aggregation was used to compare the correlated data among variables and the shorelines rates resulting in three vulnerability indexes. The risk analisys includes an sea level rise prediction to year of 2090 and the damages of buildings placed at aseashore areas. There are different responses from shorelines from each time scales, occurring, in general, the shoreline changes relative interannual scale being absorbed by the changes happened in interdecadal scales. It was identified 26 coastal cells with different boundaries types between them like convergent , divergent and pulsatory denoting the aseashore unities. at general, there is a trend of coastal erosion about 0,30 m/year of magnitude, but, must be considered the variables contribution at time scales variation. The most important variables was the shoreface slope and height of wave breaking, and the others varying in importance according to time scale analyzed. The utilization of different vulnerability index turns possible the multi scale process analysis, considering the vulnerability to as beach recovery due storms, coastal erosion trends, sea level rise, and considering the human uses and occupation risks.

Keywords: Coastal Vulnerability, Coastal Cells Coastal Erosion, Shoreline variation Santa Catarina Island.

SUMÁRIO

RESUMO	4
ABSTRACT	6
SUMÁRIO	7
ESTRUTURA DA TESE	11
CAPÍTULO 1	13
1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos	14
1.2 Estado da arte	14
1.2.1 Conceitos, Definições e Fundamentos	14
1.2.2 Abordagens em vulnerabilidade costeira e risco	18
1.2.3 Considerações adicionais	23
2. MATERIAIS E MÉTODOS	24
3. SUMÁRIO INTEGRADOR	27
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
CAPÍTULO 2	33
VARIAÇÕES TEMPORAIS DA LINHA DE COSTA EM PRAIAS ARENOSAS DOMINADAS POR ONDAS DO SUDESTE DA ILHA DE SANTA CATARINA (FLORIANÓPOLIS-SC)	
RESUMO	34
ABSTRACT	35
1. INTRODUÇÃO	36
2. ÁREA DE ESTUDO	38
2.1 Fisiografia, Geologia e Geomorfologia	38
2.2 Clima e Oceanografia	39
2.3 Caracterização da área de estudo	40
3. METODOLOGIA	41
3.1 Levantamento cartográfico	41
3.2 Georeferenciamento e ortoretificação das aerofotos	42
3.3 Determinação da taxa de variação da linha de costa	43
3.4 Análise da variação da linha de costa	44

4. RESULTADOS	45
4.1 Praia da Solidão	45
4.2 Praia dos Açores- Pântano do Sul	46
4.3 Praia da lagoinha do Leste	46
4.4 Praia do Matadeiro	47
4.5 Praia da Armação	47
5. DISCUSSÃO	53
5.1 Tendências da linha de costa em longo prazo	53
5.2 Variações diferenciadas entre as escalas	57
5.3 Variações da linha de costa ao longo das praias	58
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
CAPÍTULO 3	68
DETERMINATION OF COASTAL AND NET SHORE-DRIFT CELLS IN SANDY BEACHES AT SOUTHEAST COAST OF SANTA CATARINA ISLAND, BRAZIL	
ABSTRACT	69
RESUMO	70
1. INTRODUCTION	71
2. STUDY AREA	73
3. MATERIAL AND METHODS	76
3.1 Wave Data	76
3.2 Wave Modeling	77
3.3 Geoprocessing and Spatial Analysis	78
3.4 Coastal Cell Determination	79
3.4.1 Geomorphic Feature Recognition	79
3.4.2 Longshore Component and Cell Boundaries	80
3.4.3 Longshore Current Direction	81
3.5 Net-Shore Drift Cells Determination	81
4. RESULTS	83
4.1 Coastal Physiographic Compartments	83
4.2 Coastal Cells Patterns Determination	85
4.3 Coastal Cells Boundaries Classification	90

4.4 Net Shore-Drift Cells Determination	97
5. DISCUSSION	103
6.FINAL REMARKS	106
7. REFERENCES	107
CAPÍTULO 4	111
PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ANÁLISE DE VULNERABILIDADE E RISCO A EROÇÃO COSTEIRA: COSTA SUDESTE DA ILHA DE SANTA CATARINA, BRASIL	
RESUMO	112
ABSTRACT	113
1. INTRODUÇÃO	114
2. ÁREA DE ESTUDO	116
3. MATERIAIS E MÉTODOS	120
3.1 Pressupostos metodológicos	120
3.2 Base de dados	122
3.3 Variáveis utilizadas	124
3.3.1 Taxa de Variação da Linha de Costa	125
3.3.2 Altura de onda	126
3.3.3 Inclinação de face litorânea	126
3.3.4 Altimetria	127
3.3.5 Velocidade residual de corrente longitudinal	127
3.3.6 Balanço Potencial de Sedimentos	127
3.3.7 Largura de pós-praia, Inclinação média de estirâncio e Granulometria média no estirâncio	128
3.4 Análise de Vulnerabilidade	128
3.4.1 Normalização de variáveis	128
3.4.2 Construção de índices de Vulnerabilidade	128
3.5 Análise de risco	125
4. RESULTADOS	131
4.1 Vulnerabilidade a Erosão Costeira	131
4.1.1 Índice de Vulnerabilidade Interanual	134
4.1.2 Índice de Vulnerabilidade Interdecadal	138

4.1.3 Índice Geral	138
4.2 Risco à Erosão Costeira	139
5. DISCUSSÃO	143
6. CONCLUSÕES	147
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	148
CAPÍTULO 5	155
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXO A	166

ESTRUTURA DA TESE

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos e um anexo (A). O primeiro capítulo abrange os objetivos e os avanços pretendidos com este estudo(1), o estado da arte sobre o tema vulnerabilidade costeira (2), uma descrição sobre os métodos utilizados (3) e sumário integrador (4), com a síntese final dos resultados apresentados nos capítulos posteriores.

O segundo capítulo consiste no artigo intitulado: *Variações Temporais da Linha de Costa em Praias Arenosas Dominadas por Ondas do Sudeste da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis-SC)*, encaminhado para a Revista Brasileira de Geociências em maio de 2007, tendo como autores Mazzer, A.M. & Dillenburg, S.R.. Esta capítulo analisa, a variação da linha de costa, a partir de aerofotos, em duas escalas temporais: a interanual a partir de um intervalo de 4 anos (1998-2002); e interdecadal, a partir de 64 anos (1938-2002). De forma geral, é demonstrado que a área estudada sofre erosão costeira, porém, são verificados comportamentos diversos da linha de costa, dependendo da escala temporal e do nível de energia que as praias estão submetidas.

O terceiro capítulo, *Determination of Coastal and Net Shore-Drift Cells in Sandy Beaches at Southeast Coast of Santa Catarina Island, Brazil*, é um artigo que foi encaminhado para a revista *Geomorphology* em 18 de outubro de 2007, tem como autores Mazzer, A.M.; Souza, C.R. G.; Dillenburg, S.R. & Bacila, C.R. . Trata sobre a determinação de compartimentos costeiros, a partir de dois métodos: diagrama de refração e difração de ondas e dados morfotexturais, Foram identificadas células costeiras e células de deriva litorânea, as quais apesar de possuírem limites nem sempre coincidentes, permitiram a compartimentação da área de estudo em 26 unidades baseadas no conceito de balanço sedimentar costeiro.

O quarto capítulo é o artigo *Proposta Metodológica para Análise de Vulnerabilidade e Risco a Erosão Costeira: Costa Sudeste da Ilha de Santa Catarina, Brasil*, encaminhado a Revista Brasileira de Geociências 19 de Outubro de 2007, e possui autoria de Mazzer, A.M.; Dillenburg, S.R. & Souza, C.R.G. Neste capítulo é apresentado um método de análise de vulnerabilidade e risco balizado pelo tratamento distinto entre escalas de interanual e interdecadal de variação de linha de costa, e baseado em células costeiras como unidades homogêneas.

O quinto capítulo é constituído das referências bibliográficas que compõem os capítulos, 2,3 e 4.

No anexo (A) encontram-se as cartas de recebimento dos artigos referentes aos capítulos 2, 3 e 4.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

1.1 Objetivos

Este estudo tem como objetivo analisar dados e informações de natureza distinta do ponto de vista temático e temporal, com vistas à elaboração de uma proposta metodológica para a avaliação da vulnerabilidade da orla marítima à erosão costeira, bem como aos riscos de ocupação antrópica. Tal avaliação busca gerar subsídios para o Planejamento e Gerenciamento Costeiro, a partir da aplicação-piloto no trecho litorâneo sul da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis, Estado de Santa Catarina).

1.2 Estado da Arte

1.2.1 Conceitos, Definições e Fundamentos

O termo vulnerabilidade é freqüentemente empregado nos trabalhos da área de Geociências, estando especialmente associado a desastres e incidência de fenômenos naturais. Ainda que dentro desse contexto refira-se a uma aplicação geral, percebe-se que esse termo possui significado amplo, e sob uma ótica fundamental, não existe um consenso em torno de sua conceituação, existindo pontos convergentes e divergentes acerca de seu significado. Adiante, seguem algumas definições e noções do conceito de vulnerabilidade, revisadas a partir de bibliografias com ênfase em regiões costeiras, tema pertinente ao objeto da presente proposta.

Na língua portuguesa, vulnerabilidade refere-se a vulnerável, que por sua vez, significa o lado fraco de um assunto ou questão, ou o ponto em que alguém pode ser atacado ou ferido (FERREIRA, 1995). No dicionário de língua inglesa *Webster* (MOREHEAD & MOREHEAD, 1995), esse termo é considerado como sinônimo de suscetibilidade, correspondendo à capacidade de ser afetado ou vulnerado.

A menção utilizada pelas Nações Unidas na ISDR (International Strategy for Disaster Reduction - 2002) define que “*Vulnerabilidade reflete o estado das condições físicas, socioeconômicas e ambientais, individuais e coletivas, as quais são continuamente influenciadas por atitudes, comportamentos culturais, socioeconômicos e política no contexto individual, familiar, comunitária e nação*”.

Conforme a ISDR (*op. cit*), o conceito de vulnerabilidade foi utilizado pelos primeiros engenheiros em referência aos níveis de resistência de materiais, desenhos e valores de edificações frente a terremotos, ação do vento e da água. A partir da década de 80, o conceito passou a ser utilizado, a princípio, em relação ao impacto de desastres, e posteriormente, na localização desses impactos, fazendo menção a fenômenos e eventos naturais e/ou antrópicos. Os autores afirmam que tal evolução ampliou o alcance do conceito para incluir as questões de natureza socioeconômica e ambiental.

Por outro lado, em trabalhos contemporâneos na área de Geociências, a definição de vulnerabilidade costeira é associada aos termos e conceitos: suscetibilidade (*susceptibility*), risco (*risk*), e perigos (*hazards*).

Na área de avaliação de vulnerabilidade, riscos de eventos perigosos ou fenômenos, Varnes (1984) publicou uma obra clássica referente a deslizamentos e movimentos de massa gravitacionais, a qual pode ser estendida para quaisquer eventos perigosos (ZUQUETE, 1995, SOUZA, 2004). Tal obra estabelece a expressão dada por Varnes (1984), onde $R=(H*V)*(E)$; sendo: R- risco; H-perigo; V-vulnerabilidade; e E- elemento de risco.

No “Manual de Vulnerabilidade Costeira para Ilhas do Oceano Índico”, Dutrieaux *et al.* (2000) afirmam que a vulnerabilidade está ligada às noções de sensibilidade e risco, sendo a sensibilidade associada a fatores intrínsecos do sistema natural, enquanto que os riscos referem-se ao tipo e intensidade de ocupação humana.

Westgate & O’Keefe (1976 *apud* ALCÂNTARA-AYALA, 2002), definem vulnerabilidade como grau de risco sob o qual está sujeita uma comunidade, sendo que risco refere-se à probabilidade de ocorrência de fenômeno físico ou natural extremo.

Gornitz *et al.* (1992) utilizaram a vulnerabilidade costeira num sentido mais restrito da palavra, mas que implica em grande extensão territorial e de volume de dados, considerando como fatores de vulnerabilidade aqueles diretamente ligados a agentes costeiros, oceanográficos e meteorológicos, visando ao desenvolvimento de um banco de dados de erosão costeira para a costa leste norte-americana.

Em um estudo de caso sobre análise de risco realizado na costa leste do Mar Cantábrico, o modelo de avaliação de riscos e perigos costeiros utilizados por Rivas & Cendrero (1992) considera a vulnerabilidade ligada ao ambiente antrópico, sendo que sua interação com o perigo (*hazard*) traduz-se em risco. De forma distinta do trabalho citado anteriormente, o conceito de vulnerabilidade desses autores está mais relacionado com aquele usado pelas Nações Unidas, que é mais amplo, incluindo outros tipos de vulnerabilidade e estendido-se além da determinação do ponto frágil de determinado elemento ou sistema natural a um determinado processo natural.

Conforme já discutido anteriormente (SOUZA, 2004), a ISDR (2002) define vulnerabilidade como um conjunto de condições e processos resultantes de fatores físicos, sociais, econômico e ambientais, que aumentam a suscetibilidade de uma comunidade frente a um impacto de evento e/ou fenômeno perigoso.

No trabalho realizado por Dal Cin & Simeoni (1994), a vulnerabilidade costeira é função da estabilidade e características morfodinâmicas das praias, classificadas em trechos costeiros. Esta se constitui em uma abordagem semelhante a Gornitz *et al.* (1992), porém, em outra escala de trabalho. No entanto, este estudo diferencia-se ao realizar uma análise de risco de erosão costeira a partir da incorporação de fatores relacionados à urbanização da costa.

Klein & Nicholls (1999) elaboraram uma proposta síntese, desenvolvendo um arcabouço sistêmico para definir a vulnerabilidade costeira à elevação do nível do mar, iniciando pela divisão entre vulnerabilidade natural e socioeconômica. Os autores afirmam que ocorre uma clara interação entre os subsistemas, porém, para analisar a vulnerabilidade socioeconômica deve-se conhecer a vulnerabilidade do sistema natural, o qual pode ser subdividido em três propriedades: Suscetibilidade - potencial de ser afetado pelo fenômeno em questão; Resistência - Habilidade de resistir ao impacto do fenômeno em questão; e Resiliência- Velocidade de recuperação após impacto do fenômeno em questão;

Greve *et al.* (2000), em seu trabalho sobre elevação do nível do mar na costa leste da Austrália, define risco como função da probabilidade de ocorrência e da vulnerabilidade a (exposição a agentes ativos) perigos decorrentes de processos naturais.

No mesmo sentido, porém com a utilização de termo distinto, Gallerini *et al.* (2002) avaliaram a suscetibilidade e os perigos de elevação do nível do mar na planície costeira da Versilias, Itália, definindo o primeiro como a tendência do território sucumbir e/ou resistir a fenômenos potencialmente destrutivos.

Zuquete *et al.* (1995) realizaram uma profunda discussão sobre métodos de zoneamento e cartografia de eventos perigosos e riscos associados. Os autores trazem conceituações de Eventos perigosos (*Hazards*) como fenômenos naturais ou não, fatos sociais ou assemelhados que provocam algum tipo de perda aos componentes do meio ambiente, sendo caracterizados principalmente pela intensidade. Já o termo riscos (*risks*) é utilizado para elementos naturais ou antrópicos, ante um evento perigoso condicionado a uma área e a um espaço (RAGOZIN, 1993 *apud* ZUQUETE *et al.* , 1995)

Souza (2004) revisou o termo Risco e conceitos associados visando a aplicação em determinações de área de inundações, enchentes e alagamentos na região costeira do Estado de São Paulo, Brasil. Em tal estudo, a autora discute os termos

vulnerabilidade, perigo (*hazard*), elemento de risco, danos potenciais, e suas associações com Risco. Em suma, pontua-se o termo Risco, que está intrinsicamente associado a uma probabilidade de ocorrência de danos (*damages*), perdas e prejuízos materiais, de vida humana e mesmo ambientais, devido a um perigo (*hazard/danger*), associado a um evento associado a fenômeno natural ou antropicamente induzido. É destacada ainda, a dificuldade de aplicação dos conceitos de vulnerabilidade, capacidade e elemento em risco devido à diversidade e complexidade dos atributos de análise e às disponibilidades de dados, considerando, oportunamente, a questão dos dados e a escala de trabalho.

A associação da conceituação de vulnerabilidade aos conceitos de riscos (*risk*), perigos (*hazards*) e danos (*damages*), encontrada em maior parte dos trabalhos revisados, expressa a dificuldade em dissociar a representação dos eventos e fenômenos naturais e/ou antropicamente induzidos, das causas socioeconômicas e perigos que representam para a sociedade. Percebe-se, em algumas publicações, uma sutil ausência de discernimento entre os termos, em que a conceituação desses apresenta-se de forma implícita, sendo priorizadas as questões metodológicas e de aplicação de resultados.

Ademais, tal associação encontra-se historicamente ligada ao estudo de movimentos de massa, vulcanismo, terremotos, no qual o risco expressa a necessidade do conhecimento dos locais mais expostos aos fenômenos em questão, a fim de evitar perdas humanas e econômicas. Particularmente, tal questão é grande motivo de preocupação por parte das Nações Unidas, que possui ampla experiência e vasta literatura em termos de conceitos, metodologias e estudos de caso.

Já a utilização, no mesmo sentido, dos termos vulnerabilidade e suscetibilidade, são freqüentes tanto em trabalhos sobre a região costeira, como em estudos sobre fenômenos geológicos continentais. Apesar de constituírem-se sinônimos na língua inglesa, no Português as definições desses termos não são objetivamente correspondentes. Conforme Ferreira (1995), suscetibilidade significa ‘ser passível de receber impressões, modificações ou receber qualidades.’

Outro ponto a ressaltar, é que a utilização de termos e o significado dos conceitos, estão, muitas vezes, associados à abordagem metodológica, ao fenômeno em questão, e mesmo à definição que cada língua possui, o que remete à questões históricas e culturais.

Cooper & Mc Laughlin (1998) revisaram uma série de trabalhos das décadas de 80 e 90, considerando que todos tratavam sobre Vulnerabilidade Costeira.

Foram abrangidos diversos trabalhos sobre avaliação de riscos, perigos, danos, com associações diretas ou não ao termo vulnerabilidade, corroborando o entendimento geral supracitado, porém, de certa forma, contribuindo para a indefinição acerca do conceito.

Diante do amplo significado do termo vulnerabilidade, como também de termos associados, tais como sensibilidade, suscetibilidade, risco, perigo e danos, faz-se oportuna a revisão da bibliografia, enfatizando o discernimento entre os aspectos metodológicos, a abordagem do estudo e a aplicação (relativa ao fenômeno em questão).

Para o uso e aplicação na área de Geologia e Geomorfologia Costeira, os termos: fraco, intrinsecamente vinculado à definição de vulnerabilidade; e passível, citado na definição de suscetibilidade, podem convergir para o mesmo significado.

1.2.2 Abordagens em vulnerabilidade e risco costeiro

Frente à ampla aplicação e diversidade dos estudos de vulnerabilidade costeira, é de fundamental importância distinguir os elementos que norteiam cada método, tais como escala espacial, tratamento e análise estatística, e principalmente as variáveis utilizadas na abordagem. Cabe ressaltar que muitas vezes, a abordagem é dependente da disponibilidade dos dados.

Um dos trabalhos de maior abrangência espacial foi realizado por Gornitz *et al.* (1992), o qual consiste em um sistema de avaliação de riscos costeiros para o sudeste do Estados Unidos. Neste trabalho utilizaram-se 13 variáveis (feição geomórfica, litologia, subsidência, taxas de erosão/acreção (por aerofotos), altura de onda (H_0) máxima, probabilidade de tempestades tropicais, de furacões e elevação altimétrica). Os autores geraram pesos através de análise de regressão múltipla entre as variáveis, a partir das quais foram gerados três algoritmos, sendo cada qual para um processo/evento: erosão costeira, inundação periódica e inundação permanente. Cada algoritmo possui atribuição de pesos maiores para as variáveis de relação mais próxima a cada processo/evento. Dessa forma, obtiveram-se índices de vulnerabilidade frente a processos relativos à elevação do nível do mar, baseados nos efeitos de erosão e inundação. Tal trabalho foi efetuado a partir da construção de um amplo banco de dados em Sistema de Informação Geográfica (SIG), porém devido a sua abrangência e combinação de dados de diferentes fontes, possibilitou uma representação e saída de dados em baixa resolução, com uma grade de 0,25°.

Dal Cin & Simeoni (1994) realizaram um modelo de classificação e determinação da vulnerabilidade para o sul da costa de Marche, na Itália. O modelo é baseado em 15 variáveis agrupadas nos fatores: hidrodinâmica, evolução, morfologia e sedimentologia da praia e antepraia, e intervenção humana. A análise de tais fatores consistiu em um agrupamento em segmentos costeiros de igual característica, através da normalização das variáveis, aplicação de análise de fatorial e análise de agrupamento (*cluster*). A definição de índices de vulnerabilidade foi determinada como uma função da erosão costeira, sendo avaliadas algumas variáveis indicadoras de estabilidade da linha de costa por meio de interpretação da classificação costeira, realizada pelo procedimento anterior.

Cooper & Mac Laughin (1998) realizaram uma importante revisão e discussão sobre os métodos utilizados em dezessete trabalhos contemporâneos sobre vulnerabilidade costeira e risco ambiental, incluindo estudos de erosão costeira e elevação do nível do mar, e avançando para implicações de ordem socioeconômica. Nessa análise, os autores classificaram os estudos em escalas global, regional e local, e também quanto aos métodos estatísticos utilizados. Nos trabalhos revisados, os autores destacam a dominância de métodos de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como ferramenta de classificação. Na seqüência, dominam métodos estatísticos tais como, análise multivariada, análise de agrupamento, análise fatorial e análise de componente principal, as quais, segundo Cooper & Mac Laughin (*op. cit*), permitem explicar boa parte dos fenômenos e suas respostas nos segmentos costeiros.

Já o sistema de avaliação de riscos costeiros propostos por Bush *et al.* (1999) utiliza geoindicadores para uma análise mais rápida e prática. Tal sistema é baseado em alguns conjuntos de parâmetros (geoindicadores), tais como: parâmetros gerais (vegetação costeira e elevação), parâmetros linha de costa (configuração, taxas de erosão/acreção, leques de sobrelavagem, presença de estruturas de proteção, etc.) parâmetros parâmetros de desembocaduras - *inlets* (relativos a carga de sedimentos e ao rio) e parâmetros Interiores (configuração das dunas, drenagem, solos e outros elementos). Tal sistema também consiste na reunião de dados de natureza diversa, a fim de transformá-los em parâmetros através da atribuição de valores e pesos, os quais serão somados e organizados em ordem hierárquica na forma de um ranqueamento.

Um sistema de análise de risco costeiro similar já havia sido desenvolvido por Bush *et al.* (1996), e aplicado na costa do estado do Texas, porém, sua

aplicabilidade é bastante direcionada aos sistemas de Ilha-Barreira existentes na costa leste do Estados Unidos. Ainda assim, as bases desses sistemas (ou modelos) de análise são simples e podem servir de ponto de partida para análises posteriores.

Richmond *et al.* (2001) avaliaram a vulnerabilidade de sete processos causadores de danos e prejuízo nas Ilhas Havaianas: erosão costeira, elevação do nível do mar, grandes tempestades, atividade vulcânica e sísmica, inundação, tsunami e eventos de ondas de altura extrema. O trabalho envolveu o levantamento e a sistematização de dados de geologia, declividade costeira (sistemas emerso e submerso), refração de ondas, séries temporais de marégrafos e ondógrafos e registros históricos dessas catástrofes, tipo e composição do ambiente praial, os quais levaram a um sistema de ranqueamento de áreas de risco para cada trecho da linha de costa das Ilhas Havaianas.

Thumerer *et al.* (2000) consideraram em sua análise dados temporais de nível do mar, altimetria, e presença de estruturas antrópicas associados a sua influência em processos litorâneos. Os autores realizaram uma modelagem com base na probabilidade de ocorrência de níveis mais altos do mar, em abordagem semelhante à de Varnes (1984) e Souza (2004), através do cálculo de taxas de recorrência sobre unidades homogêneas costeiras, gerando-se um ranking de vulnerabilidade costeira.

Gallerini *et al.* (2003) construíram um banco de dados espacial para o desenvolvimento de um modelo de vulnerabilidade e risco costeiro, contemplando planos de informação de diversos temas: Hidrografia, Geologia, Geomorfologia, Hidrogeologia, Cobertura do Solo, Altimetria, Batimetria, Linha de costa. Porém como já mencionado anteriormente, neste trabalho utilizou-se de elaboração de cenários por métodos determinísticos, assim como em Hennecke & Cowell (2000).

Short (1999) analisou risco e perigos da praia (*Beach hazards*) como sendo os elementos do ambiente praial que expõem o público a perigos e danos, considerando como os principais fatores de sua análise: profundidade do trecho praial, altura de onda na quebra e presença/intensidade de correntes na zona de surfê. O autor desenvolveu uma análise de probabilidade de risco, sugerindo um Parâmetro de Risco Praial.

Cooper & Mc Laughlin (1998) mostraram que a maioria dos trabalhos, seja em escala global regional ou local, utilizam 6 a 19 variáveis para a classificação, e usam o Sistema de Informação Geográfica como principal ferramenta para o

cruzamento de dados espaciais e desenvolvimento de índices de vulnerabilidade através de métodos estatísticos multivariados. Segundo os autores, existem dois principais fatores que diferenciam os tipos de índices de vulnerabilidade: (1) a natureza das variáveis usadas no índice, e (2) a natureza dos processos ou agente ao qual a área costeira é vulnerável.

Uma ampla variação de métodos de análise é aplicada na modelagem dos fatores inerentes à vulnerabilidade, sendo mais comuns aqueles que envolvem análises estatísticas, tais como: agrupamento (*cluster*), componente principal, análise de fator, entre outros. Porém, em alguns trabalhos, os pesos e valores para as variáveis do modelo são dados por atribuição direta, através de um ranking de magnitudes de processos geralmente baseado no conhecimento do pesquisador como, por exemplo, os trabalhos realizados por Bush *et al.* (1996), Bush *et al.* (1999) e Cobum (2001), Mazzer (2004), entre outros.

A maior parte dos trabalhos normalizam os valores de atributos através da aplicação de Log_{10} entre as variáveis, criando classes de 0 a 1 ou 1 a 10. Dessa forma, obtém-se valores na mesma escala numérica, ainda que se refiram a temas diferentes.

Em trabalhos sobre a vulnerabilidade costeira existe consenso quanto à utilização de algumas variáveis ou parâmetros, tais como: taxas de variação da linha de costa, altimetria/elevação, energia de onda, e influência/modificação antrópica. De forma específica, esses trabalhos variam quanto à escolha do indicador, ou da representação do processo, como, por exemplo, a energia de onda, que pode ser representada por Energia na Quebra (DAL CIN & SIMEONI, 1994), Clima de ondas “off shore” (GORNITZ *et al.*, 1992), altura de onda na isóbata de 10 m (MAZZER, 2004), Convergência de raios de onda na linha de costa (MENEZES & KLEIN, 2004), entre outros. Tal representação também pode se dar de forma indireta, através de características indiretas da linha de costa em relação a um processo, citando o exemplo de exposição a ondas em Bush *et al.* (1999) e Cobum (2001).

Por outro lado, algumas variáveis e parâmetros podem ser considerados relativamente independentes, pois na verdade, são produtos de diversos processos como batimetria e altimetria da região litorânea. Esses (processos ou variáveis??) geralmente são discretizados em intervalos, ou são objeto de derivação para obtenção de outras

variáveis como declividade da face litorânea , ou entram na modelagem de processos, como na aplicação da Regra de *Brunn*.

Percebe-se, a partir dos trabalhos revisados, que se deve proceder à escolha de variáveis a partir do objetivo de estudo, da escala da análise, características da área de estudo e dados disponíveis, procurando sempre contemplar os temas: Hidrodinâmica, Geologia/Geomorfologia costeira, e Influências Antrópicas.

A questão da interação entre as variáveis e parâmetros analisados ainda não está bem elucidada na literatura, existindo diferentes formas de integração, cujos maiores avanços estão na abordagem de modelagem espacial. A obtenção de pesos para equacionamento entre esses parâmetros e variáveis pode ser feita a partir de modelagem estatística: regressão linear (GORNITZ *et al.*, 1992), agregação linear (VILLA & MCLEOD, 2000), métodos de critérios múltiplos (Análise Fatorial, Componentes Principais), ou ainda por equacionamento matemático, como soma simples, modelos físicos (Regra de Brun, perfil de equilíbrio de praia, entre outros).

Porém, poucos abordam a interação entre diferentes escalas espaciais e temporais, devido à relação não linear comumente encontrada entre variáveis e parâmetros distintos. Villa & McLeod (2000) efetuaram a integração de escalas a partir de matrizes *pairwise*, e a utilização de métodos estatísticos como regressão múltipla e análise fatorial por Dal Cin & Simeoni (1994) Gornitz *et al.* (1992), respectivamente, contribuíram para o conhecimento dessa interação, com base nos dados utilizados.

A investigação de natureza estatística entre os dados relativos a variáveis e parâmetros, constitui-se em um ponto essencial para a busca de pesos entre estes, quando da sua integração. Tal investigação necessita de mais esforços para investigação de efeitos e representatividades relativas às escalas, a fim de que a análise de vulnerabilidade costeira não incorra em subestimação, nem superestimação de cada tema no âmbito do fenômeno estudado e escala de trabalho.

1.2.3 Considerações Adicionais

A vulnerabilidade costeira pode apresentar-se, conforme utilizado por Dal Cin & Simeoni (1994), Klein & Nicholls (1999), Hennecke & Cowell (2000), Coburn (2001) entre outros, como um arranjo de atributos que caracterizam maior

fragilidade, fraqueza ou passividade para com a incidência de um evento/fenômeno de alta energia ou de potencial destrutivo. Neste contexto, adota-se a definição e conceituação para esse termo na presente proposta.

No entanto, o termo está longe da exaustão quanto a significados, entendimentos e aplicações, o que remete à necessidade de se detalhar mais as abordagens metodológicas e aplicações, para fins de melhor entendimento e esclarecimento acerca de seu presente uso.

A Vulnerabilidade Costeira apresenta-se como um tema passível de desdobramentos em relação ao seu significado e entendimento ao longo dos trabalhos revisados. A necessidade de adotar-se uma definição baseada no consenso de diversas aplicações e abordagens é demandada pelo norteamento de um conceito fundamentado, a fim de possibilitar a escolha da abordagem metodológica adequada.

Por tratar-se de estudos de aplicação de cunho ambiental, diferindo sob certa perspectiva, de estudos puros em Geociências, tais como: investigação de processos, fenômenos, feições, entre outros, requer-se uma abordagem que possibilite a sistematização de dados, para fins de integração de dados de natureza (e muitas vezes, de qualidade) distinta. Nesse sentido, as classificações espaciais em unidades homogêneas, mostram-se viáveis para fins de tratamento e integração de maior complexidade em fases posteriores.

Entre os trabalhos contemporâneos, é notório o uso de Sistema de Informação Geográfica (SIG), devido à possibilidade de corresponder aos requerimentos de análise de vulnerabilidade, já que o SIG é capaz de armazenar, organizar, espacializar, manipular e modelar dados, gerando ainda produtos cartográficos, especialmente úteis dentro de seu propósito.

As diversas aplicações e métodos existentes, muitas vezes refletem a escala de estudo, disponibilidade de dados, e contexto ambiental (fisiográfico/geológico e quanto à exposição a fenômenos distintos) das áreas estudadas. No entanto, percebe-se certa convergência a um conjunto de temas a serem considerados nas análises (relativos à hidrodinâmica, morfodinâmica e influência antrópica).

Contudo, nota-se menor esforço empregado na modelagem de dados em relação à integração de temas distintos e padronização de dados. Tal fato ocorre de forma mais pronunciada em referência às interrelações (e integrações) entre distintas escalas espaciais e temporais dos processos vinculados aos temas e variáveis. Dessa forma, tal lacuna deveria tornar-se foco de maiores investigações, com especial ênfase

na definição de variáveis adequadas, no aprofundamento do tratamento e análise estatística, bem como da modelagem espacial.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A construção de uma proposta metodológica para analisar a vulnerabilidade da orla marítima baseou-se em quatro aspectos principais:

- 1) A construção de uma base de dados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica;
- 2) Análise da variação da linha de costa por aerofotos em escalas temporais distintas;
- 3) A classificação da linha de costa em unidades homogêneas a partir de células costeiras, e
- 4) A geração de índice de vulnerabilidade e análise de risco.

A construção da base de dados inicia-se com a organização dos primeiros dados coletados e segue continuamente até os últimos resultados gerados, em ambiente de sistema de informação geográfica *Arc Info Desktop 9.1*. Tal construção utilizou dados e informações em diversos formatos, os quais estão caracterizados conforme a Figura 1.

Estrutura dos dados		Dados e informações	Procedimento/tratamento metodológico	Formato	Variável obtida
Dados	Base Cartográfica	1)Base Topográfica (1:10.000) 2)Base Cartográfica 1:2.000 3)Aerofotos (1938, 1978, 1994, 1998 e 2002) ^(1,2) 4)Carta Náutica (DHN, 199?) (1:49.827) 5)Modelo Numérico de Terreno (MNT)- Altimétrico/batimétrico 6)Máscara de altimetria de orla marítima 7)Máscaras entre às isóbatas – 5-10m 8)Polígonos de células costeiras	-Edição de vetores e tabelas -Ortorectificação -Magnificação -Interpolação com malha de triângulos irregulares (TIN) -Recorte da área em MNT	-Vetorial -Vetorial -Matricial -Vetorial -TIN -Vetorial -Vetorial -Vetorial	-Altimetria da orla
	Hidro Dinâmicos	9)Diagramas de refração de ondas 10)Ortogonais($P_L \approx 0$) à linha de costa 11)Diagramas de velocidade de corrente longitudinal. 12)Células de deriva litorânea	Modelagem ref-dif .- programa MIKE 21 -Conversão ASCII- formato GRID -Aplicação de álgebra matricial (GRIDS) -Sobreposições cartográficas (intersecção e união) $V_L = 1,18 (gH_b)^{1/2} \sin \alpha \cos \alpha$ $H_b / 0.563 / (H_0 / L_0)^{0.2}$	-Matricial -Vetorial -Matricial -Vetorial /matricial	-Altura de onda -Direção de onda -Vel. De corrente longitudinal -Altura de onda na quebra
Espaciais	Morfo	13)Séries temporais da linha de costa 14)Taxas de erosão interdecadal e interanual 15)Variação de largura da linha de costa 16)Unidade de orla marítima 17) Perfis de antepraia 18)Linhas de distância de edificações na orla -	-Regressão Linear -Análise de distancia (<i>end point rate</i>) -Perfil transversal linha de costa em MNT; - Análise de distância (edificações-linha de vegetação)	-Vetorial -Vetorial -Vetorial -Vetorial -Vetorial /tabular	-Variação da LC interdecadal -Variação da LC interanual -Inclinação de antepraia -tamanho médio de grão no estirâncio -Inclinação do estirâncio
Dados não espaciais	dinâmicos	19)Granulometria na face praial 20) Declividade na face praial 21) Largura de pós praia 22) Matrizes de comparação-células de deriva 23)Retração da Linha de costa	Coleta em campo após evento de alta energia -Medidas com trena e clinômetros -Análise granulométrica por peneiração - - Perfil de equilíbrio de Brunn com base no MNT $R = SLG/H$	-Vetorial/ tabular -Tabular -Tabular -Tabular -Tabular	-Largura de pós praia -Retração da linha de costa-100 anos
espaciais	Análises finais	24)Índices de vulnerabilidade 25)Análises de risco	-Normalização de variáveis -Agregação linear -Geração de índices	-Tabular -Tabular	-

Figura 1 : Quadro contendo os principais dados e informações utilizadas no presente trabalho.

2) A determinação de taxas de erosão foi realizada a partir da comparação entre as posições da linha de costa em aerofotos dos anos de 1938, 1978, 1994, 1998 e 2002, em diversas escalas.

A fim de reduzir a escala das mesmas e possibilitar melhores comparações foi realizada a ortoretificação. Posteriormente, as mesmas tiveram seus histogramas de valores manipulados, de forma a realçar a linha de preamar das praias e permitir sua digitalização.

A partir de 172 perfis digitais perpendiculares à linha de costa foram estimadas taxas de variação da linha de costa gerando duas análises: a interdecadal, que utilizou todas as fotografias aéreas, aplicando o método de regressão linear “*Jackknife*”; e a interanual, obtida pela comparação entre a linha de costa entre os anos de 1998 e 2002, pelo método “*End point rate*”.

3) As células costeiras foram determinadas a partir da modelagem de diagrama de refração e difração de ondas, e por análise morfotextural das praias da área de estudo.

Na obtenção do diagrama supracitado, foi utilizado o programa Mike 21 PMS, para refração de ondas em três principais ondulações ocorrentes na área de estudo.

Tais dados foram georeferenciados e modelados espacialmente no programa *Arc Info Desktop 9.1*, permitindo o equacionamento com outros dados, tais como: batimetria e orientação da linha de costa. Dessa forma, determinou-se as ortogonais de onda correspondentes ao componente paralelo quase nulo, e a velocidade potencial das correntes longitudinais.

Esses resultados permitiram delimitar as células costeiras, conforme o conceito de Carter (1988), bem como determinar suas direções predominantes, e consequentemente os tipos de limites.

Paralelamente, foram realizadas campanhas de amostragem nas praias, cerca de uma semana após a passagem de eventos de ondulação de características semelhantes às testadas no modelo supracitado. As amostragens compreenderam 40 perfis morfológicos (largura de pós praia e inclinação da face praial), e coletas de sedimentos da face praial, nos quais foram realizadas análise granulométrica.

A partir desses dados foram obtidas as células de deriva litorânea, as quais foram comparadas com as células costeiras obtidas por método distinto. O contexto da comparação teve foco na adequação da determinação de células costeiras

como unidades básicas de planejamento e gerenciamento costeiro dentro do conceito de balanço sedimentar.

4) Para a geração de índices de vulnerabilidade foram utilizadas oito variáveis, descritas na Figura 1. A determinação dos pesos das mesmas foi realizada através da verificação da correlação entre cada variável e cada taxa de variação da linha de costa (interanual e interdecadal). Tal análise se deu por agregação linear, gerando um índice de vulnerabilidade referente a cada escala temporal, e um terceiro integrando ambas as escalas, os quais seguem abaixo:

$$\text{IV-Anual} = 0,4 * \text{ taxa interanual} + (0,6 (0,12\text{Hb}) + (0,16\text{ANT}) + (0,11\text{ALT}) + (0,14\text{CLR}) + (0,08\text{TG}) + (0,17\text{DFP}) + 0,10\text{LPP}) + (0,13\text{ILC})$$

$$\text{IV-Interdecadal} = 0,4 * \text{ taxa interdecadal} + (0,6 * (0,16\text{Hb}) + (0,16\text{ANT}) + (0,06\text{ALT}) + (0,09\text{CLR}) + (0,13\text{TG}) + (0,12\text{DFP}) + 0,14\text{LPP}) + (0,13\text{ILC})$$

$$\text{IV-Geral} = 0,2 \text{ taxa interanual} + 0,3 \text{ taxa interdecadal} + (0,5(0,16\text{hb}) + (0,16\text{ANT}) + (0,06\text{ALT}) + (0,09\text{CLR}) + (0,13\text{TG}) + (0,12\text{DFP}) + 0,14\text{LPP}) + (0,13\text{ILC})$$

A partir do índice geral de vulnerabilidade costeira e da inserção da variável “retração da linha de costa” foi realizada uma análise de risco determinado por $R=(H*V)*(E)$, sendo R- risco; H-perigo; V-vulnerabilidade; e E-elemento de risco, conforme Varnes (1984). O Elemento de risco analisado consistiu nas edificações localizadas na faixa de 50 metros de largura de orla marítima.

3. SUMÁRIO INTEGRADOR

A proposta de metodologia para avaliar a vulnerabilidade da orla marítima à erosão costeira tem como referência os processos que atuam sob a linha de costa. A linha de costa é um elemento geomorfológico que apresenta mudanças de posição de natureza complexa, envolvendo diversos processos ligados à elevação do nível do mar (em curto e longo prazo), balanço de sedimentos, movimentos tectônicos e reológicos, e causas antrópicas (CAMFIELD & MORANG, 1996). Portanto, para seu estudo faz-se necessário a abordagem de diversas variáveis, devidamente compatíveis com a escala de trabalho (COOPER & MC LAUGHAN, 1998), da consideração de diversas escalas temporais, e também do conceito de balanço sedimentar.

A análise da variação temporal da linha de costa demonstrou que, de forma geral, está ocorrendo erosão costeira na área de estudo. Porém, em escala interdecadal, as taxas são em média três vezes maiores que as medidas em escala interanual, ainda que a amplitude de valores nesta última escala seja superior à primeira.

As variações de respostas em escala interdecadal entre as praias ressaltam a influência da configuração espacial (orientação, exposição) e dos aspectos morfodinâmicos de médio prazo (estágio morfodinâmico, rotação praial). Já em escala interanual refletem as respostas aos processos ligados a eventos de alta energia e variações sazonais e interanuais, nas condições hidrodinâmicas e meteorológicas.

Tal comportamento da linha de costa levou a tratar as escalas de forma separada para a construção dos índices de vulnerabilidade costeira.

O conceito de balanço sedimentar foi inserido no contexto do presente trabalho a partir da consideração das células costeiras como unidades homogêneas contíguas aos trechos costeiros de orla marítima. As células costeiras possuem um ciclo sedimentar de erosão transporte e deposição inerente (INMAN, 2003) e, portanto, permitem a comparação da erosão costeira entre células semelhantes adjacentes.

Constatou-se que o trecho costeiro com cerca de 9.200 metros apresentou 26 células costeiras com base em diagrama de refração e difração de ondas. Dentro de tais células, verificou-se que ocorrem as células de deriva litorânea, que compõem os segmentos de erosão, transporte e deposição.

Adotou-se o limite das células costeiras como o divisor das unidades de orla marítima, nas quais foram aplicados índices de vulnerabilidade costeira e análise de risco. Essas aplicações mostraram que independentemente da escala analisada, a declividade da antepraia e altura de ondas são fatores fortemente ligados às mudanças de linha de costa. Aspectos relacionados às células costeiras como natureza de limites e velocidade residual de correntes mostram-se importantes na escala interanual, enquanto que variáveis ligadas ao estágio morfodinâmico (declividade, granuometria e largura) estão mais associadas ao comportamento interdecadal da linha de costa.

De forma geral, a construção de uma base de dados e a sistematização espacial de procedimentos metodológicos em ambientes de sistema de informação geográfica demonstrou ampla capacidade de análise, estando, inclusive não esgotada, uma vez que seu arcabouço e composição básica já estão constituídos.

A atribuição de níveis de vulnerabilidade e risco a segmentos da linha de costa com relativa homogeneidade de atuação de processos costeiros teve o propósito de remeter a ações efetivas de planejamento e gerenciamento costeiro.

Tal afirmação sustenta-se na vinculação ao balanço sedimentar através das células costeiras, a qual permite contextualizar as unidades buscando o equilíbrio de sedimentos na linha de costa da praia e do trecho costeiro como um todo. Ou seja, essa vinculação identifica as células costeiras/unidades de orla marítima que estão com déficit ou superávit de sedimentos.

Considerando que o balanço de sedimentos e as mudanças da linha de costa ocorrem em diversas escalas temporais (SHUISKY & SCHWARTZ, 1983; KOMAR, 1983; CARTER, 1988; COWELL & THOM, 1995; STIVE *et al.*, 2002; COWELL *et. a.*, 2003), o discernimento da presente abordagem, ao utilizar duas escalas temporais, assinala a necessidade de consideração de diferentes variáveis e trechos costeiros, conforme a escala temporal que a intervenção humana costeira irá abranger.

Ademais, o risco de ocupação em faixa de 50 metros da orla marítima frente a uma elevação do nível do mar determinou cenários que requerem o estabelecimento de uma referência para a elaboração de diretrizes de uso, ocupação e desocupação humana em certos trechos costeiros do sudeste da Ilha de Santa Catarina – Estado de Santa Catarina, Brasil.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcántara-Ayala, I.; 2002. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. **Geomorphology** 47: 107-124.
- Bush, D.M.; Neal, W.J.; Young, R.S.; Pilkey, O.H.; 1999. Utilization of Geoinicators for Rapid Assesment of Coastal-Hazard Risk and Mitigation. **Ocean and Coastal Management** 42: 647-670.
- Bush, D.M.; Pilkey Jr., O.H.; Neal, W.J.; 1996. **Living by the rules of the sea**. London: Duke University Press. 196 p
- Carter, R.G.W. 1988. **Coastal Environments: An introduction of Physical, Ecological and Cultural Systems**. London,, Academic press, 617p.
- Camfield, F.E.; Morang, A. 1996. Defining and Interpreting Shoreline Change. **Ocean and Coastal Management** 32 (3): 129-151.
- Cobum A.S. 2001. Reducing Vulnerability of North Carolina Communities: A Model Approach for Identifying, Mapping and Mitigating Coastal Hazards. Program for the Study of Developed Shorelines, Duke University. *on line*: <http://www.env.duke.edu/psds/docs.htm>.. Acessado em 5 de outubro de 2003.
- Cooper, J. A.G.; Mc Laughin, S; 1998; Comtemporary Multidisciplinary Approaches to Coastal Classification and Environmental Risks Analysis. **Journal of Coastal Research** 2 (14): 512-524.
- Cowell, P.J.; Stive, M.J.F.; Niedoroda, A.W.;de vriend, H.J.; Swift, D.J.P.; Kaminsky, F.; Capobianco M.. 2003. The Coastal Tract (Part 1): A Conceptual Approach Aggregated Modeling of Low order Coastal Change. **Journal of Coastal Research** 4 (19): 812-827.
- Cowell, P.J. & Thom, B.G. 1997. Morphodynamics of Coastal Evolution. In: Carter, R.W.W.. & Woodroffe, C.D. (eds.). **Coastal evolution: late quaternary shoreline morphodynamics**, Cambridge, University Press, 539 p.
- Dal Cin, R.; Simeoni, U.; 1994. A model for determinining the Classification, Vulnerability and Risk in the Southern Coastal Zone of the Marche (Italy). **Journal of Coastal Research** 10(1):19-29

- Dutrieux, E.; Canovas, J. Denis; Y. Hénocque; J.P. Quod J.; Bigot, L.; 2000. Guide Méthodologique Pour L'élaboration de Cartes de Vulnérabilité des Zones Côtières de l' Ocean Indien. INFREMER/UNESCO. **IOC Guides and Manuals** 38, 40 p.
- Ferreira A. B. H. 1977. **Dicionário da Língua Portuguesa AURÉLIO**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.
- Gallerini, G.; De Donatis, M.; Devoti, S.; Gabellini, M.; Nisi, M.F.; Silenzi, S.; 2003. In: CoastGis'03, V International Symposium on GIS and Computer Cartography for Coastal Zone Management. Proceedings.... Italia, (On line) <http://www.gisig.it/coastgis>
- Greve, C.A; Cowell, P.; Thom, B.G.; 2000. Application of a Geographical Information System for a Risk Assesment on Open Ocean Beaches: Collaroy/Narrabeen Beach, Sydney, Australia-An Example. **Environmental Geoscience** 7 (3): 149-161.
- Goodchild, M.; Bradley, O. P.; Louis, T. S.(eds.) 1993. **Environmental Modeling with GIS**. Oxford University Press. 421 p.
- Gornitz, V.M.; Daniels, R.C.; White, T.W.; Birdwell, K.R.;1992. The Development of a Coastal Risk Assesment Database: Vulnerability to Sea Level Rise in the U.S. Southeast. **Journal of Coastal Research** Special Issue 12: 327-338.
- Hennecke, W.G.,Cowell, P.2000. Gis Modeling of Impacts of an Accelerated Rate of Sea Level on Coastal Inlets and Deeply Embayed Shorelines. **Environmental Geosciences** 7: 137-148.
- International Strategy for Disaster Reduction (ISDR) 2002. **Living With Risk. A Global Review of Disaster Reduction Initiatives**. United Nations, Inter Agency Secretariat. Prelimarily version. Geneva, Switzerland. 384p.
- Klein, R.; Nicholls, R, 1999, Assessment of Coastal Vulnerability to Climate Change. **Ambio** 28 (2): 182-187
- Mazzer, A M.; 2004. Analise da Vulnerabilidade Costeira com uso de Sistema de Informação Geográfica: Uma aplicação ao trecho litorâneo sul da Ilha de Santa Catarina.. In: V Simpósio Nacional de Geomorfologia. **Anais...** Santa Maria, Brazil. CD-ROM.
- Menezes, J. T.; Klein, A. H. 2004. Coastal Erosion Vulnerability Analysis Methodology. 8th International Coastal Symposium. Itajai. In: **Proceedings**CTTMAR/CERF: Itajaí: 196-199 p.

- Morehead, A.; Morehead L. 1995. **The New American Webster Handy College Dictionary**. Signet Book: New Work, USA, 796 p.
- Richmond, B.M.; Fletcher, C.H.; Grossman, E.E.; Gibbs, A.E.;2000. Islands at Risk: Coastal Hazard Assesment and Mapping in the Hawaiian Islands. **Environmental Geosciences** 8(1): 21-37.
- Short, A. D. 1999. **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics**. Chichester, Wiley & Sons, 379 p.
- Souza, C.R.G. 2004. Risco a Inundações, Enchentes e Alagamentos em Regiões Costeiras. In: Simp. Brasileiro de Desastres Naturais, 1.Florianópolis. *Anais*, Florianópolis: GEDN/UFSC p.231-247, CD ROOM.
- Stive, J.F.; Aarninkhof, H. L.; Hanson, H; Larson, M.; Winjnberg, K.M.; Nicholls, R.J. & Capobianco, M. 2002. Variability of shore and shoreline evolution. **Coastal Engineering** 47 : 211-235.
- Shuisky, B. Y.; Shuwartz, M.L. 1983. Basic Principles of Sediment Budget Study in the Coastal Zone. **Shore and Beach** January: 34-42.
- Thumerer, T.; Jones, A. P.; Brown, D. 2000. A GIS Based Coastal Management System for Climate Change Associated Flood Risk Assesment on the East Coast of England. **International Journal of Geographical Information Science** 14 (3): 265-281.
- Varnes, D.J. 1984. **Landslide Hazard Zonation: Review of Principles and Practice**. UNESCO Press, Paris. 56p.
- Villa, F., McLeod, H. 2002. Environmental Vulnerability Indicators for Environmental Planning and Decision Making: Guidelines and Applications. **Environmental Management** 29: 335-348.
- Zuquete, L. V., Péjon, O.J., Gandolfi, N. Paraguassu, A.B. 1995. Considerações básicas sobre a elaboração de carta de zoneamentos de probabilidade ou possibilidade de ocorrer eventos perigosos e de riscos associados. **Geociências** 14 (2): 9-39.

CAPÍTULO 2

**VARIAÇÕES TEMPORAIS DA LINHA DE COSTA EM PRAIAS
ARENOSAS DOMINADAS POR ONDAS DO SUDESTE DA ILHA
DE SANTA CATARINA (FLORIANÓPOLIS-SC)**

ABSTRACT

Shoreline variation occurs at several temporal scales and the most useful time span for human context is about 100 years or less. At the Santa Catarina Island, environmental problems related to unplanned human occupation and activities resulted in coastal erosion e lost of environmental quality. At this point, this study is about a shoreline variation analysis at inter decadal scale, and inter annual scale involving with 64 years and 4 years time span evaluation, respectively, to five sandy beaches located at southeast of Santa Catarina Island. The data source was composed by 5 time series of aerial photographs, which was digitized, and managed by geoprocessing techniques, using digital cartography and Geographical Information System tools. The general trend of shoreline variation showed an erosional rate a little bit more than half meter per year, and an average shore retraction less than fifth meters at 64 years. At the inter annual scale, the rates and the beach width was lesser than inter decadal, yet, the ranges at some specific beach location reached rates four times superior. However, not even all the beaches showed erosional trend in one or both time spans analyzed. It was realized that distinct response of shoreline variation between the beaches is caused either by morphodynamic stage and human presence, whose influence the behaviour at different temporal scales. The shoreline variation among both time spans allowed the smoothing coastal processes of short periods making possible to highlight trends in higher temporal horizon. This approach let to explore shoreline variation by the distinct ways of interesting of coastal planning and management.

Keywords: *Shoreline variation; temporal scales, coastal erosion, Coastal Management and Santa Catarina Island (Brazil).*

RESUMO

A variação da linha de costa ocorre em diversas escalas temporais, sendo a escala inferior a 100 anos especialmente importante para o contexto humano. Na Ilha de Santa Catarina (SC), problemas decorrentes de ocupação e uso da orla marítima de forma desordenada ocasionaram problemas de erosão costeira e perda de qualidade ambiental. Neste sentido, foi realizada uma avaliação da variação da linha de costa, abrangendo os períodos de 64 anos e 4 anos, de forma a contemplar a escala interdecadal e interanual, em cinco praias da costa sudeste da Ilha de Santa Catarina (SC). A obtenção dos dados foi realizada através de aerofotos, devidamente digitalizada e tratada, utilizando técnicas e ferramentas de geoprocessamento. A variação média em escala interdecadal demonstrou uma taxa média superior a meio metro anual de recuo da linha de costa e perda de faixa média de largura de praia inferior a cinquenta metros em 64 anos. Já em escala interanual os valores apresentaram-se inferiores, porém com grande variação, apresentando pontualmente taxas de variação até quatro vezes superiores à escala interdecadal. No entanto, nem todas as praias demonstraram tendência erosiva. Verificaram-se respostas distintas de taxas de variação da linha de costa entre as praias, sugerindo que o estágio morfodinâmico e a influência antrópica exercem papel importante no comportamento da praia em diferentes escalas. A variação entre os períodos temporais analisados indicou a presença da suavização de processos de períodos mais curtos, permitindo ressaltar a tendência em um contexto temporal mais abrangente. Tal abordagem permitiu explorar a variação da linha de costa sob diferentes perspectivas temporais, gerando subsídios relevantes ao planejamento e gerenciamento costeiro.

Palavras-chave: *Variação de linha de costa, escalas temporais, erosão costeira, Gerenciamento Costeiro, Ilha de Santa Catarina.*

1. INTRODUÇÃO

A linha de costa é um elemento geomorfológico que apresenta alta dinâmica espacial decorrente de respostas a processos costeiros de diferentes magnitudes e frequências. Suas mudanças de posição são de natureza complexa, envolvendo diversos processos ligados à elevação do nível do mar (em curto e longo prazo), balanço de sedimentos, movimentos tectônicos e reológicos, e causas antrópicas (Camfield & Morang, 1996).

Em praias arenosas, a linha de costa é um espaço utilizado pelo homem para diversos fins, destacando aqueles de natureza recreacional e turística. A crescente demanda por tais usos nos municípios litorâneos induz muitas vezes a um desenvolvimento sem planejamento, desconsiderando a natureza móvel e dinâmica da linha de costa.

O mapeamento sistemático da linha de costa e o acompanhamento de suas mudanças ao longo do tempo representam ferramentas para a geração de informações de grande valor para o planejamento e gerenciamento costeiro, pois fornecem subsídios para o estabelecimento de faixas de recuos (*setback*) da zona litorânea, permitem a determinação de áreas de risco de erosão costeira e contribuem também com informações para a implantação de obras de intervenção direta na linha de costa (guias correntes, molhes, engordamento de praia etc.) (Anders & Byrnes, 1991; Crowel *et al.*, 1991; Douglas *et al.*, 1998). A leitura do comportamento da linha de costa em escalas temporais distintas pode contribuir com subsídios relevantes para o planejamento da ocupação da orla em horizontes temporais superiores a 20 anos.

Nas últimas décadas, as técnicas de mapeamento da linha de costa têm apresentado grande evolução relacionada ao rápido avanço tecnológico, popularização dos sistemas de informação geográfica e cartografia digital, e estendendo-se também às formas de obtenção de dados pela incorporação de novas tecnologias, tais como DGPS e Sensores Laser (LIDAR) (Leathermann, 2003).

Muitos trabalhos demonstram notáveis avanços em questões relacionadas a erros e tratamentos de dados, métodos de análise e predição da posição da linha de costa, valendo ressaltar as discussões acerca da escala de tempo abrangida e as

variações de curto prazo e longo prazo (Leathermann, 1983, Leathermann, 2003, Crowel *et al.*, 1991, Moore, 2000, entre outros).

Crowel *et al.* (1991) afirmam que cerca de 100 anos corresponde a um período importante em relação às influências antrópicas na orla marítima, devido ao fato de coincidir com um período de rápida evolução no desenvolvimento da sociedade humana. Leatherman (2003) observa que o período de 100 anos ou menos é de interesse humano por contemporizar possíveis processos de elevação do nível do mar e erosão costeira.

As causas de erosão costeira vêm sendo amplamente discutidas em nível mundial (Brunn, 1962; Bird, 1985; Brunn & Schwartz, 1985 *apud* Souza *et al.*, 2005) e nacional (Dominguez, 1995; Souza, 1997; Souza *et al.*, 2005; Dillenburg *et al.*, 2004), sendo que dois principais processos são apontados como principais causadores do fenômeno: a elevação do nível do mar e o balanço sedimentar negativo. As estimativas do Painel Internacional de Mudanças Climáticas apontam que a elevação do nível do mar chegará a taxas de 0,13 a 0,50 m/ano até 2100 (IPCC, 2001). Como consequência desse fenômeno, espera-se que os processos de erosão costeira sejam intensificados, conforme já demonstrado através do Princípio de Brunn (Brunn, 1962). Na Ilha de Santa Catarina, sede da capital do Estado de Santa Catarina, região sul do Brasil, iniciou-se a partir da metade do século passado um período de grande desenvolvimento e crescimento demográfico. Conseqüentemente, as mudanças na linha de costa, especialmente aquelas associadas às intervenções de natureza antrópica, como a erosão costeira, vêm sendo significativas desde esse período (Cruz, 1996).

Ao sul da Ilha, a ocupação humana sobre as dunas frontais, bem como modificações na drenagem local, associam-se aos problemas históricos de erosão costeira. Nas praias da Armação, Açores e Pântano do Sul, ocorrem recuos da linha de costa já constatados há mais de dez anos por Castilhos (1995) e Gré *et al.* (1993). Trabalhos sobre sedimentologia e morfodinâmica praias em escala sazonal foram abordados por Miott (2004) e Oliveira (2005), contribuindo para elucidar os aspectos do comportamento praias em eventos de maior energia e troca de sedimentos.

Todavia, mudanças de posição da linha de costa no sul da Ilha de Santa Catarina também ocorrem aparentemente sob várias escalas temporais, e questões como, por exemplo, erosão costeira e balanço sedimentar necessitam serem diferenciadas quanto a representarem tendências e/ou oscilações de distintas frequências. Neste contexto, a abordagem considerando a variação entre escalas

temporais distintas pode disponibilizar informações úteis para o gerenciamento da linha de costa e gerar bases técnicas para o Gerenciamento Costeiro.

O presente trabalho busca abordar as variações da linha de costa em escala histórica, a partir de suas variações em longo prazo (entre décadas) e em curto prazo (entre anos). Para tanto, o estudo considerou seis praias arenosas dominadas por ondas localizadas ao sul da Ilha de Santa Catarina (figura 1), sob horizontes temporais de 64 anos e 4 anos.

2. ÁREA DE ESTUDO

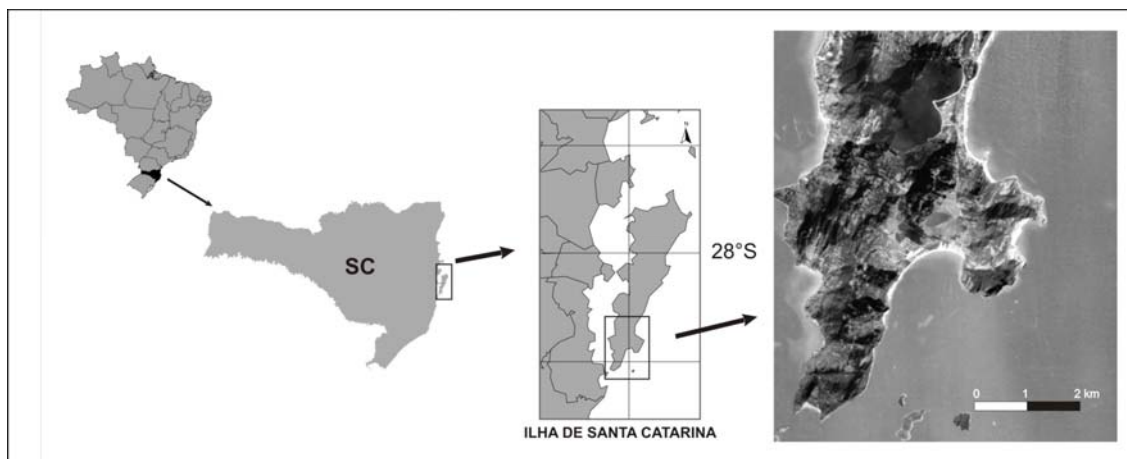


Figura 1: Localização da área de estudo

2.1 Fisiografia, Geologia e Geomorfologia

A Ilha de Santa Catarina possui 431 km² de área total, apresentando formato alongado com orientação geral sentido NE-SW, e distando apenas cerca de 600 metros do continente (Fig. 1).

A região costeira da Ilha de Santa Catarina faz parte da denominada Plataforma de Florianópolis, que consiste em um alto estrutural submerso do embasamento cristalino (Caruso Jr. 1993). Na Ilha, este embasamento ocorre na forma de dois principais maciços graníticos que constituem um eixo central de suas terras altas. Estes maciços pertencem a Serra do Tabuleiro, a qual divide as bacias

hidrográficas que drenam para sudoeste e sul-sudeste. Secundariamente o embasamento ocorre na forma de promontórios rochosos isolados e separados dos maciços.

A planície costeira é constituída por depósitos sedimentares relacionados a dois principais sistemas deposicionais: os sistemas de Leques Aluviais e do tipo Laguna-Barreira. Este último, de especial importância para o presente trabalho, é caracterizado por depósitos sedimentares geneticamente associados aos processos costeiros e eustáticos, e representado por depósitos praias, eólicos, lagunares, de mangue e paludial (Caruso Jr., 1993). Na perspectiva geomorfológica, a planície costeira da Ilha de Santa Catarina é denominada Planície Litorânea (Herrman & Rosa, 1986), possuindo uma largura variável, sendo constituída por feições como barreiras arenosas, lagoas, lagoas costeiras, dunas ativas e inativas, planícies de cristas praias e áreas alagadiças associadas a manguezais, apicuns, marismas e canais de maré.

Na Plataforma Continental adjacente, a quebra para o talude continental ocorre entre 140 e 170 metros de profundidade. A isóbata de 30 metros situa-se a aproximadamente 10 km da linha de costa, definindo um gradiente geral para a área de estudo de aproximadamente 0.17° . Este gradiente é maior no trecho leste e menor no trecho sul da área de estudo.

2.2 Clima e Oceanografia

O clima do litoral do Estado de Santa Catarina caracteriza-se de acordo com Nimer (1979), por sua exposição às influências do clima temperado meridional, subtropical e tropical, caracterizando uma zona de transição climática. Dados climáticos referentes à Ilha de Santa Catarina indicam temperatura média anual de $21,5^\circ$ e precipitação média anual de 1492 mm. Os ventos apresentam velocidade média de 3,31 m/s, sendo os de direção norte e nordeste os mais frequentes (cerca de 47%), e os de quadrante sul os mais intensos (cerca de 32,5%), alcançando até 6,50 m/s. (Porto F°, 1993).

Tais características climáticas ocorrem pela influência de quatro principais sistemas atmosféricos: Baixa Pressão Móvel Polar, Anticiclone do Atlântico Sul, Anticiclone do Pacífico Sul e, Centro de Baixa Pressão do “Chaco” (Bigarella *et al.*, 1994). Tais sistemas associam-se aos principais eventos meteorológicos, os quais têm influência direta nos processos morfodinâmicos da linha de costa na forma de

geração de ondas marítimas e de marés meteorológicas. Estas são controladas basicamente por três mecanismos: sistemas frontais, ciclones extra-tropicais e atuação semi-permanente do sistema de alta pressão, ou Anticiclone do Oceano Atlântico Sul. Os dois primeiros mecanismos apresentam amplos gradientes de pressão atmosférica, gerando conseqüentemente ventos de forte intensidade do quadrante sul, enquanto o anticiclone ocorre em caráter semi-permanente, representando 80% das ocorrências de vento na zona costeira catarinense ao longo do ano (Porto F^o, 1993).

Em caráter local, a partir de ondógrafo fundeado a 35 quilômetros da área de estudo, Araújo *et al.* (2003) identificaram cinco padrões de ondas para a Ilha de Santa Catarina, consistindo em três ondulações e dois tipos de vagas: Ondulação de Sul ($\theta=162^\circ$), período de 11,4 s., e H_S entre 1,25 e 2,0 m; Ondulação de sudeste ($\theta=146^\circ$), período de 14,2 s., e H_S entre 1,50 a 2,0 m; Vagas de Leste ($\theta=92^\circ$), período 8,5 s, e H_S entre 0,75 e 1,75m; vagas de nordeste ($\theta=27^\circ$), $H_S > 0,75m$; e Vagas de Sul ($\theta=188^\circ$) período de 7,7s e $H_S > 1,0m$.

De maneira geral, pode-se considerar que as ondulações provindas do quadrante leste (nordeste, leste e sudeste) e quadrante sul predominam na Ilha, cabendo ressaltar que eventualmente ondas do quadrante sul apresentam-se com H_S superior a 4 metros (Araújo *et al.*, 2003).

A variação de marés na Ilha de Santa Catarina está classificada em um regime de micro maré, devido à sua baixa amplitude média, que é de 1,4 metros, de acordo com a tábua de marés para Florianópolis (DHN, 2005). De acordo com Trucollo (1998), os efeitos meteorológicos na maré possuem grande importância, pois podem provocar uma elevação de até cerca de 1 metro acima da maré astronômica, e ocorrer na frequência de 10 dias.

2.3 Caracterização local da área de estudo

O trecho costeiro estudado localiza-se na porção sul da Ilha de Santa Catarina (Figura 1), e abrange seis praias arenosas dominadas por ondas, totalizando cerca de 10 quilômetros de linha de costa. As praias configuram-se em dois arcos praias principais associados a planícies costeiras de largura da ordem de 2 Km, sendo separadas e guarnecidas por promontórios e maciços rochosos, os quais abrigam três praias associadas a planícies da ordem de 10 Km de comprimento. Apesar de tratar-se

de praias de embaiamento e relativamente próximas umas as outras, apresentam ampla variação quanto a aspectos relativos à extensão, morfodinâmica, ocupação antrópica, entre outros (Tabela 1).

Tabela 1: Características das praias que compõem a área de estudo

Praia	Ext. (m)	Orient.	Exposição-Direção	Fisiografia e Geomorfologia*	Sistemas associados	Tipo Morfodinâmico	Ocupação Ant rópica
Praia da Solidão	1344,9	NE-SW	Média SE,E	Praia de bolso	Desembocadura do Rio das Pacas	Dissipativa	Alta
Praia do Pântano do Sul/dos Açores	2472,4	ENE-WSW	Média-Baixa S,SE	Enseada em espiral	Dunas	Dissipativa	Alta a baixa
Praia da Armação	3563,8	N-S	Alta-Baixa NE,E,SE,S	Enseada em espiral	Desembocadura do Rio Sangradouro	Reflectiva-Intermediária	Variada
Praia do Matadeiro	1226,8	NW-SE	Média E,NE	Praia de bolso	Desembocadura do Rio Sangradouro	Dissipativa	Alta a média
Praia da Lagoinha do Leste	1276,4	NNE-SSW	Alta NE,E,SE,S,SW	Praia de bolso	Desembocadura lagunar e Dunas	Intermediária-Dissipativa	Ausente

*Segundo Grê *et. al* (1997), Castilhos (1995) e Mazzer (2003).

3. METODOLOGIA

As variações da linha de costa foram analisadas com base em série temporal de fotografias aéreas, dos anos de 1938, 1978, 1994, 1998 e 2002. Destas fotografias foram extraídas as posições da linha de costa, utilizando-se de técnicas de cartografia digital, de forma a automatizar o procedimento para áreas extensas, além de possibilitar melhor desempenho nas investigações.

3.1 Levantamento cartográfico

A série temporal de posições da linha de costa foi obtida a partir de material cartográfico disponível e compatível com a escala e o objeto do estudo. A base cartográfica utilizada foi a escala de 1:10.000, em formato digital, contendo vetores representando curvas de nível com intervalo de 5 metros, pontos cotados, malha viária principal e hidrografia, projetadas em South American Datum- SAD 1969, 22 J. Tal base foi obtida a partir dos sensores satélite *Aster* (via composição com banda 3B,3N,1A) da agência espacial americana (*National Aeronautics and Space Administration-NASA*).

As seqüências de aerofotos utilizadas (Tabela 2) consistiram de mosaicos ortoretificados em escalas distintas: 1:2.000 para o ano de 2002 (IPUF,2002), obtidas a partir de levantamento ortofotogramétrico; 1:8.000 para o ano de 1998 e para os

demais anos (1938, 1978 e 1994) em escala 1:10.000. A seqüência referente ao ano 2002 encontrava-se em formato digital e previamente ortoretificada, enquanto que as demais necessitaram ser digitalizadas (resolução de 400 *dpi*, via scanner de mesa marca/modelo *HP/Scanjet-2100C*, e formato TIFF) e geoprocessadas.

Tabela 2: Aerofotos e ortofotos utilizadas no estudo, em seu formato original e final (pós geoprocessamento).

Data	Tipo	Escala	Meio	Fonte	Escala Final
04/1938	Aerofoto	1:30.000	Papel	Marinha dos EUA/União	1:10.000
15/08/1978	Aerofoto	1:25.000	Papel	Governo do Estado de SC	1:10.000
10/07/1994	Aerofoto	1:25.000	Papel	Prefeitura de Florianópolis	1:10.000
05/1998	Aerofoto	1:8.000	Digital	Companhia de Energia Elétrica do Estado de Santa Catarina-CELESC	1:8.000
27/03/2002	Ortofoto	1:2.000	Digital	Prefeitura de Florianópolis	1:2.000

3.2 Georeferenciamento e ortoretificação das aerofotos

As aerofotos foram tratadas através de programa de edição de imagens *Adobe PhotoShop 7.0* para padronização de cores, bem como para recorte de suas bordas em cerca de 30 a 40% de seu tamanho original em papel, dependendo da série histórica. Tal procedimento visou diminuir o erro espacial ocasionado pela distorção da captura angular da lente, conforme Crowel *et al.* (1991). Foi utilizada apenas a parte central das aerofotos a serem mosaicadas. A montagem dos mosaicos de cada seqüência histórica foi realizada através do módulo *Mosaicking per pixel* do programa *Envi 3.5*.

Posteriormente, os mosaicos de cada ano foram georeferenciados e ortoretificados para escala de 1:10.000, com exceção da série de 1998, que manteve sua escala original de 1:8.000. Foi gerado um Modelo Digital de Elevação (MDE) a partir da base cartográfica de escala 1:10.000, utilizando o software *Erdas 8.5* via interpolação espacial com o método *IrregularTriangulated Networks – TIN*.

Na geração do modelo foram, utilizados o polígono de moldura para recortar a área de interesse (máscara de trecho costeiro com aproximadamente 1.000 metros de faixa litorânea), e dados vetoriais: curvas de nível (intervalos de 5m), espaçamento específico, pontos cotados e hidrografia (rios e linhas de costa).

O MDE foi gerado com tamanho de pixel de 2,5 metros, sendo posteriormente convertido em grade regular (matriz de altitude), a qual foi sobreposta aos distintos mosaicos temporais, fornecendo dados de elevação do terreno necessários

ao processo de ortorretificação. Tal processo procedeu-se a partir de: coleta de pontos de controle do terreno, análise dos resíduos do ajustamento e ortorretificação das imagens.

Foram coletados 39 pontos de controle nos cantos mais extremos possíveis do mosaico, abrangendo as maiores e menores cotas altimétricas, e em pontos regularmente distribuídos na área de estudo.

O processo de ortorretificação foi realizado com o uso do software *Envi 3.5*, utilizando como valor de *background* (-150) para o MDE, e algoritmo de interpolação por convolução cúbica para a geração das ortoimagens.

As ortoimagens resultantes foram comparadas com a base cartográfica digital, em escala 1:10.000, apresentando valores máximos de erro médio quadrático total (RMS) de 2,00 metros, sendo que em X esse foi entre 1,27 e 1,59 metros e em Y entre 1,06 e 1,34 metros.

3.3 Determinação da taxa de variação da linha de costa

A definição da linha de costa nas aerofotos adota o critério de linha de preamar média (LPM), a qual é determinada pela linha de saturação hídrica nos sedimentos. De acordo com Crowell *et al.* (1991), Anders & Byrnes (1991) e Leatherman (2003) a LPM representa uma boa opção como indicador da linha de costa, por representar melhor as posições de máximas variações durante o dia da obtenção da aerofoto, minimizando erros de variações diurnas.

A demarcação da LPM iniciou-se por meio de análises de contraste e magnificação (*enhancement*), no programa *Envi 3.5* sobre as ortoimagens. Desse modo, a LPM torna-se destacada e possibilita a digitalização da linha de costa da área de estudo em diferentes datas, sendo posteriormente editadas quanto aos seus atributos topológicos. Tais processamentos se deram com o uso do programa Arc View 8.3, gerando vetores em linha, cada qual com sua precisão inerente à escala final das ortoimagens (Tabela 2).

A determinação de taxas de variação pode ser obtida através de diferentes formas de interpretar a distância entre posições relativas a períodos distintos. No presente trabalho, as taxas foram obtidas com o auxílio da extensão *Digital Shoreline Analysis System* (Thieler, 2003) para o programa *Arc View 3.2*. Essa extensão

automatiza o cálculo da variação da linha de costa, pressupondo a referência de uma linha de base (*baseline*), a fim de estabelecer um ponto fixo para referenciar os pontos de interseção entre as séries temporais de linha de costa, realizando a medida entre tais pontos.

No trecho costeiro analisado efetuou-se um total de 170 transectos de 150 metros de extensão, com espaçamento de 50 metros ao longo da extensão das praias. A linha de base, que é utilizada na referência espacial de todos os anos, consistiu numa linha paralela à linha de vegetação e distante desta em 40 metros na direção retro terra. Esta linha foi obtida a partir da digitalização da linha de vegetação contida nas ortofotos do ano de 2002, escala de 1:2.000.

Foram calculadas a variação em distância entre as posições de linha de costa, bem como as taxas anuais de variação da linha de costa para cada transecto em dois intervalos de tempo: 1938-1978-1994-1998-2002 – representando a escala interdecadal, e 1998-2002 – correspondendo à escala interanual.

Cada escala utilizou diferentes métodos de obtenção da taxa, sendo o método mais simples o *End Point Rate*, que foi utilizado na escala interanual por ser o único que requer apenas duas posições na linha de costa (Dolan *et al.*, 1991). Para tratar os dados da variação interdecadal foi aplicado o método dos quadrados mínimos, para ajuste de reta de regressão linear, numa modalidade denominada *Jackknife*. Essa modalidade calcula a média ponderada de uma seqüência de iterações, onde em cada iteração é retirada uma série temporal, desta forma, o valor do declive da reta é utilizado como peso na estimativa de uma tendência de maior prazo, conforme Efron (1982 *apud* Dolan *et al.*, 1991).

3.4 Análise da variação da linha de costa

As taxas de variação anuais e de largura de pós-praia obtidas nas praias da área de estudo foram comparadas entre as praias, e ao longo de suas extensões quanto às escalas temporais e processos costeiros envolvidos.

As análises apóiam-se em dados de momentos estatísticos (valores médios, valores de dispersão, amplitudes de variação, valores mínimos e máximos), bem como na correlação linear de *Pearson* e regressão linear pelo método dos quadrados mínimos, todas com o auxílio do programa *Statistica 6.0*, juntamente com o reconhecimento de campo e investigação visual sobre as ortoimagens.

4. RESULTADOS

Os resultados apresentados referem-se a arcos praias (por ex. arco praias da Lagoinha do Leste) e a segmentos de cada arco praias (por ex. segmento sul da Lagoinha do Leste).

Na expressão dos resultados a seguir é importante esclarecer que variações negativas e positivas da linha de costa correspondem, respectivamente, aos deslocamentos (da linha de costa) no sentido do continente e do oceano.

A taxa média de variação da linha de costa na escala interdecadal (período de 68 anos), obtida para toda área de estudo, foi de -0,59 m/ano, indicando uma tendência erosiva generalizada da linha de costa. Neste período, o recuo médio foi de, - 41,7 metros, enquanto na escala interanual (período de 4 anos), a taxa média de variação foi de -0,22m/ano, relacionada a um recuo médio de -0,83 metros (Tabela 3). A seguir, para cada uma das praias, são apresentados os resultados das análises de variações médias da linha de costa e de extensão do pós-praia, nas escalas interdecadal e interanual, bem como os resultados das variações longitudinais para cada segmento (Tabela 3, Fig. 2).

4.1 Praia da Solidão

A Praia da Solidão é uma típica praia de bolso, que se estende por 1.345 metros, em uma orientação NE-SW. Seu estado morfodinâmico é do tipo dissipativo, apresentando um grau médio de exposição às ondas e um nível alto de ocupação antrópica (Tabela 1 e Figs. 2a e 3).

Na escala interdecadal, esta praia apresentou uma taxa média de variação equivalente a -1,10 m/ano, sendo esta a maior taxa de recuo da linha de costa entre os trechos analisados, com recuo médio de -73,65 metros. Já na escala interanual foi obtida taxa de variação positiva da linha de costa de +0,22 m/ano em média e um avanço médio próximo a um metro (0,84m), contrariando sua tendência erosional em 68 anos (Tabela 3).

No que se refere ao seu comportamento longitudinal, este arco praial apresentou erosão em escala interanual ao sul, e deposição nos segmentos ao norte, enquanto em escala interdecadal, mostrou-se, de forma geral, com um comportamento erosivo, mais expressivo no segmento sul-sudoeste.

4.2 Praia dos Açores-Pântano do Sul

As praias dos Açores e do Pântano do Sul são denominações para um mesmo arco praial de orientação ENE-WSW com um total de cerca de 2100 metros (Tabela 1, Figs. 2b e 4). Seu estágio morfodinâmico é do tipo dissipativo. Configura-se como uma enseada do tipo baía em espiral (Mazzer, 2004), a qual consiste de um arco côncavo com intensificação da curvatura da linha de costa na extremidade leste, onde se desenvolvem distintos graus de exposição às ondulações de leste, sudeste e sul.

A variação interdecadal apresentou taxa de - 0,90 m/ano e um recuo médio de -70 metros em 64 anos, sendo que na porção sudoeste foram constatados valores de até duas vezes superiores ao valor médio. Já na escala interanual foi verificada uma taxa de -1,15 m/ano e um recuo médio de -4,39 metros (Tabela 3).

Longitudinalmente, neste arco praial, a tendência de aumento de erosão no sentido WSW ocorre nas duas escalas analisadas. No segmento WSW, mais exposto às ondulações do quadrante sul, ocorrem as maiores taxas em escala interdecadal, apontando, dessa forma, a importância do fator exposição no processo erosivo.

4.3 Praia da Lagoinha do Leste

A praia da Lagoinha do Leste possui uma linha de costa com orientação NNE-SSW, com cerca de 1200 metros de extensão. Apresenta-se em estágios dissipativos e intermediários, estando submetida a regime de alta energia. É uma das praias mais expostas às ondulações da Ilha de Santa Catarina. Situa-se num encravada num promontório rochoso, apresentando ocupação antrópica permanente praticamente ausente (Tabela 1).

A taxa média de variação da linha de costa em escala interdecadal foi de -0,14m/ano, com recuo médio de -24,19 metros, enquanto na escala interanual a taxa média foi -2,04 m/ano, e um recuo médio cerca de -7,61 metros por ano (Tabela 3 e Figs. 2c e 5).

As variações da linha de costa em escala interdecadal ao longo da praia são negativas partindo da porção sul até a desembocadura lagunar, onde as variações tornam-se positivas. Deste segmento em direção ao extremo norte, as variações passam de nulas até tornarem-se negativas novamente.

4.4 Praia do Matadeiro

A praia do Matadeiro é guarnecida por promontórios rochosos, apresentando no seu extremo norte a desembocadura do Rio do Peri. Sua linha de costa está orientada no sentido NW-SE, com extensão de 1200 m. Apresenta perfil praiial dissipativo e condições semi-abrigadas, estando protegida das ondulações do quadrante sul. Contudo encontra-se exposta às ondulações de leste e às vagas de nordeste. A ocupação na orla pode ser considerada de grau médio a alto (Tabela 1).

Praticamente não apresentou variação da linha de costa interdecadal com taxa de $-0,01/m$ ano. Já em escala interanual apresentou taxa de variação de $-3,45$ m/ano e um recuo de cerca de -13 metros. (Tabela 3 e Figs, 2d e 6)

A variação da linha de costa ao longo da praia mostra que, no segmento sul as variações foram positivas em escala interdecadal e, negativas em escala interanual. Verifica-se que nos perfis, nos segmentos centro e norte da Praia do Matadeiro, houve recuo de forma geral, sendo maior na escala interanual e sutil em escala interdecadal.

4.5 Praia da Armação

A praia da Armação é limitada pelo promontório rochoso do morro das Pedras ao norte, e pelo tómbolo formado entre a praia e a Ilha das Campanhas, na porção sul, formando uma enseada (embaçamento) em espiral. Estende-se por cerca de 3500 metros, orientada no sentido N-S, e apresentando perfil refletivo ao norte passando a intermediário, nas porções centrais, e a dissipativo no sul (Castilhos, 1995). Consiste numa praia exposta às ondulações dos quadrantes (leste e sul), e apresenta um grau de ocupação crescente no sentido norte-sul (Tabela 1). Em escala interdecadal apresentou uma taxa de variação de $-0,52m/ano$, recuando aproximadamente 22 metros (Tabela 3 e Figs. 2e e 7).

Na escala interanual, a taxa de variação foi de +2 metros/ano com um avanço médio de +6,8 metros, em média. Valores máximos e mínimos com cerca de até 7 metros de avanço e recuo, respectivamente, além de um alto desvio padrão de até ± 11 metros, expressam significativa mobilidade da linha de costa ao longo dos perfis, nesta escala.

O comportamento longitudinal deste arco mostra, na extremidade norte da praia, próximo ao promontório rochoso, um avanço da linha de costa nas duas escalas, enquanto nos demais segmentos, houve recuo da linha de costa em escala interdecadal, e deposição em escala interanual.

Tabela 3: Dados gerais de variação da linha de costa expressos em taxas anuais e variação longitudinal ao longo dos perfis, por praias e de forma geral.

Nome da praia	Nº de perfis	Taxa de variação (m/ano)						Variação da linha de costa (m)					
		Período 1938-2002			Período 1998-2002			recuo (-) avanço (+)		Período 1938-2002		Período 1998-2002	
		μ	σ	<i>Min./Máx.</i>	μ	σ	<i>Min./Máx.</i>	μ	σ	μ	σ	μ	σ
Praia da Solidão	12	-1,10 ±0,19		-1,4/-0,91	+0,22 ± 1,4		-2,23/2,97			-73,65 ± 5,15			+0,84 ± 5,39
Praia dos Açores/Pântano do Sul	59	-0,90 ±0,43		-1,80/0,07	-1,15 ± 2,20		-5,6 / 7,62			-70,55 ±28,29			-4,39 ±8,29
Praia da Lagoinha do Leste	26	-0,14 ±0,35		-1,28/0,45	-2,03 ± 3,46		-11,6/4,9			-24,19 ±12,48			-7,61 ±12,97
Praia do Matadeiro	13	+0,01 ±0,16		-0,29/0,25	-3,45 ± 1,40		-5,71/-1,27			-13,01 ±10,77			-12,93 ±5,56
Praia da Armação	68	-0,52 ±0,38		-1,34/0,22	+1,99 ± 2,23		-7,54/7,11			-22,78 ±16,51			+6,82 ±11,54
Média Geral	182	-0,59 ±0,49			-0,22 ±3,21					-41,71 ±31,58			-0,83 ±8,30

(μ -valor médio; σ - desvio padrão; *Min./Máx*- valores mínimos e máximos, respectivamente; valores positivos indicam deposição e negativos erosão)

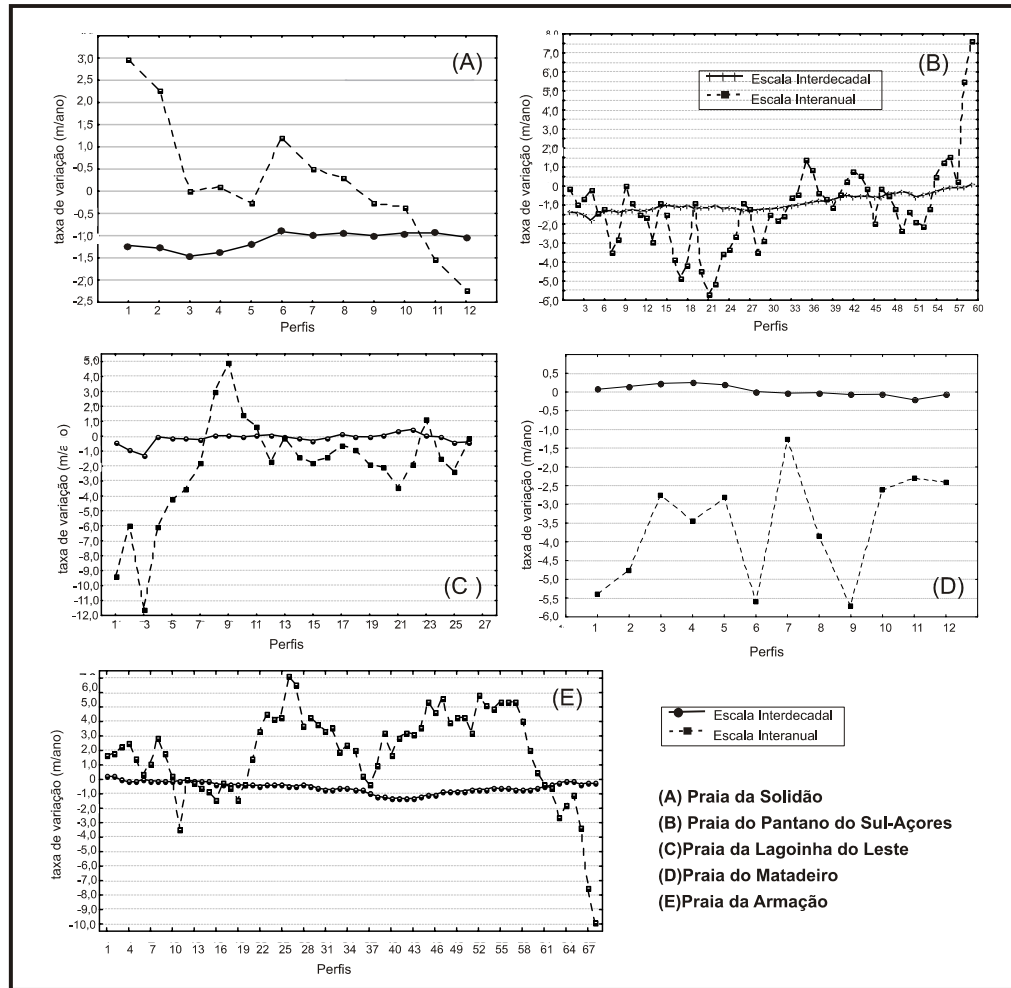


Figura 2: Taxas de variação da linha de costa, ao longo dos perfis longitudinais à linha de costa, em escala interdecadal (1938-2002) e escala interanual (1998-2002)

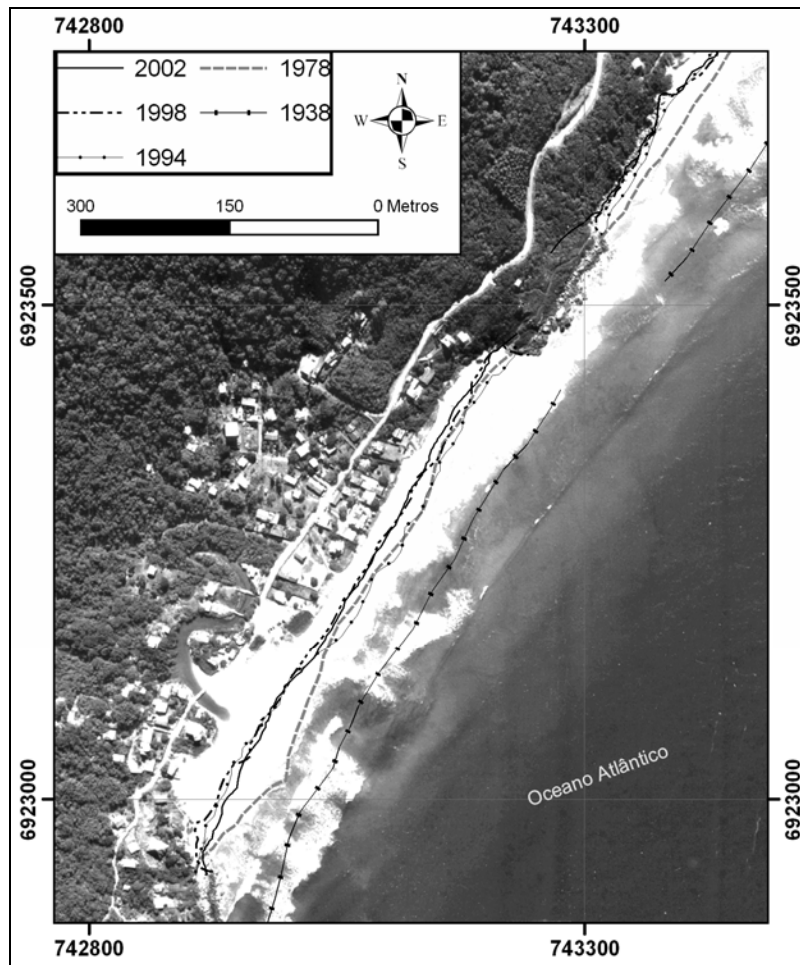


Figura 3: Posição da linha de costa na praia da Solidão em diferentes anos

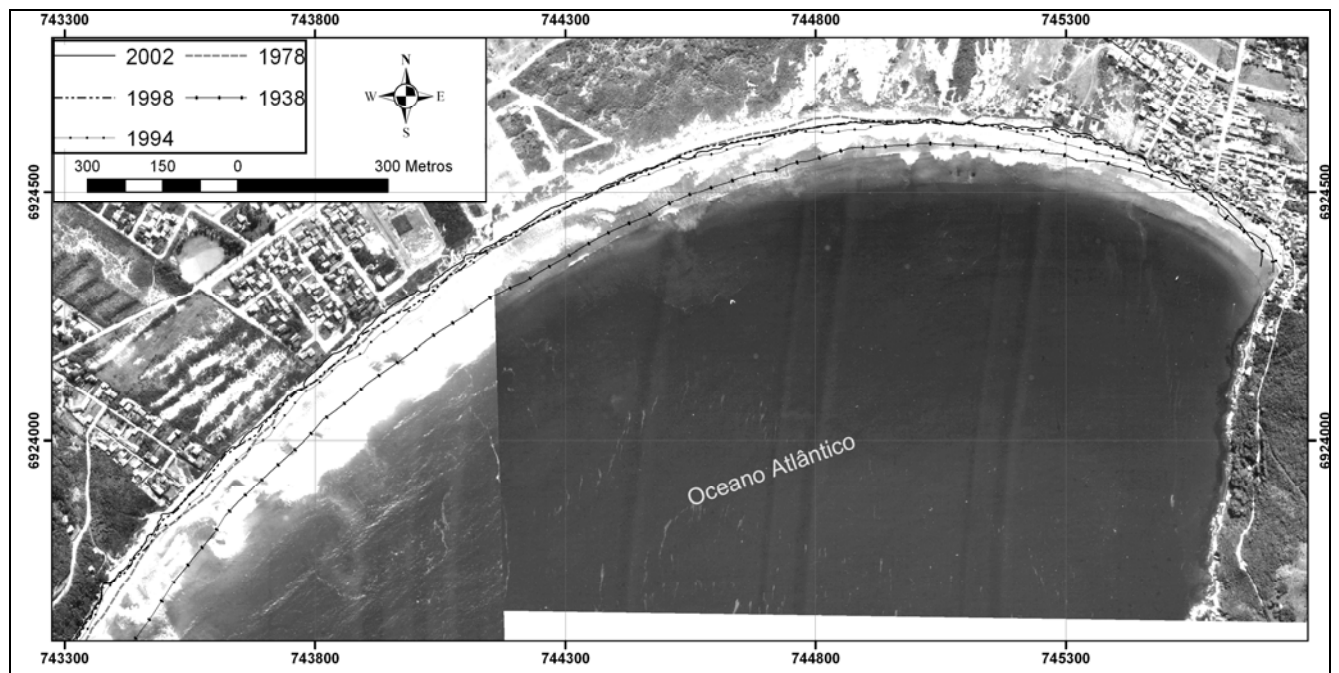


Figura 4: Posição da linha de costa na praia dos Açores- Pântano do Sul em diferentes anos.

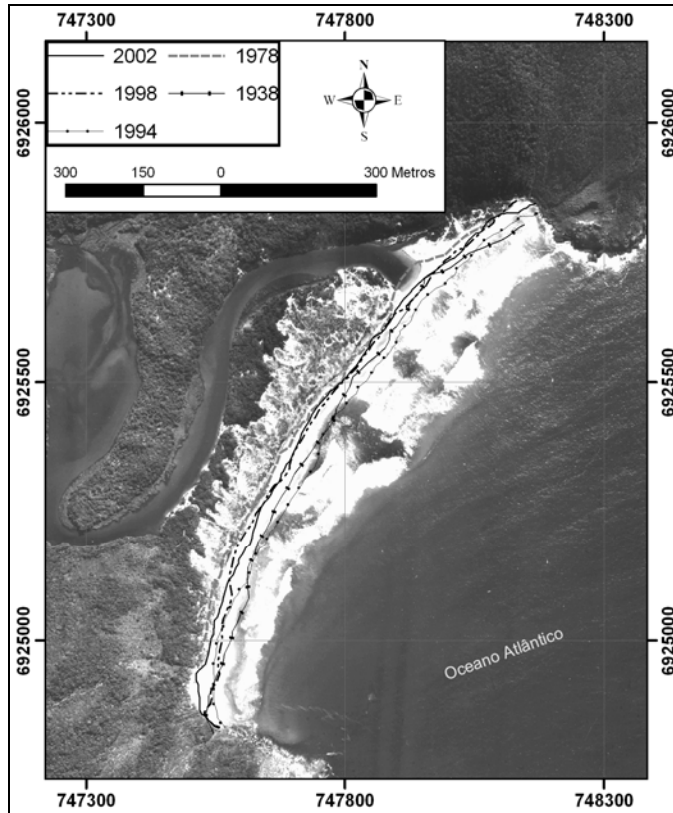


Figura 5: Posição da linha de costa nas da Praia da Lagoinha do Leste em diferentes anos.

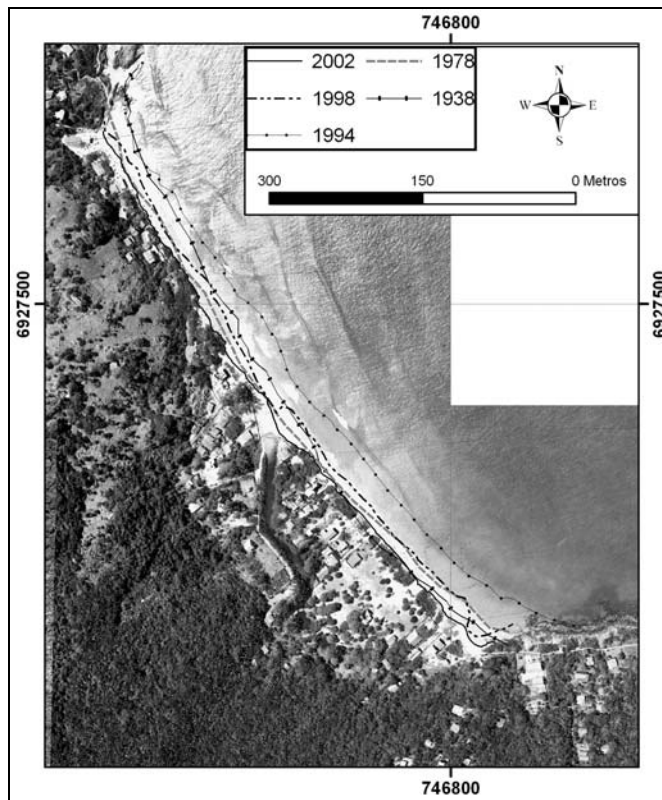


Figura 6: Posição da linha de costa nas da praias do Matadeiro em diferentes anos.

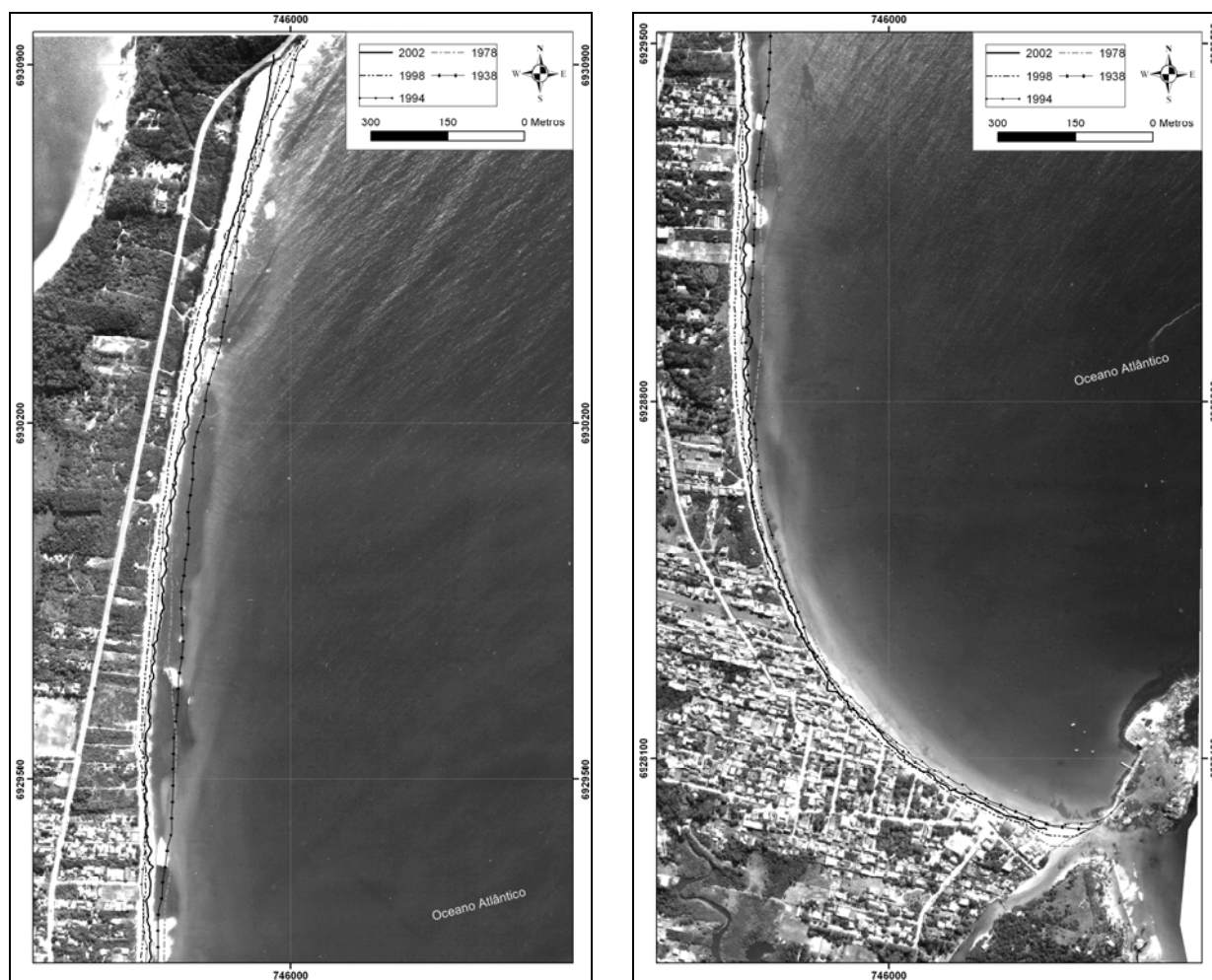


Figura 7: Posição da linha de costa nas da Praia da Armação em diferentes anos

5. DISCUSSÃO

5.1 Tendências da linha de costa em longo prazo

Conforme Stive *et. al* (2002), a tendência evolutiva da linha de costa é relacionada a escala de longo prazo, representada no presente trabalho pelas variações em escala interdecadal (68 anos).

A variação negativa da linha de costa em escala interdecadal, indica sua tendência erosiva. Tal tendência é compatível com o comportamento de 70% das linhas de costa arenosas, que se encontram sob processo erosivo no planeta, conforme Bird (1985).

No entanto, a ampla dispersão em torno da média geral de recuo da linha de costa, reflete a desigualdade na área de estudo (Tabela 3 e Figura 2).

As maiores taxas de variação negativas, ocorrem no trecho sul da área de estudo, no embaiamento que comporta as praias da Solidão e do Açores-Pântano do Sul.

Na praia da Solidão, a linha de costa teve mobilidade mais homogênea ao longo da praia, enquanto que o trecho praial Açores-Pântano do Sul apresentou taxas de variação negativas de baixo valor e nulas em alguns segmentos, como nas porções mais protegidas do extremo nordeste (Figura 2b e 4). Em tais porções, a ocupação sobre as dunas frontais, fixou a linha de costa em muros e alicerces de edificações de bares e casas, as quais exibem evidências de processo erosivo, conforme Grê *et al.* (1997). No entanto, nesta mesma praia, a taxa de variação é maior na sua porção central e nas proximidades do promontório que faz limite com a praia da Solidão. Nestes dois locais, as maiores taxas de erosão, que atingiram cerca de -1,80m/ano, refletem o aumento gradual de energia de onda no sentido SW (Mazzer, *et. al, em preparação*). A elevada energia de ondas combinada com trechos onde ocorre variação entre o perfil dissipativo e intermediário, ocasiona recuos da linha de costa entre 40 a 70 metros em 64 anos. Tal ocorrência corrobora com as constatações de Mazzer (2004) e Oliveira (2004) que haviam apontado para esta localidade, conhecida como Balneário dos Açores, a associação do processo erosivo com a maior exposição e convergência de raios de onda.

Já no local da área de estudo mais exposto às ondulações (praia da Lagoinha do Leste), a taxa de variação média foi menor, frente às praias supracitadas. Não obstante, ocorre ampla mobilidade ao longo de seu trecho praial, com uma taxa média de -0,14 m/ano e um desvio padrão de 0,35, ou seja, superior ao dobro de sua média (Tabela 3, Figuras 2c e 5).

Tal comportamento singular entre as praias analisadas pode sugerir que esta praia seja mais efetiva nas trocas de sedimentos, devido a maior exposição às ondas e ao estágio intermediário, apresentando bancos e calhas ora longitudinais, ora paralelas, e, portanto, apresentando um alto grau de troca de sedimentos longitudinalmente à linha de costa.

No entanto, vale ressaltar que, as maiores mudanças de posição da linha de costa da praia da Lagoinha do Leste, de amplitude de 20 a 25 metros, localizam-se nas adjacências da desembocadura da laguna de nome homônimo à praia (Figura 5). A natureza móvel da desembocadura contribui para elevar o desvio padrão, já que está sujeita às variações promovidas pela atuação de forçantes relacionadas à vazão da laguna, além daquelas promovidas pelo mar.

A alta mobilidade apresentada pela praia da Lagoinha do Leste parece estar associada ao seu estágio morfodinâmico dissipativo a intermediário. Comparando parâmetros entre os estágios morfodinâmicos de praias, Short (1999) atribui ao estágio

intermediário uma alta mobilidade. Apesar deste comportamento dinâmico da linha de costa, esta praia não apresenta um intenso processo erosivo, o que está representado por um baixo recuo médio em escala interdecadal (tabela 3 e figuras 2c e 5).

Na praia do Matadeiro, a taxa média apresenta-se com +0,01 m/ano, representando a princípio, uma variação média da linha de costa praticamente inexistente. Porém ao verificar que seu recuo médio foi de cerca de 13 metros, faz-se necessário tecer considerações acerca deste resultado. Possivelmente, tal discrepância estaria mais relacionada a transferências paralelas à praia, ou seja, rotação praial ao longo de 64 anos (Figuras 2c e 5), uma vez que percebe-se grande a alternância de variação entre os perfis dos extremos do arco praial. Conforme Short & Masselink (1999), rotação praial refere-se ao movimento periódico lateral de areia, que alterna-se entre os lados de uma praia de embaiamento, geralmente associado com alternâncias cíclicas de direção de transporte de sedimento, como resposta a variação temporal do regime de ondas.

Além disso, o resultado da taxa média de variação foi suavizado pelo método de regressão linear iterativa *Jackknife*, o qual, ao desconsiderar uma das posições temporais da linha de costa em cada iteração, mascara o efeito de rotação praial, compensando a amplitude entre as variações nas médias de cada perfil. Pelo método de obtenção de taxa de variação *EPR (End Point Rate)*, a mesma praia apresentou cerca de -0,20 m/ano.

A praia da Armação apresenta no extremo norte perfil reflexivo, e variações positivas da linha de costa, apresentando taxa máxima de até +0,22 m/ano, enquanto, em seu extremo sul, onde o perfil passa a apresentar-se dissipativo, as taxas de variação são negativas e podem alcançar -1,34 m/ano (tabela 4, figuras 5e e 9). No trecho central da praia ocorrem as maiores taxas de variação negativa, associadas à uma maior exposição às ondulações, bem como à uma situação de transição entre o perfil reflexivo e dissipativo, ou seja, trechos de perfil intermediário, conforme Mazzer (2005).

O alto valor de desvio padrão encontrado nos transectos da Praia Armação, de forma similar à Praia Açores-Pântano do Sul (Tabela 3), podem estar associados à variação do estágio morfodinâmico ao longo da praia (Castilhos, 1995; Mazzer, 2005), ainda que no primeiro caso tal variação seja mais ampla. Souza & Suguio (2003) encontram uma relação entre estágio morfodinâmico praial, mobilidade da linha de costa e suscetibilidade à erosão costeira nas praias do litoral paulista. Na praia da Armação, a erosão diminui nos trechos onde o perfil é reflexivo e, aumenta nos perfis intermediários, voltando a diminuir na porção dissipativa, mais abrigada. O mesmo comportamento é

observado na praia de Pântano do Sul-Açores, com a diferença de que nesta última não existem trechos com perfil reflexivo.

As variações da linha de costa, em quatro décadas, na costa do Paraná foram estudadas por Angulo (1993), que encontrou variações na escala de dezenas a centenas de metros, com valores (positivos e negativos) entre 50 a 200 metros entre os períodos de 1952 a 1980. Caso fossem calculadas diretamente as taxas de variação anuais, os valores alcançariam cerca de 1,8 a 7 metros/ano.

Apesar do valor elevado, deve-se relevar que as maiores variações encontram-se associadas às desembocaduras de grandes corpos estuarinos costeiros, (baías de Paranaguá, de Guaratuba e Mar de Ararapira), além de serem obtidos em diferentes escalas (1:25.000 e 1:70.000)– contribuindo para superestimação do valor (Leathermann, 1983; Anders & Byrnes, 1991; Moore, 2000), e, portanto, não permitindo comparações diretas.

Soares *et. al.* (1994) estimaram a variação de volumes e área da linha de costa do Balneário de Pontal do Sul, Estado do Paraná, a partir de aerofotos datadas de 1953 e 1993 (em escalas de 1:2.000 e 1:10.000, respectivamente), juntamente com perfis praias. Estes autores encontraram encontrando valores de centenas de metros, superiores a 500 metros de variação positiva, além de alcançar em determinado intervalo temporal, taxa de variação de até +14,8 metros/ano.

Já na América do Norte, costa de Maryland, EUA, Crowel *et al.* (1993) determinaram uma taxa de recuo da linha de costa de -0,63 e -0,69 m/ano em 127 anos (1847-1971) e 63 anos (1908-1971), respectivamente. Os autores enfatizam o aumento da taxa de erosão, associado com a diminuição do intervalo de tempo medido. Este mesmo comportamento foi constatado na área de estudo. Além disso, os autores destacam que os locais com maior influência antrópica nem sempre apresentam as maiores taxas médias de recuo, tal qual observado nas praias da Lagoinha do Leste.

Na área de estudo, ocorreram maiores variações temporais da linha de costa nas praias mais extensas situadas em embaiamento espiral. Tal fato sugere uma relação entre o balanço de sedimentos e o sistema de células costeiras em embaiamentos em espiral, onde, conforme Carter (1988), a instalação de uma zona de fluxo de retorno (*downdrift*) torna-se ponto potencial de balanço sedimentar negativo. Nas praias dos Açores-Pântano do Sul e Armação os pontos de maior erosão estão associados a correntes de retorno, conforme já indicado em outros trabalhos (Castilhos, 1995; Mazzer, 2004; Oliveira, 2004).

5.2 Variações diferenciadas entre as escalas

As taxas de variação média da linha de costa no trecho estudado em 64 anos e 4 anos, foram de $-0,59 \pm 0,49$ e $-0,22 \pm 3,21$ m/ano, respectivamente (Tabela 3). Conforme Carter (1988), a sensibilidade da linha de costa como elemento morfológico pode ser medida em diversos intervalos de tempo. Cada intervalo representa uma resposta a processos costeiros, que ocorrem em diferentes frequências.

Os dados médios acima, além de expressarem uma tendência erosiva em diferentes escalas ressaltam que ocorre uma dispersão maior (maior valor de desvio padrão) ao longo das praias e entre estas, na escala interanual. Este comportamento pode ser decorrente de variações de alta frequência no balanço sedimentar ao longo das praias, relacionadas, por exemplo, a mudanças no regime de ondas ligadas a fenômenos de “*El nino*” e “*La nina*”, conforme já destacado em Souza & Ângulo (2000).

Crowel *et al.* (1991) observam que, quanto maior é o intervalo de tempo utilizado, menores são os “ruídos”, ou seja, a influencia das variações de maior frequência (ex. variações sazonais) nos dados. Tal influencia tende a diminuir na medida em que aumenta o intervalo temporal das observações (figura 2).

A ampla dispersão na taxa média interanual, denota respostas da linha de costa de maior frequência, provavelmente relacionadas a processos de curto prazo, tais como mudanças no perfil praias devido à incidência de ondas de tempestades, variações sazonais, entre outros. Igualmente, a diminuição do desvio padrão na escala interdecadal, pode estar representando a filtragem das condições variantes (ruídos) de escala sazonal e interanual da linha de costa.

Short & Trembanis (2004) encontraram, a partir da análise de série temporal de 26 anos de perfis praias (Narrabeen, Austrália), maior variabilidade da linha de costa na escala interanual (1 a 5 anos).

No entanto, apesar da taxa média de erosão em escala interdecadal ser superior a quase o triplo da média em escala interanual, em segmentos específicos de algumas praias, o recuo da linha de costa em escala interanual foi superior em cerca de 30% frente a escala interdecadal.

Souza e Ângulo (2000) avaliaram as variações da linha de costa no município de Itapoá (SC) na escala decadal, através de aerofotos entre o período de 1957, 1978 e 1995 (escala de 1:25.000), – e através de perfis topográficos praias na escala

interanual. Os autores encontraram variações negativas superiores a 250 metros em 38 anos, remetendo à taxa média de erosão anual acima de -6,5 metros/ano, enquanto que em três anos a taxa média foi de -2,3 metros/ano (entre 1997 a 2000). Neste caso, a taxa média interdecadal é cerca de três vezes superior às variações interanuais, mostrando-se de forma similar ao comportamento da linha de costa na área de estudo.

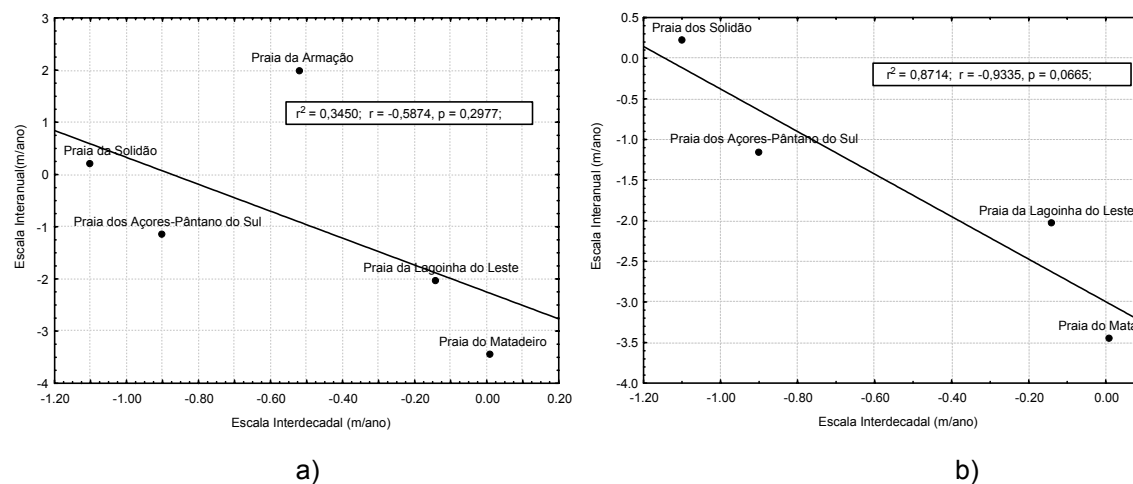


Figura 8: Regressão linear entre as taxas médias de variação de linha de costa em escalas interanual (1998-2002) e interdecadal (1938-2002); (a) todas as praias; (b) Sem a presença da Praia da Armação.

A correlação linear entre escala interanual e interdecadal das respostas da linha de costa das praias estudadas, expressas em taxas de variação anual média, foi verificada para situações de presença e ausência da Praia da Armação. Devido ao baixo coeficiente observado no primeiro caso (figura 8a), considerações acerca de possíveis correlações entre as taxas médias de variação da linha de costa dos arcos praias, foram tecidos apenas no caso de ausência da Praia da Armação (Figura 8b), cujos dados médios demonstram correlação inversa aceitável (em $p < 0.005$).

Na figura 8b observa-se que, de forma geral, no trecho entre a praia da Solidão e Praia do Matadeiro, quanto maior é a taxa média de recuo em escala interdecadal, menores são as taxas médias de recuo em escala interanual. Tal fato sugere que essas praias apresentam respostas semelhantes às variações, nas escalas analisadas.

5.3 Variações da linha de costa ao longo das praias

As praias analisadas neste trabalho apresentaram comportamentos distintos quanto às taxas de variação ao longo de cada compartimento praias, conforme se observa nas tabelas 3 e 4. A correlação entre os transectos (perfis) nas diferentes escalas só foi observada nas praias de Pântano do Sul, Lagoinha do Leste e Praia da Armação, sugerindo uma resposta semelhante em diferentes escalas, ainda que com magnitudes distintas.

Tabela 4: Índice de correlação de Pearson entre perfis de cada praia, frente sua variação em escala interanual e escala interdecadal.

Nome da praia	Índice de Correlação (r) (Pearson) (p.<0,05)
Praia da Solidão	0,30
Praia dos Açores-Pântano do Sul	0,52
Praia da Lagoinha do Leste	0,63
Praia do Matadeiro	0,27
Praia da Armação	0,40

A praia da Solidão apresentou-se em erosão de forma geral em prazo maior, seguida pelo Arco praial Açores Pântano do Sul. No entanto, as maiores taxas na escala interanual ocorrem nas extremidades da praia próximas aos promontórios rochosos, geralmente relacionados à ocorrência de correntes de retorno, convergência dos raios de onda, ou, no caso do Pântano do Sul, a presença massiva de ocupações antrópicas sobre dunas frontais.

As taxas de variação da linha de costa no intervalo de 4 anos apresentaram uma oscilação marcante nos pontos centrais da praia, ocorrendo alternâncias entre perfis deposicionais e erosionais.

Na praia da Lagoinha do Leste, que apresentou o maior coeficiente de correlação (Tabela 4), as variações ao longo do arco praial tiveram comportamento correlato entre as escalas analisadas. De forma semelhante à porção sul da praia dos Açores-Pântano do Sul, esta praia apresenta-se mais exposta e mostrou a maior taxa de erosão, com valor elevado (-11,6 m/ano).

A praia do Matadeiro apresentou-se estável ao longo de 68 anos, no entanto em 4 anos as taxas de variação de linha de costa apresentaram-se com alta amplitude e alternadamente oscilantes, apresentando respostas bem distintas nas escalas analisadas, assim como a Praia da Solidão (Tabelas 3 e 4).

Já na Praia da Armação, as variações entre os distintos períodos foram fracamente correlacionadas, sendo que apenas as tendências de avanço da linha de costa nos extremos da praia apontam semelhanças.

Em todas as praias analisadas em escala interanual, as oscilações longitudinais das taxas de variação, ou seja, ao longo dos arcos praias, são muito mais evidentes. Estas oscilações ocorrem em espaçamentos constantes. Nas praias mais expostas (praia da Armação, Lagoinha do Leste e Açores) tal comportamento mostra-se rítmico, sugerindo a existência de células costeiras permanentes. Estas células podem indicar a ocorrência da transferência de sedimentos entre o pós praia e a antepraia. Considerando-se que para Crowell *et al.* (1991) as trocas sedimentares entre a plataforma continental interna e a porção subaérea da praia ocorrem em escala interanual, estas trocas estariam ocultadas nas análises de longo prazo. No entanto, Stive *et al.* (2002) consideram que a antepraia, especialmente a zona de surf, possui ciclos sedimentares naturais em escala interdecadal, porém, a presença de estruturas e modificações antrópicas podem induzir a mudanças em escala interanual.

No mesmo sentido, sugere-se que a diferença entre as praias estudadas, no que se refere a suas taxas médias de variações interanuais, decorre da influência de fatores como: nível de exposição, tipo/estágio morfodinâmico, interferência antrópica e, sobretudo, questões relacionadas a ajustes de curto prazo no balanço sedimentar próprio de cada compartimento praial.

A diminuição do desvio padrão e amplitudes de variação (valores mínimos e máximos), da escala interanual para a escala interdecadal, indicam que tais variações estabilizam-se em menos de 64 anos.

Já as variações em escalas interdecadais parecem ressaltar mais a influência de aspectos ligados à evolução costeira e processos de longo em médio prazo, tais como: variações no regime de ondas, migração de “*sand waves*” (Stive *et. al*, 2002), rotação praial e balanço sedimentar.

Devido à escala interanual apresentar variações de largura praial proporcionalmente maiores, sua consideração para fins de planejamento costeiro é de extrema importância, porque tais variações indicam a existência de praias com maior sensibilidade aos processos morfodinâmicos e modificações antrópicas, como são exemplos a Praia da Lagoinha do Leste e a Praia do Matadeiro. O mesmo ocorre ao longo dos perfis que apresentam grandes amplitudes de variação na mesma praia, indicando pontos de instabilidade, independente da variação ser positiva ou negativa.

Tais respostas da linha de costa, aliadas a sua tendência em escala interdecadal, não só permite distinguir o trecho de cada praia pelo seu comportamento em termos de mobilidade, como também relaciona-los ao tipo morfodinâmico de praia e a configuração fisiográfica.

Desta forma, permite uma análise de abrangência para fins de planejamento e gestão costeira, devido a precisar melhor as alternativas de ocupação (entre praias e trechos costeiros) a partir do cruzamento de tendências de maior prazo e respostas de curto prazo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo erosivo predomina no trecho do sudeste da Ilha de Santa Catarina, demonstrando tendência de geral de erosão costeira neste segmento da linha

de costa, ainda que em valores inferiores, quando comparados a outros trabalhos realizados na costa sudeste brasileira.

As variações de respostas em escala interdecadal entre as praias, ressaltam a influência da configuração espacial (orientação, exposição) e dos aspectos morfodinâmicos de médio prazo (estágio morfodinâmico, rotação praial). Já em escala interanual refletem as respostas aos processos ligados a eventos de alta energia e variações sazonais e interanuais, nas condições hidrodinâmicas e meteorológicas.

Tal avaliação corrobora a maior parte dos trabalhos quanto à necessidade de se utilizar intervalos de tempo superiores a décadas afim de obter dados mais filtrados das variações de frequências maiores, para repostas mais precisas sobre processos erosivos. Dessa forma, as avaliações em longo prazo são mais adequadas para se trabalhar na escala histórica, assim como colocado por Crowell *et al.* (1991), Crowell *et al.* (1993), Leathermann (1993), Galgano & Douglas (2000), entre outros.

Para fins de planejamento e gerenciamento costeiro, ambas as escalas – interdecadal e interanual – fazem-se importantes dentro do contexto de escala histórica. Enquanto as tendências de longo prazo proporcionam cenários futuros e a delimitação de recuos para a ocupação da faixa litorânea, expressando tendências erosivas, as variações interanuais permitem avaliar a amplitude da extensão retrabalhada em curto prazo. Isso indica que tais áreas possuem condições de restrição a usos e atividades antrópicas, por expressarem instabilidade morfodinâmica, mesmo que essas áreas se recuperem em períodos posteriores, como parte da ciclicidade de processos morfodinâmicos.

A relação entre as respostas da linha de costa à processos costeiros em diferentes escalas, ainda carece ser melhor entendido, necessitando de maiores investigações sobre a influência que uma escala exerce sobre a outra em diferentes tipos de praia.

De forma geral, a avaliação da variação temporal da linha de costa constitui-se uma ferramenta de grande utilidade para fins de pesquisa e aplicações em gestão ambiental, sendo desejável a avaliação de distintas escalas temporais de forma separada, para serem posteriormente integradas na análise de um contexto histórico.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anders, F.J.; Byrnes, M.R.; 1991. Accuracy of shorelines change rates as determined from maps and aerial phoytographs. **Shore and Beach January**, v. 1, p.:17-26.

Angulo, R. J. 1993. Variações na configuração da linha de costa no Paraná nas últimas quatro décadas. **Boletim Paranaense de Geociências 41**: 52.- 72.

Araújo, C.E.S.; Franco, D.; Melo, E.& Pimenta, F. Wave Regime Characteristics of the Southern Brazilian Coast. In: COPEDEC VI - SIXTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COASTAL AND PORT ENGINEERING IN DEVELOPING COUNTRIES, 6, 2003, Colombo, Sri Lanka. **Proceedings...**, Colombo, Sri Lanka, p. 1- 15.

Bigarella J.J. Becker R.D. & Santos G. F. 1994. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis, Editora da UFSC, 429 p.

Bird, E. 1985. **Coastline Changes**. John Wiley and Sons, 219 p.

Brunn, P. 1962. Sea level rise as a cause of shoreline erosion. **Journal of Waterways and Harbor 88**: 117-130.

Camfield, F.E.; Morang, A. 1996. Defining and Interpreting Shoreline Change. **Ocean and Coastal Management, 32** (3): 129-151.

Caruso Jr., F. 1993. Mapa Geológico da Ilha de Santa Catarina - Texto explicativo e mapa- escala: 1:100.000. **Notas Técnicas 6**: 1:28.

Caruso Jr., F. 1995. **Mapa Geológico e de recursos minerais do sudeste de Santa Catarina - Texto explicativo e mapa**. Brasília, DNPM, escala: 1:100.000.

Carter, R.G.W. 1988. **Coastal Environments: An introduction of Physical, Ecological and Cultural Systems**. London,, Academic press, 617p.

Castilhos, J. A. 1995. **Estudo Evolutivo, Sedimentológico e Morfodinâmico da Planície Costeira e Praia da Armação – Ilha de Santa Catarina, SC**. Florianópolis 134 p. Dissertação de Mestrado em Geografia, Curso de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina.

Cowell, P.J. & Thom, B.G. 1997. Morphodynamics of Coastal Evolution. In: Carter, R.W.W.. & Woodroffe, C.D. (eds.). **Coastal evolution: late quaternary shoreline morphodynamics**, Cambridge, University Press, 539 p.

Crowell, M.; Leatherman, S.P.; Buckley, M.K. 1993. Shoreline Change Rate Analysis: Long Term versus Short Term Data. **Shore and Beach** **61**: 13-20.

Crowell, M.; Leatherman, S.P. & Buckley, M.K.; 1991. Historical Shoreline Change: Error Analysis and Mapping Accuracy. **Journal of Coastal Research** , **7** (3): 839-852.

Cruz, O. 1996. **A Ilha de Santa Catarina e o continente próximo: um estudo de geomorfologia costeira**. Florianópolis, Editora da UFSC, 276p.

DHN- Diretoria de Hidrografia e Navegação. **Tabua de mares, Porto de Florianópolis-SC**. Disponível em <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/60245Jan2005.htm>. Acesso em 22/08/2005.

Dillenburg, S.; Esteves, L.S. & Tomazelli, L. 2004. A critical evaluation of coastal erosion in Rio Grande do Sul, Southern Brazil, **An. Acad. Bras. Ciênc.**, **76** (3): Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/aabc/v76n3/a14v76n3.pdf>. Acesso em: 25 de nov. de 2005.

Dolan, R., Fenster, M.S. & Holme, S.J. 1991. Temporal Analysis of Shoreline Recession and Accretion. **Journal of Coastal Research** **7**: 723-744.

Galgano, F.A.; Douglas, B.C. 2000 .Shoreline Prediction: Methods and Errors. **Environmental Geosciences** **7**:. 23-31.

Gré, J.C.R.; Castilho, J.A & Horn Filho, N.O. 1997. Quaternary Deposits of the Pântano do Sul Beach, Santa Catarina Island, Brazil. In: **ATAS DO COLÓQUIO FRANCO-BRASILEIRO DE MANEJO COSTEIRO DE ILHA DE SANTA CATARINA**, Florianópolis, Ed. da UFSC. p. 211-218.

IPCC- International Panel of Climate Change.2001. **Third Assessment Report Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability** .United Nations Environment Program-UNEP. Disponível em: <http://www.ipcc.ch> Acesso em : 02 / 03/ 2006

Komar, P. D. 1983. **Handbook of Coastal Processes and Erosion**. Florida, CRC press, 305p.

Leatherman, S. 2003. Shoreline Change Mapping and Management Along the U.S. East Coast. **Journal of Coastal Research- Special Issue** **38**: 5-13.

Leatherman S. 1983. Map Accuracy and Errors: Shoreline Mapping. **Shore and Beach** 7:28-33.

Hogben, N.; Dacunha, N. M. C & Oliver, G. F. 1986. **Global Wave Statistics**. New York, Chapman and Hall, 661 p.

IPIUF- Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis (SC). 2002. **Levantamento Aerofotogramétrico da Ilha de Santa Catarina**. Ortofotocartas. Escala 1:2.000.

IPIUF- Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis(SC). 1994.: **Levantamento Aerofotogramétrico - Aglomerado Urbano de Florianópolis**. Foto aérea. Florianópolis, escala: 1.25.000.

IPIUF- Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis. 1979. (SC): **Levantamento Aerofotogramétrico-Aglomerado Urbano de Florianópolis**. Folha SG. 22-Z-D-1-SO-C. Florianópolis, Mapa Topográfico, escala: 1.10.000.

Martin, L.; Suguio, K.; Flexor, F.M. & Azevedo, A.E.G. 1990. **Mapa Geológico do Quaternário Costeiro dos estados do Paraná e Santa Catarina**. Brasília, DNPM, 40p.

Mazzer, A. M.; Souza, C.R.; Dillenburg, S.R.; Bacilla, C. Determination of Coastal Cells at Southeast of Santa Catarina Island. **Geomorphology** (submetido)

Mazzer, A. M. 2005. Aplicação de Taxas de Variação da Linha de Costa na Praia da Armação. In: X CONGRESSO DE ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO-ABEQUA. **Anais...** Guarapari, Espírito Santo, CD-ROM.

Mazzer, A M. 2004.Analise da Vulnerabilidade Costeira com uso de Sistema de Informação Geográfica: Uma aplicação ao trecho litorâneo sul da Ilha de Santa Catarina.. In: V SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA. **Anais...** Santa Maria, Brazil. CD-ROM.

Miott, G. 2002. **Efeito do Estado de Equilíbrio em Planta na Sedimentologia de Praias desenvolvidas entre Promontórios**. Porto Alegre Dissertação de Mestrado em Geociências. Programa de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Moore, L.J. 2000. Shoreline Mapping Techniques. **Journal Coastal Research** 16 (1):111-124.

Nimer, E. 1979. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro, IBGE, 421 p.

Oliveira, U.R. 2004. **Comportamento morfodinâmico e granulometria do arco praial Pântano do Sul -Açores, Ilha de Santa Catarina,SC, Brasil**. Florianópolis,

102 p. Dissertação de Mestrado em Geografia, Curso de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina.

Porto Filho, E. 1993. **Sedimentometria e algumas considerações sobre a biogeoquímica dos sedimentos de fundo da Lagoa da Conceição - Ilha de Santa Catarina**. Florianópolis, 343p. Dissertação de Mestrado em Geografia, Curso de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina.

Rosa, O.R., Herrman, M.L. 1986. Geomorfologia. In: Gabinete de Planejamento Estado de Santa Catarina. **Atlas de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, p. 31-32.

Silveira, J.D. 1964. Morfologia do litoral. In: Azevedo, A. (ed.). **Brasil: a terra e o Homem- As bases físicas**. São Paulo, p. 253-305.

Short, A. D. 1999. Wave Dominated Beaches. Short, A. (Ed.) **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics**. Chichester, Wiley & Sons, 379 p.

Short, A. D. & Masselink, G. 1999. Embayed and Structurally controlled beaches. Short, A. (Ed.) **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics**. Chichester, Wiley & Sons, 379 p.

Short, A. D.; Trembanis A. C. 2004. Decadal Scale Patterns in Beach Oscillation and Rotation Narrabeen Beach, Australia- Time Series, PCA and Wavelet Analysis. **Journal of Coastal Research** **20** (2):523-532.

Soares, C.R; Paranhos F^o , A.C.; Souza, M.C.; Branco, J.C.; Fabianovicz, R.; Prazeres F^o , H.; & Kogut, J.S. 1994. Variações na linha de costa no Balneário Pontal do Sul (PR) no período 1953-1993: um balanço sedimentar. **Boletim Paranaense de Geociência** **42** : 161 - 171.

Sousa, M.C.& Angulo, R.J. 2003. .Decadal and Inter-annual Variations of Shoreline and Beach Volumes in Itapoá (Santa Catarina, Brazil). Brazilian Symposium on Sandy Beaches: Morphodynamics, Ecology, Uses, Hazards and Management, **Journal of Coastal Research, Special Issue** **35** : 202-208.

Souza, C.R.G.; Suguio, K. 2003. The coastal Erosion Risk Zoning and The São Paulo State Plan for Coastal Management. Brazilian Symposium on Sandy Beaches: Morphodynamics, Ecology, Uses, Hazards and Management, **Journal of Coastal Research, Special Issue** **35** : 530-547.

Souza, C.R.G. 1997. **As células de deriva litorânea e a erosão nas praias do Estado de São Paulo**. São Paulo, 184 p. Tese de Doutorado em Geologia, Instituto Geológico, Universidade Federal de São Paulo.

Stive, J.F.; Aarninkhof, H. L.; Hanson, H; Larson, M.; Winjnberg, K.M.; Nicholls, R.J. & Capobianco, M. 2002. Variability of shore and shoreline evolution. **Coastal Engineering** 47 :211-235.

Thieler, E.R & Martin, D.; Ergul, A. 2003. The Digital Shoreline Analysis System, version 2.0: Shoreline change measurement software extension for ArcView. USGS Open-File Report, p. 3-76,

Trucolo, E.C. 1998. **Maré meteorológica e forçantes. atmosféricas locais em São Francisco do Sul – SC.** Florianópolis, Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação

Villwock, J.A.& Tomazelli, L.J. 1995. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas** 8 : 1-45.

Zanini, L.F.P.; Branco, P.M.; Camozzato, E.& Ramgrab, G.E. (orgs.) 1997. **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Folhas Florianópolis/Lagoa, SG. 22-Z-D-V/VI, Estado de Santa Catarina, escala 1:100.000.** Brasília, DNPM/CPRM : 223 p.

CAPÍTULO 3

**DETERMINATION OF COASTAL AND NET SHORE-DRIFT
CELLS IN SANDY BEACHES AT SOUTHEAST COAST OF SANTA
CATARINA ISLAND, BRAZIL.**

ABSTRACT

Coastal Cells can be considered a coastal spatial unity that comprise sediment budget concept, and that can be very useful and practical when it is used in human interventions at shoreline and coastal management in general sense. To identification of coastal cells evolves the recognition of geomorphic features which promote breaks and compartmentalize the shoreline as well as the distribution of the wave energy along the coast. In Santa Catarina Island, placed in south Brazil, there are no coastal cells studies, but since 70 years ago human interventions at shoreline have been occurring. The objective of this study is to determine the coastal cells in five sandy beaches placed in southeast coast of Santa Catarina Island, Brazil. To survey the wave distribution along the coast, It was modeled the wave refraction-diffraction of tree types of dominant swells using MIKE 21 PMS software and take some field data in similar wave conditions. The modeling results were managed as spatial information in order to decompose the wave longshore component in Geographical Information System using Arc INFO 9.1 software. Sedimentological and morphological data was taken from the beaches under the influence of similar wave conditions with the purpose of identification of shore drift cells. The coastal cells boundaries was classified about its types, such as convergent, divergent and pulsatory, Twenty six cells was identified at study area, presenting in most of times, a wide boundary variation according to the incoming angle of swell. However, most part of cell boundaries shown the same spatial range into a specific occurrence area, where the bounds varying between 30 and 60 meters. The netshore drift cells obtained by beach morphology and sediment texture data, demonstrates the same general boundaries of coastal cells, and half part of them coincides with the direction of longshore currents. There is major occurrence of netshore drift cells than coastal cells, and it can suggest other coastal processes are detected by the netshore drift cells. The determination of two types of cells is valid, but there is necessary sampling seasonally and with more wave and sea conditions to get more precise the results.

Keywords: Coastal cells; netshore drift cells, coastal compartment, Santa Catarina Island; wave energy distribution.

RESUMO

Células costeiras podem ser consideradas como unidades espaciais de balanço sedimentar na linha de costa, as quais podem ser bastante úteis e de caráter prático quando consideradas em intervenções na praia e ações de gerenciamento costeiro de forma geral. Sua identificação está relacionada a feições geomórficas que proporcionam o recorte e a compartimentação da linha de costa e a distribuição de energia de onda ao longo da mesma. Na Ilha de Santa Catarina, estudos desta natureza são desconhecidos, e intervenções na linha de costa são realizadas há mais de 70 anos. Neste sentido, o presente trabalho objetivou determinar as células costeiras em cinco praias arenosas do litoral sudeste da Ilha de Santa Catarina, Brasil. Foi utilizada modelagem matemática da refração-difração de ondas, de diferentes tipos de ondulação, com o uso do programa MIKE 21, cujos resultados foram tratados espacialmente para decomposição dos vetores de energia de onda em sistema geográfico de informações, com o uso do programa Arc INFO 9.1. Também foram amostrados dados sedimentares do estirâncio, e tomadas medidas de sua inclinação e da largura da praia, em condições de onda semelhantes a alguns casos modelados na fase anterior, com o objetivo de identificar células de deriva litorânea. A célula de deriva litorânea é uma unidade espacial onde atua uma corrente de deriva litorânea de um único sentido, sendo formada por três zonas: barlamar (erosão), transporte e sotamar (deposição). As células costeiras e de deriva litorânea tiveram seus limites classificados quanto à natureza do processo. Os resultados obtidos demonstraram a presença de 26 células costeiras na área de estudo, as quais tiveram bastante variação quanto a seus limites serem divergentes, convergentes ou pulsantes, dependendo do ângulo da ondulação. Porém, a maioria dos limites entre essas células costeiras coincidiu espacialmente, com uma variação média entre 30 a 60 metros. Os resultados das análises realizadas em campo demonstraram tendências gerais semelhantes de limites entre as células costeiras e as de deriva litorânea, e, em metade dos casos, de sentido de transporte litorâneo. A presença de mais células de deriva litorânea dentro das células costeiras (modelagem da distribuição de energia de onda transversal à costa) sugere a atuação de outros processos costeiras. A determinação dos dois tipos de células mostrou-se válido, mas ainda seriam necessários mais trabalhos de campo, com distinção sazonal e nas diversas condições de ondulação e vagas para aprimorar os resultados.

Palavras –chave: Células costeiras, Células de deriva litorânea, compartimentação costeira, Ilha de Santa Catarina; Distribuição de energia de ondas.

1. INTRODUCTION

The attempts to divide the shorelines into cells are so far as 40 years ago, with Bowen and Inman (1966), Inman (1971), May and Tanner (1973), Komar (1976), Carter (1988), Taggart and Schwarz (1988), among others. Littoral cells, coastal cells and net shore-drift cells are concepts used to refer this issue, although there are some distinctions, specially related to the processes scales. Some applications of these terms are reviewed as follow.

According to Bowen and Inman (1966, *apud* Komar, 1976), littoral cells are semi-contained entities where one can better develop a budget of sediments. The simplest case of a littoral cell would be a pocket beach, isolated by rocky headlands with sand inputs possibly from a stream and from sea cliff erosion. The typical littoral cell begins with a headland of stretch of rocky coast where the supply of sand is restricted. Downdrift from the rocky coast, the beach gradually widens as sand is supplied by rivers and from sea cliff erosion. The littoral cell is termed in a submarine canyon which captures the beach sand and funnels it into deep water where is permanently lost from the littoral zone. This causes the littoral cell to begin a new with a rocky coast devoid of beach sand and the system is repeated. The development of a budget of sediments for a littoral cell simply involves attempting to quantitatively assess these various processes and the volumes of sediment into each compartment.

Carter (1988) established the concept of coastal cells, which comprises the littoral cell concept above mentioned, and establishes distinct criteria to define cell boundary as a function of the wave energy and its linkage to longshore sediment transport processes and sediment budgets, elucidating how the question can be solved without fixed boundaries as submarine canyons, rocky headlands, jetties and groins. The basis for Carter's coastal cells was the concept of littoral power gradient initially stated by Stapor (1971, *apud* Carter, 1988) and extended by May and Tanner (1973) to explain the movement of sands in embayment shores. Once the concentration of wave energy occurs onto headlands, the distribution of longshore component is relative to the wave orthogonals swash alignment along the shoreline, so each distinct angle of wave approach (α) develops a different potential to sediment longshore transport. The "a,b,...e" are points placed sequentially along the shoreline representing the gradient of the wave power and the sequence of beginning and ending of sediment longshore transport. (See page 202 in Carter, 1988).

Woodrofe (2003) pointed that littoral power gradient is useful to delimitate cells where the sediment starts and ceases of sands movement, bringing back to the context the sediment drifting.

The definition of littoral cells by Inman (2003) as “...*a coastal compartment that contains a complete cycle of sedimentation including sources, transport paths, and sink...*”, establishes definitively the relationship between coastal sediment budget and longshore transport.

Cowell *et. al* (2003) presented a new concept, the coastal tract, defined as a spatially contiguous set of morphological units representative of a sediment sharing coastal cell. This is an abstract entity which can be used to establish the relationship between sediment transfers at several temporal scales.

These advances facilitate comparisons of watershed basin concept and its use as a basic environmental unit to management issues with coastal cells (Carter, 1988) and its application to coastal management as a shoreline stretch unit.

Some examples of these applications is given by Bray *et al.* (1995) which has used the concept of discontinuity of longshore sediment transport to defines littoral cells and calculate sedimentary budgets at the central southern coast of England in sense to develop a framework for understanding and managing, and by Hanson (2005) that propose to verify the senility of the coast of Scotland with the identification of littoral cells as a budgetary unit where is possible to quantify sediments inputs and outputs as termed by Bowen and Inman (1966) among others.

From the perspective of Komar (1976), Taggart and Schwarz (1988), Souza and Suguio (1998), and Souza (2007), each coastal segment with a particular net shore-drift direction forms a discrete unit termed drift cell. Each drift cell consists of three zones characterizing erosion (updrift), transportation and deposition (downdrift) processes.

The coastal planning and management issues need spatial boundaries as to provide a clear problem definition and its respective policy actions. The shoreline management must firstly respect its natural boundaries and budgets, being more as a necessity than a choice (Griggs, 1987).

The aim of this study is to identify coastal cells under distinct wave regime characteristics along five beaches placed in the southeast coast of Santa Catarina Island, South Brazil. This analysis is based on the longshore wave power gradation (May and Tanner, 1973) and Carter (1988), and compared to a morphological-textural

method application (Souza & Suguio, 1998; Souza, 2007) for determining of net shore-drift cells.

2. STUDY AREA

The Santa Catarina Island is located at the southern coast of Brazil, on the central littoral of the State of Santa Catarina, with a population of about 450.000 people in Florianópolis City, which is the capital of the State.

Its human occupation was initiated by Tupi indian people from a tribe called “carijós”, followed by colonization by Portuguese people from Azores Islands and acorian descendents at century XVII, beyond later European immigration. In the last years, people from Brazilian big cities have been migrated to Florianópolis, imposing an exponential crescent pressure demand for land and its resources such as water, energy and food.

Santa Catarina Island has 439 km² in area, and is formed by Precambrian-Mesozoic igneous rocks (highest peak reaching 512 m) and Quaternary coastal plain sediments. It is separated from the continent by a channel with 800 m wide and 18 m depth (figure 1).

Igneous rocks are formed by plutonic types, including a variety of granites and some occurrences of alkaline dykes. Lowlands are composed by sediments deposited under sea level changes during the Late Pleistocene and Holocene (Caruso Jr., 1993) and characterized by different sedimentary environments, such as lagoon-barrier systems, lakes, eolian dunes and tidal flats.

Armação, Matadeiro, Lagoinha do Leste, Pântano do Sul-Açores and Solidão are the five studied beaches placed at the southeast part of the Santa Catarina Island (figure 2). These beaches have different settings related to wave exposition, sediment source, and beach morphodynamics as shown in table 1.

The open sea bathymetry in front of these beaches is characterized by medium slope at the inner shelf, reaching an average of 0.1°. There are some bottom irregularities given by rocky remnants occurring as small coastal islands and rocky platforms that can influence the wave refraction-diffraction at inner continental shelf.

Four main atmospheric systems reach this littoral: South Atlantic High Pressure center, Polar Low Pressure center, South Pacific High Pressure center and “Chaco” - Continental Low Pressure (Nimer, 1979). These systems drive the

meteorological dynamics that affect the coastal process and shoreline changes by producing swells, seas and storm surges through three mechanisms: cold fronts, extratropical cyclones and a semi-permanent action of South Atlantic High Pressure center. The first and second one generates waves from south and southeast direction, and the last one generates a very persistent east swell, beyond northeast seas.

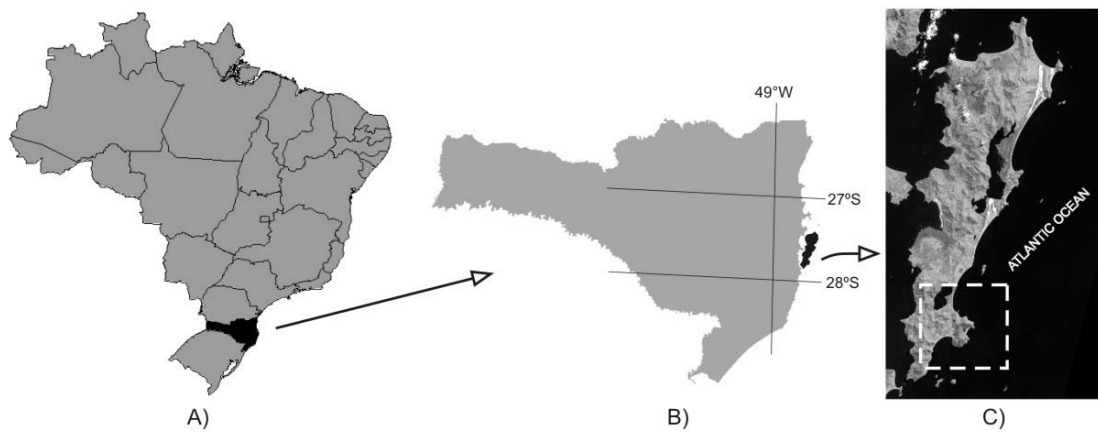


Figure 1: Santa Catarina Island location and study area delimitated by square in white color.

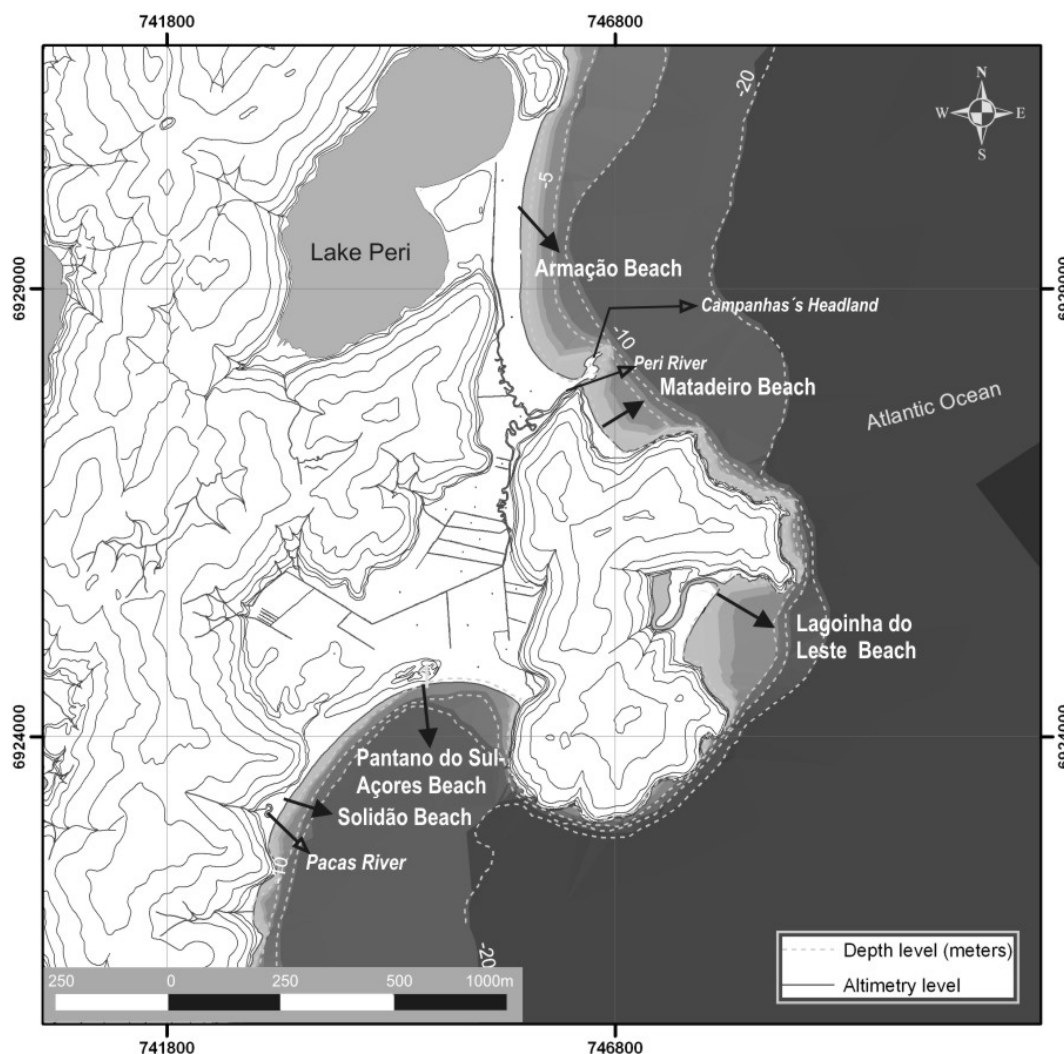


Figure 2: Sandy beaches, and some important physiographic features of the study area.

Table 1: Main characteristics of sandy beaches of study area.

Beach	Ext. (m)	Shoreline mean orientation	Swell exposition (* level **direction)	Geomorphological classification ***	Inland Sedimentary budget systems associated	Beach Morphodynamics	Human setting level. ***
Solidão	1344,9	NE-SW	*Medium **SE,E	Small (pocket)headland Beach	River mouth	Diissipative	High
Pântano do Sul/Açores	2472,4	ENE-WSW	*Médium to Low **S,SE	Zeta Bay	Dunes and paleo inlet	Dissipative	All levels
Praia da Armação	3563,8	N-S	*High to low **NE,E,SE,S	Zeta Bay	River mouth	Reflective to dissipative	All levels
Praia do Matadeiro	1226,8	NW-SE	*Medium **E,NE	Small (pocket)headland beach	River mouth	Dissipative	High to medium
Praia da Lagoinha do Leste	1276,4	NNE-SSW	*High **NE,E,SE,S,SW	Small barrier headland beach	Lagoon inlet and Dunes	Intermediate to dissipative	absent

***Based on Grê *et al.* (1993), Castilhos (1995), Castilhos *et. al* (1998), Oliveira (2004), Mazzer and Dillenburg (in prep.)

3. MATERIAL AND METHODS

Two distinct methodological approaches were used to determinate the coastal and net shore-drift cells, the first based on wave energy distribution along the coastline and the other took from textural parameters from foreshore sediments and beach morphology.

The Carter's concept of coastal cells (Carter, 1988) uses a wave modeling data based on convergence and divergence zones of refracted-diffracted wave rays. So, coastal cells boundaries are placed at null (or lowest) wave energy longshore component to each coastal segment, considering the decomposition of wave energy (E_{Cn}) in two parts: the shore perpendicular/normal component (P_N) and the shore parallel/longshore component (P_L). The spatial distribution of nulls or lowest P_L may define a wave orthogonal which represents a cell boundary.

The second approach is based on the determination of net shore-drift cells through morpho- textural variations along the beach (Souza & Suguio, 1998; Souza, 2007). This method establishes that from updrift towards downdrift of a longshore current, foreshore sediments presents gradation of its parameters (mean diameter, standard deviation and kurtosis) and in morphologic parameters given by beach width and foreshore slope.

3.1 Wave Data

In general, long-term wave data are very rare in the majority places of Brazilian coast. In Santa Catarina coast the situation is not different, so that it has been an important issue for this research. In order to solve this problem, firstly we revised data from historical ship observation (Hogben *et al.*, 1986) just to identify some regional wave regime trends. However, once no accuracy from this data has been obtained it was used a synthesis from 2.5 years of records from a wave gauge (wave rider buoy type) installed in a site 80 m depth, far 35 km straight from the Armação Beach, at southeast of Santa Catarina Island (Araujo *et al.*, 2003).

The wave characteristics can be classified as five monochromatic sea states, according to table 2. These data are closer to the Hogben *et al.* (1986) characterization, demonstrating that in general, Santa Catarina Island region presents these five main wave monochromatic regimes.

Table 2: The main types of sea state of Santa Catarina State region and their relative frequencies.

Swell/sea denomination	Deep water wave direction (θ) ¹	Peak Period (T_p) ¹	Significant wave height (H_s) ¹	Fr * (%) ²	Frequency (%) per wave height range ²				
					0-1m	1-2m	2-3m	3-4m	4-5m
South swell	162°	11,4 s	1,25 a 2,0 m	11	13,8	38,0	27,8	12,7	4,8
Southeast swell	146°	14,2 s	1,50 a 2,0 m	16	19,4	40,5	24,6	9,9	3,5
East swell	92°	8,5 s	0,75 e 1,75m	10	22,2	42,0	23,0	8,5	>3,0
Northeast sea	27°	4,5 s	> 0,75m	20,5	23,9	43,2	21,8	7,5	>3,0
South sea	188°	7,7s	> 1,0m	10					

Source: ¹ Araújo *et al.* (2003); ² Hogben (1987)

* Frequency related to whole data.

The first three sea states from table 2 were used in this research, once they are the swells more representative in terms of relative frequency, as well as due to the fact that they have a very close relationship with significant events leading to beach changes (Castilhos, 1995; Cruz, 1998; Oliveira, 2004; Simó and Horn F°, 2004). However, the waves coming from northeast are very representative in terms of frequency, but they were not considered in present work because they are characterized as seas, and according to Carter(1988) is more difficult to identify the coastal cells structure given by seas than swells.

3.2 Wave Modeling

The propagation of waves from deep water to the nearshore zone was simulated using DHI's wave model MIKE-21 PMS. This model is based on a parabolic approximation to the elliptic mild-slope equation, which is the governing equation for description of refraction, diffraction and reflection of linear time harmonic water waves on a gently slope bottom. The model includes also the process of shoaling, bed friction, directional spreading and wave breaking and calculates wave heights, directions and radiation stresses, which can be used as input to the hydrodynamic and sediment transport modules.

Bathymetric data used for wave modeling were digitalized from Brazilian Navy Nautical Charts in several scales ranging from 1:100.000 to 1:10.000, merged into a unique bathymetric grid. In order to obtain an accurate resolution of the wave directions, three different models were constructed that covered the direction range between of 0° to 180°. The model set-up was chosen such that the angle between the waves and the offshore boundary did not exceed 30°. Model simulations were

performed on model grids with spatial resolutions of 20m. The main parameters for the model set-up are described bellow:

- Offshore boundary conditions: monochromatic (table 2)
- Lateral boundary conditions: symmetrical
- Solution approximation: Padé
- Bottom dissipation: Nikuradse roughness, 0.002
- Wave breaking parameters:

Gamma 1:	1
Gamma 2:	0.8
Alpha:	1

The output of the wave modeling is composed by two grid ASCII files, which are mean wave direction, and significant wave height.

3.3 Geoprocessing and Spatial Analysis

The whole procedures of analysis were performed in a Geographical Information System (GIS) environment using the software Arc Info 9.1 Desktop GIS. The cartographic basis was prepared with a topographical map at 1:10,000 scale (IPUF, 1990) and an aerial photographs set at 1: 2,000 scale, which helped the identification of geomorphologic features and final maps layout.

The ASCII files were converted in raster files and after that georeferenced by using shoreline and coastal islands features from topographic map, generating 6 raster files with 20 m pixel size of spatial resolution.

For each file was obtained an energy flux per wave crest, from wave linear equation theory, given by:

$$E_{Cn} = 0.5 \rho g L (H/2)^2 (gd)^{0.5} \quad (1)$$

The data source of peak period and length were obtained from deep water (table 2), and wave height data was obtained by wave modeling. Mathematical procedures in the GIS environment was performed through *Raster Calculator*, which produced three raster themes representing spatially the wave energy.

Due to the parabolic plan shape of the five studied beaches, it was necessary to generalize the shoreline into a few segments, in order to calculate the effects of the longshore component in each one. It was possible by using the “Generalize Lines” extension of the software *Arc View 3.2*, based on the Douglas-Peucker algorithm (Douglas & Peucker, 1973), that weed out the vertices and give less detail to the line at the tolerance of 20 m, the same of waves raster files resolution. A total of 18 shoreline segments for the five beaches were generate (table 3).

Table 3: Shoreline segments and their angle and extension, after the generalization line process.

Beach	N° of shoreline segments	Extension (m)	Azimuth direction (°)
Solidão	1	632.1	210
Pântano do Sul- Açores	6	2.917.7	217-304
Lagoinha do Leste	4	1260.6	156-236
Matadeiro	2	639.2	136-150
Armação	5	3.251.8	112-192

3.4. Coastal Cell Determination

According to Lowry and Carter (1982 *apud* Carter, 1988) there are two types of cell boundary - fixed and free, which comprise three different configurations: divide or divergent drift, meet or convergent drift and pulse (same drif direction).

The cell boundaries can be determined through geomorphic features recognition and longshore component of wave approach.

3.4.1. Geomorphic Features Recognition

As pointed by Carter (1988) fixed coastal cells can be identified by the occurrence of geomorphologic features that promote significant changes in the coastline configuration. The morphology of the shore can indicate longshore process and consequently information about coastal cells (CERC, 1992). Using the orthoretified aerial photographs at 1:2,000 scale (2002) as well as field survey, the following features were identified and considered relevant: Headlands; Inlets, rivermouths, megacusps, spits and man made structures like jetties.

3.4.2 Longshore Component and Cell Boundaries

As commented before, coastal cell boundaries are located at null (or lowest) wave energy longshore component to each coastal segment (P_L).

So, the decomposition of P_L was performed to each wave regime (table 2) and at each shoreline segment with a specific orientation (azimuth angle), that was previously generalized. The expression was performed by raster calculator as:

$$(E_c \text{raster}) \cdot \sin(\text{shoreline segment} - 90^\circ) \quad (2)$$

For the raster outputs it was used a mask comprising the isobaths of 5 and 10 m, corresponding to the inner and outer mask limits, respectively. This depth interval was chosen due to the spatial scale of bathymetry used in the wave refraction-diffraction model, and the beach closure depth determined by Muehe (2001), which is mean 10 meters.

Each P_L raster corresponding to a beach (shoreline) segment, which was clipped and mosaicked to compose a correct P_L in relation to the each shoreline stretch orientation.

In order to analyze and identification of the boundaries, contrast techniques as well as raster database queries highlighted the raster layer, the P_L values nearest zero ($P_L=0$, the theoretical limit) (Carter, 1988), where was traced a wave orthogonal representing the cell boundary for a given swell condition.

The visual and table survey at GIS within all the waves orthogonals traced over the three swells (table 2) plotted over the shoreline provided identification of overlaps and allow to measure the distances between its limits.

To determinate an cell boundary occurrence, it needs to consider: the low accuracy of bathymetric data (about 30 m), the wave model resolution was 20 m, and the shifting nature of cells boundaries (no data available but estimated about 30-60 m, following the distances between cusps of some beaches in study area, according to Castilhos (1995), Miott (2002) and Oliveira (2005)). Based on this it was defined a distance until 100 meters between wave orthogonals to be considering the same coastal cell boundary.

3.4.3 Longshore current direction

The determination of longshore current direction at each coastal cell was based on the wave height and direction data (Komar and Inman, 1970):

$$V_L = 1,18 (gH_b)^{1/2} \sin \alpha \cos \alpha \quad (3)$$

Where: V_L - longshore current velocity; g - gravity acceleration; H_b - wave height breaking; and α - angle between the wave ray and shoreline stretch.

Due to the α variation with the shoreline orientation, the equation above was performed to each segment generalized (table 3) distinct orientation. The direction value obtained from direction raster to the equation 2 was queried from the values placed at beach closure depth by using bathymetric data overlapped.

In order to select only a portion corresponding to each shoreline segment a mask was built to clip just the corresponding data. These masks follow the depth contours of 10 and 5 m, and the orthogonal line to the shoreline orientation. The results of all data were mosaicked using spatial tools at Arc toolbox of Arc Info GIS software.

A second mask corresponding to the coastal cells limits was used to intersect the mosaic and separate the data of longshore current velocity for each coastal cell. The determination of the direction was given by the sum of all sub-cells contained inside each coastal cell (mask). Positive values allow north and eastward directions while negative values indicate south and westward directions.

3.5 Net Shore-Drift cells Determination

Net shore-drift cells are determined on basis on a morpho-textural method (Souza and Suguio, 1998; Souza, 2007).

Morphological and textural parameters are obtained from perpendicular to the shoreline beach profiles, spaced by 50 to 400 m depending on geomorphic features like beach cusps and topographic anomalies, and erosion indicators (Souza and Suguio, 2003), as well as the total beach extension.

In total 40 beach profiles were sampled in conditions of medium to high waves during January and March 2007 (table 4, figure 3). Wave parameters were

measured starting about 7 days before the field sampling, by visual observations and counting to register the mean significant wave height, peak period and swell direction with a compass and chronometer. The conditions were monitored until the date of sampling, in order to compare them with coastal cells results.

Sedimentological samples were taken from the middle foreshore, and textural parameters were obtained by granulometric methods such as those described in Folk and Ward (1957) and Suguio (1973).

Table 4 : Wave conditions prevailing during about seven days before the beach profiling.

Beach	H_s (m)	Direction	T_p (seg)	Sampling Date*
Solidão	1,0-1,5	SE	10	17/01/2007
Pântano do Sul	> 0,5-1,0	E	5-6	28/01/2007
Lagoinha do Leste	2,0	S	11-12	16/03/2007
Matadeiro	1,0	E	8	12/02/2007
Armação	1,5-2,0	ESE	9-10	03/03/2007

According to the Souza's Method (Souza, 2007), the 5 parameters of each beach profile are compared with their adjacent profiles, in order to determinate if the site is either an updrift zone (erosion) or a downdrift zone (deposition) of the longshore current in relation to each parameter analyzed. The results are compared in a matrix, where the sum of signs gives the process (erosion, transport and deposition) occurring in each profile site.

These results were compared to the coastal cells (spatial modeling) results, mainly to search a validation of coastal cells limits and direction.

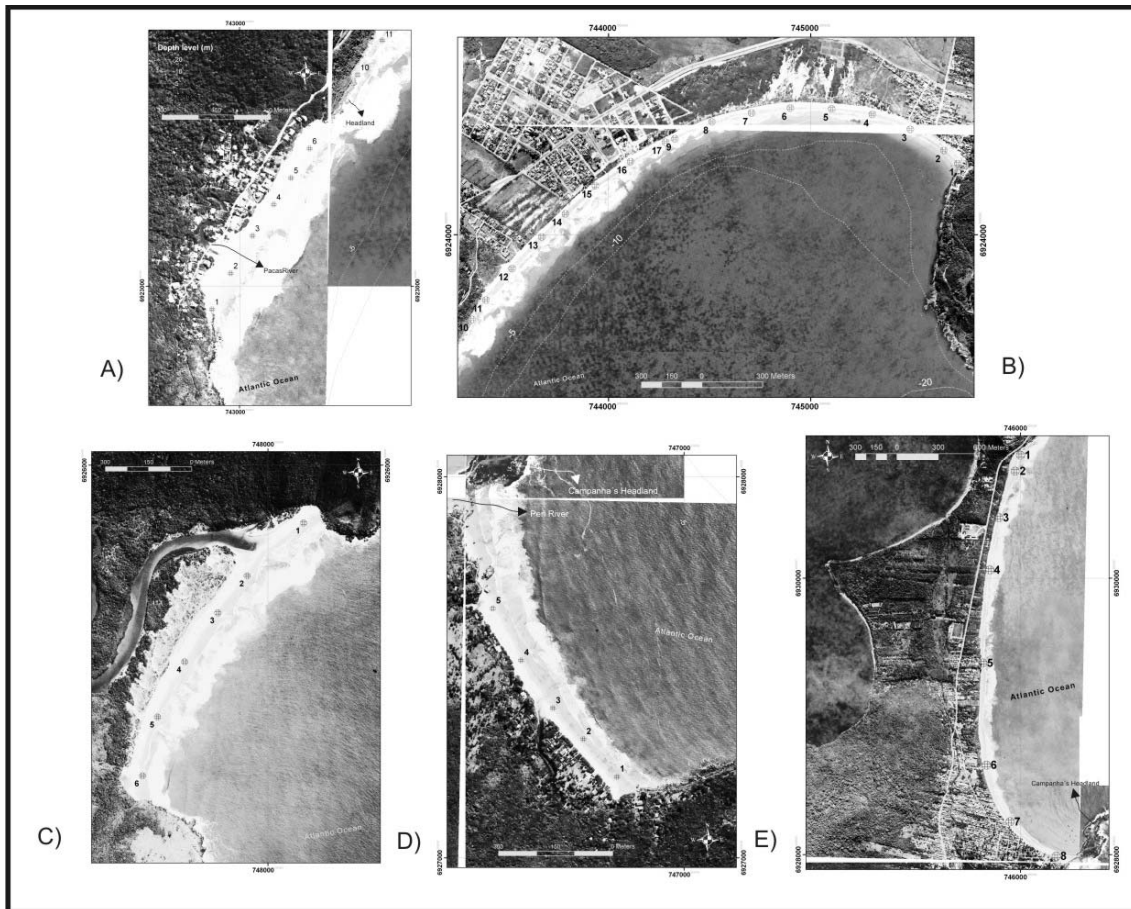


Figure 3: Localization of the sampling profiles. Legend: (A) Solidão Beach; (B) Pântano do Sul-Açores Beach; (C) Lagoinha do Leste Beach; (D) Matadeiro Beach and (E) Armação Beach.

4. RESULTS

4.1 Coastal Physiographic Compartments

The shoreline of study area shows significant changes of orientation that result from the alternation of igneous rocky headlands and coastal plains. The Lagoinha do Leste Headland (figures 2 e 4) appears as the major feature that changes the shoreline orientation and wave exposition. It divides the study area into three main coastal compartments (figure 4):

- 1- Pantano-Solidão
- 2- Lagoinha do Leste
- 3- Armação-Matadeiro

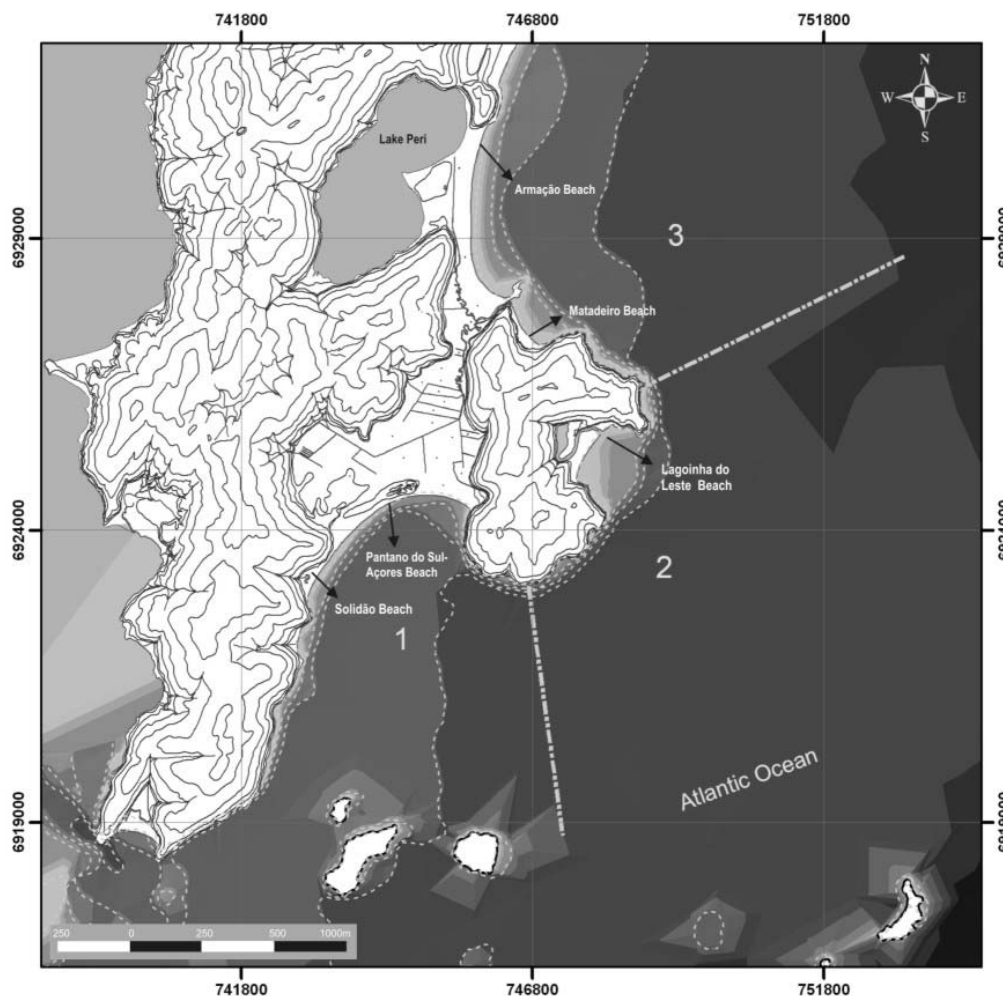


Figure 4: Physiographic compartments of study area: Pântano Açores (ou Pântano-Solidão) (1), Lagoinha do Leste (2) and Armação-Matadeiro (3) Apesar de ter coordenadas UTM é melhor colocar uma escala gráfica nesta figura

The Pântano-Solidão Compartment is a semi- exposed and shallow zeta bay, comprising a coastal plain characterized by a lagoon-barrier system (Gré *et al.*, 1993). There are two sandy beaches, Pântano do Sul – Açores with W-E and NE-SW orientation and Solidão with NNE-SSW orientation, reaching about 4 km length. The main wave exposure is from south and southeast approaching, but the presence of Três Irmãs Archipelago (three islands) leads to wave refraction-diffraction effects. No significant fluvial contribution exists in this compartment since about 50 years ago, when some anthropogenic interference has included canalizations, implantation of dams and even deviation of the main stream course to the Peri River (located at an adjacent watershed).

The Lagoinha do Leste Compartment has the smaller shoreline extension and comprises a shallow bay with a beach and a tiny lagoon-barrier system surrounded by high igneous rocky cliffs. It is the most exposed compartment due to the fact that

headland is projected seaward, and its general shoreline orientation is NE-SW. The main characteristics are steeper shoreface and a full range of wave exposition directions. The most part of the individualized watershed drainage gets into the lagoon system, but there is no available data about the lagoon outflows.

The Armação-Matadeiro Compartment is a very open embayment that embraces a segment forming a zeta bay shape (Armação Beach), a small pocket beach (Matadeiro Beach), and some stretches of rocky shores forming shore platforms and plunging cliffs. These beaches have N-S and NW-SE orientation respectively. Matadeiro Beach is exposed to the east swells and northeast seas (table 2), while Armação Beach is exposed to the south, southeast and east swells. In this compartment the drainage system is given by the Peri River (Figure 3 and 4), whose contributors come from both the Peri's Lake and the watershed basin neighborhood.

4.2 Coastal Cells Patterns Determination

The refraction-diffraction mechanisms in the Pântano-Solidão Compartment show a well defined pattern of wave energy distribution for all swell directions, in special under the south and southeast swells when an alternating pattern appears, being useful for cells boundaries identification. The zeta form leads to a typical longshore wave energy pattern, decreasing towards east and increasing at the two points: near the small headlands placed between Açores and Solidão beaches and at the southwest ending of the Solidão Beach (Fig. 5).

Solidão Beach is at the most exposed site of the zeta bay, and it is characterized by the occurrence of three well defined coastal cells. The geomorphic features influence is observed at the southern headland and the Pacas River mouth, which delineates a coastal cell. The other cell boundary is given by the shore parallel component of waves approaching from east and southeast directions and the small headland that separate Solidão and Açores beaches (figure 5)

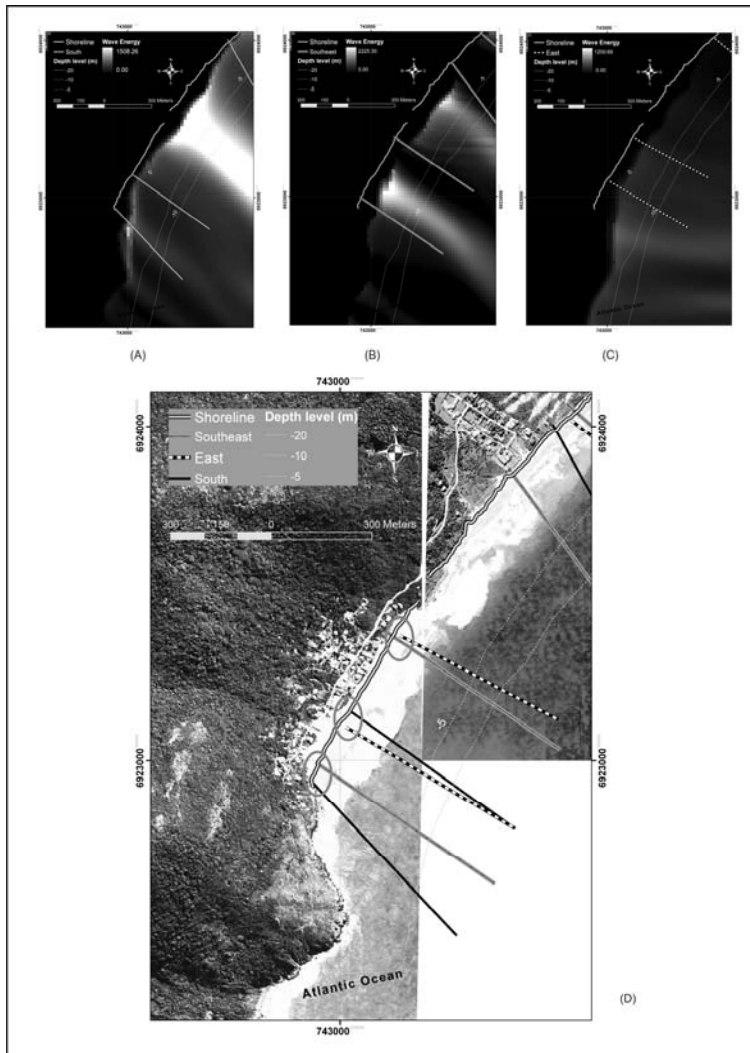


Figure 5: Coastal Cells at Solidão beach under (a) south swell, (b) southeast swell, (c) east swell and (d) all of them together

At the Pântano do Sul and Açores beaches five coastal cells boundaries were determined with an occurrence of one, two or three orthogonals intersecting the shoreline. The variety of intersections obtained suggests the occurrence of no fixed coastal cells whose boundaries shifts broadly according the swell direction (figure 6).

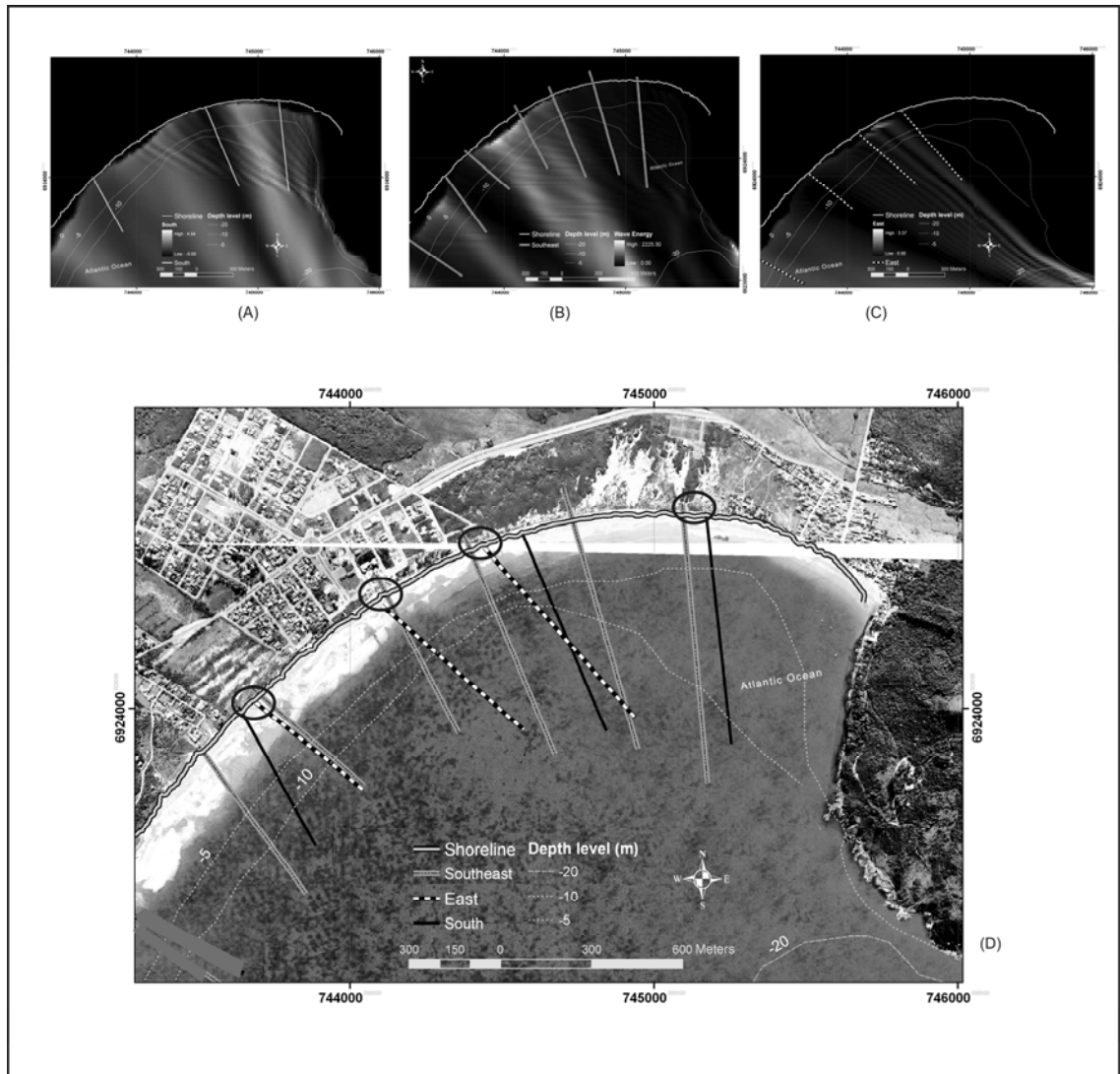


Figure 6: Coastal Cells at Pantano do Sul –Açores beach under (a) south swell, (b) southeast swell, (c) east swell and (d) all of them together.

The Lagoinha do Leste Compartment presents a very well defined wave energy focus. Geological settings and geomorphic features helped to identify some cells boundaries, which totalize four coastal cells (figure 8).

Further, two points at the Lagoinha Beach showed lower values of longshore component of wave energy under all the swells directions. It is expected that these last cell boundaries shift according with the direction of swell. At this paper, these boundaries have variations about 100 to 150 m, mainly due the differences of the east to south swells and their waves tracking (figure 7).

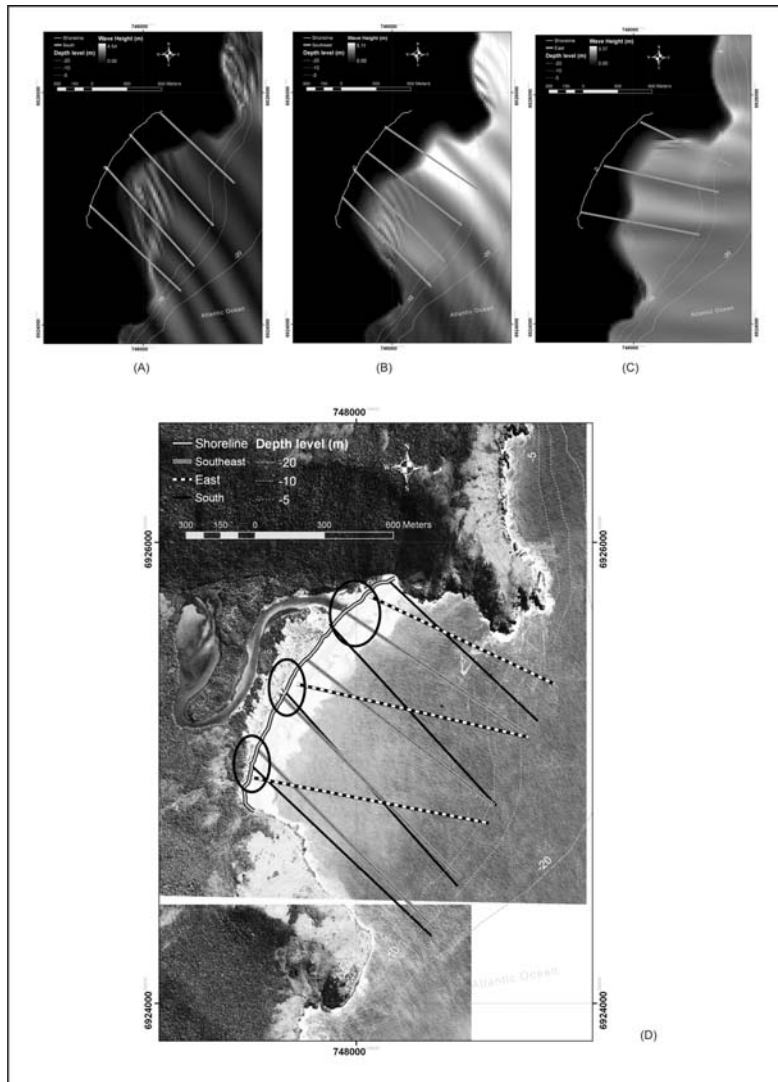


Figure 7: Coastal Cells at Lagoinha do Leste beach under (a) south swell, (b) southeast swell, (c) east swell and (d) all of them together.

The Matadeiro-Armação Compartment is the greatest one in sandy beaches extension.

The nearshore wave incidence in this compartment is influenced by a rocky platform an inlet and headlands that create a broad range of wave expositions along the beach segments. Because of this, the distance between each cell boundary is larger, varying around 300 m in Matadeiro Beach and between 400 to 700 m at Armação Beach.

The Matadeiro Beach is sheltered from most of south and southeast swells (in exception to swells up to 10-11s periods), and presents three coastal cells along 1,000 m of shoreline (figure 8, table 5). In spite of the smaller extension of this beach, there are expressive geomorphic features that influence the coastal cells boundaries, as follows: (i) at the third part from the north portion of the beach, there are igneous rocks outcrops

mixing with sand, that mark a cell boundary; (ii) the Peri River mouth on the side of the northern headland demarks a cell boundary; and (iii) the inlet of a small lagoon at the middle of the beach is a recognized feature that likely coincides with a cell boundary.

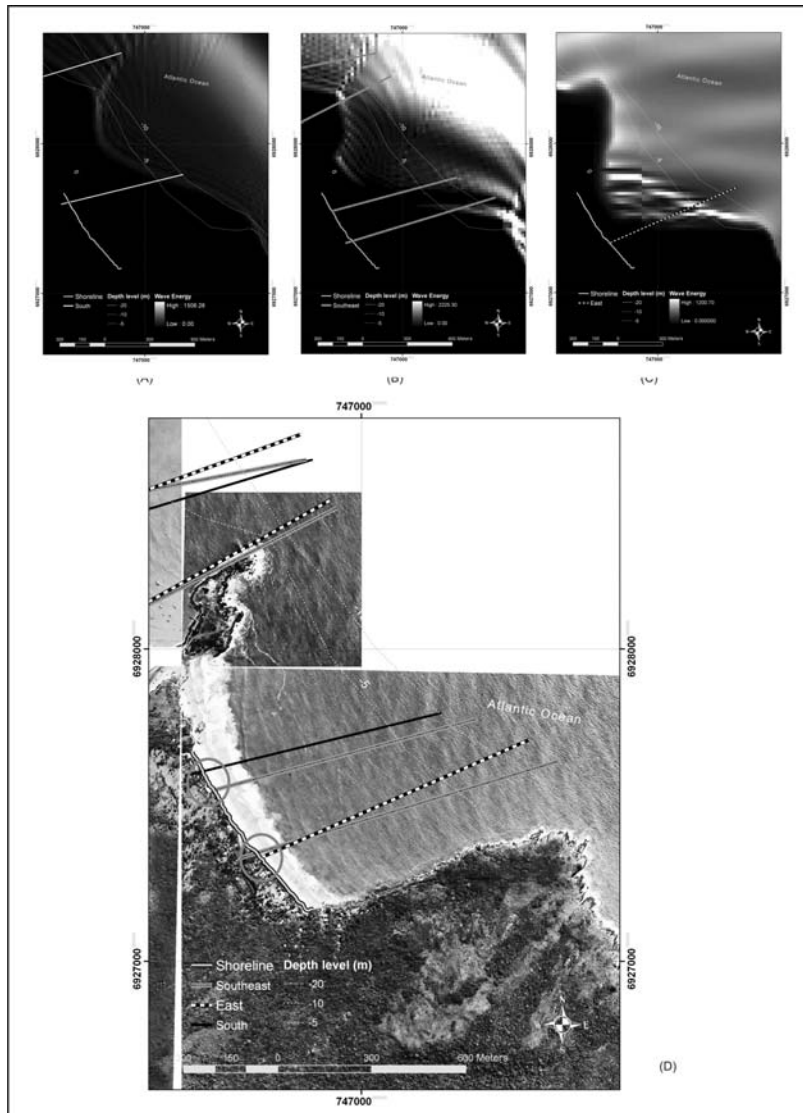


Figure 8: Coastal cells at Matadeiro Beach under (a) south swell, (b) southeast swell, (c) east swell and (d) all all of them together.

The Armação Beach presents seven coastal cells (figure 9, table 5), all of them more broadly spaced than in the other beaches. The spatial configuration of coastal cells shows a gradual increase on spacing between the cells in northward direction, while at the same time wave height increases and beach slope becomes more reflective (Castilhos, 1995).

Most of these cells boundaries are recognized in two types of swell (table 5), suggesting the existence of ephemeral and/or transient coastal cells in this beach.

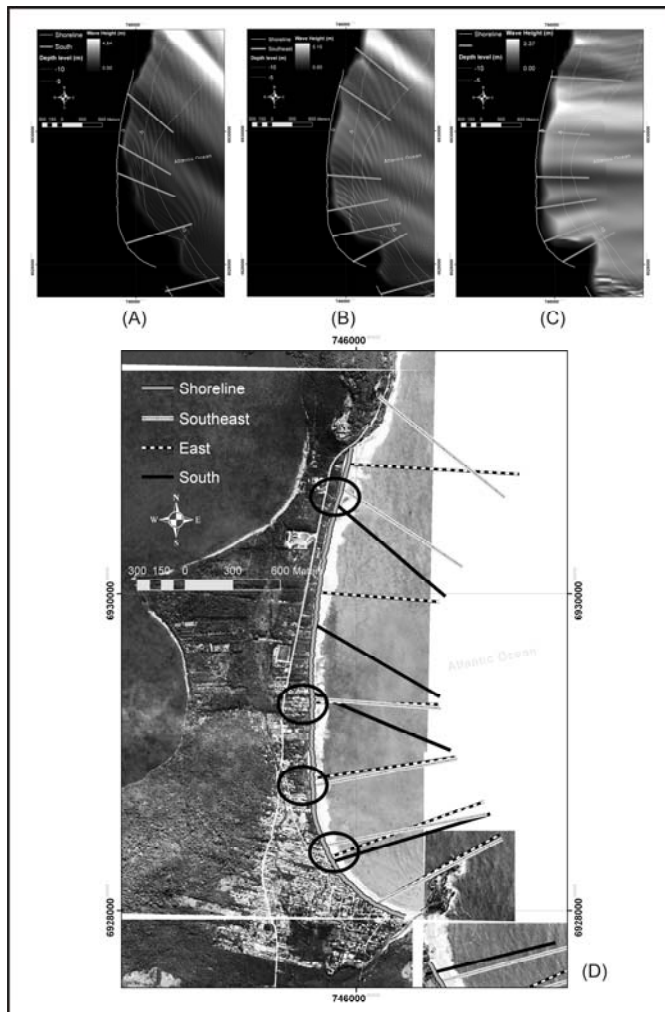


Figure 9: Coastal Cells at Lagoinha do Leste beach under (a) south swell, (b) southeast swell, (c) east swell and (d) all of them together.

4.3 Coastal Cells Boundaries Classification

The Solidão Beach presents coastal cells boundaries of pulse type only, under all the swell conditions. The pulse boundary is characterized by variation in speed but keeping a continuous direction of longshore current (Carter, 1988). Although under south and east swell conditions the longshore current direction is southwest along the beach (figure 10) (table 5), under south swell it becomes weaker at the southwest headland and stronger at the middle of the beach and near the northeast headland. When the east swell prevails the same cell presents lower current velocity than their adjacent cells (figure 11). The southeast swell generates a northeast longshore current which decreases in velocity towards the southeast headland. Both cases illustrate different

focus of wave energy according to the swell direction, but maintaining the same cell pattern due to the fact that both show a low variation of α value. The pulse type obtained for all cells suggests that this beach is an downdrift area during south and east swells and updrift area when southeast swells occurs, in the whole Pantano-Solidão zeta bay perspective, corresponding to the “*a,b,c...model*” from May & Tanner (1973).

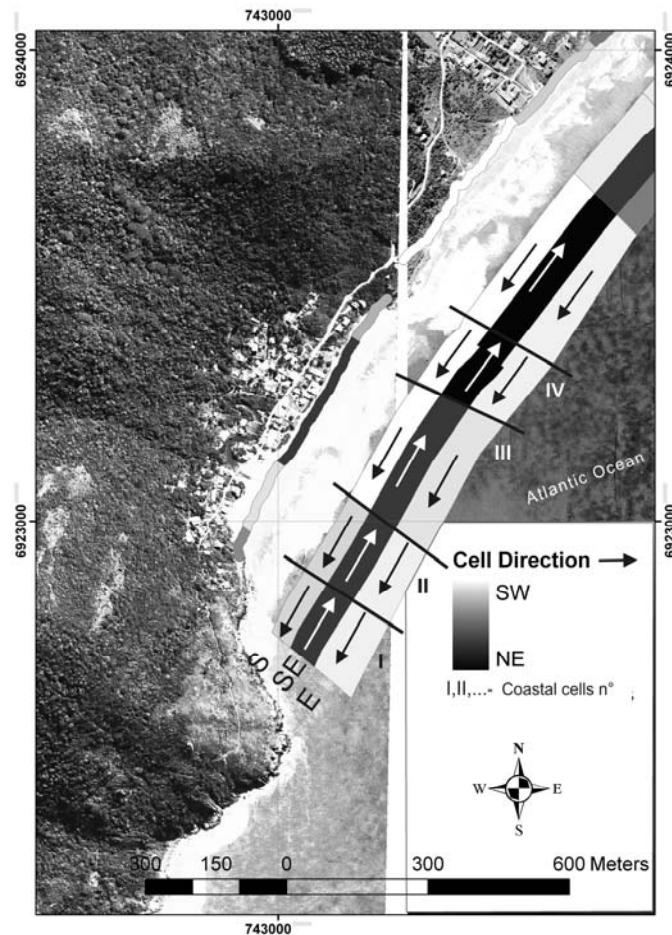


Figure 10: Coastal cells direction (gray tonalities indicate variation in current speed,- the extremes of color palette represents the higher velocities for each direction) in the Solidão Beach. The shoreline is differentiated in grey colors to represent the coastal cell boundaries

Table 5: Coastal Cells classification according to swell conditions (Legend: D-Divergent C-Convergent P-Pulse).

Coastal Comparison	Beach	Cell n°	South Swell			Southeast Swell			East Swell		
			* Direction	Boundary Type		* Direction	Boundary Type		* Direction	Boundary Type	
SAPS	A	I	1 SW	P	1 NE	P	1 SW	P			
		II	2 SW	P	- -	-	2 SW	P			
		III	-	-	2 NE	P	-	-			
		IV	-	-	-	-	-	-			
	B	I	1 SW	P	1 NE	P	1 SW	D			
		II	-	-	2 NE	P	2 NE	C			
		III	-	-	3 NE	P	3 SW	D			
		IV	2 WSW	P	4 NE	P	4 NE	P			
		V	3 ENE	D	5 WSW	C	5 NE	P			
		VI	-	-	6 NE	D	- -	-			
		VII	4 E	P	7 W	C	- -	-			
	LALST	C	I	1 S	D	1 S	P	1 N	P		
			II	2 N	P	2 S	D	2 N	P		
			III	3 N	C	3 N	P	3 N	P		
IV			4 S	D	4 S	P	-	F			
V			5 S	P	5 S	P	4 S	C			
MARM	D	I	1 S	P	1 N	C	1 N	P			
		II	-	-	2 S	D	2 N	C			
		III	2 S	P	3 N	P	-	F			
	E	I	-	-	1 N	C	1 S	D			
		II	1 S	P	2 S	P	2 N	P			
		III	2 S	P	3 S	D	3 S	P			
		IV	3 N	P	4 N	C	4 N	C			
		V	4 N	D	5 S	P	5 N	P			
		VI	5	P	6 N	D	6 S	P			
		VII	-	-	7 N	C	-	-			

A-Solidão beach; B- Pântano do Sul- Açores Beach; C- Lagoinha do Leste Beach; D- Matadeiro Beach; E- Armação Beach.

* Identification number of wave orthogonal (cell boundary)

Pântano do Sul and Açores beaches presents very different cells pathways depending on the swell condition and shoreline orientation/exposure. South and southeast swells generate a pulse cell in the segment nearest to the Solidão Beach, the direction of currents alternating according to the swell direction (figure 11, table 5). Both of these cells change their current direction at the boundaries of cells IV and V, where boundaries are divergent or convergent when south or southeast waves predominates, respectively. In the former swell condition, cell boundary VI/VII is a pulse type, while they alternate to convergence and divergence boundaries under southeast wave condition (figure 12, table 5). In east swell conditions the alternation of divergent and convergent boundaries starts to occur at cell II and becomes a pulse type at cells boundaries IV and V. It is important to consider the very low current velocity at cells V, VI and VII (represented by medium gray tonality, figure 11) under east swell,

due to a shadow zone generated by wave diffraction effects around rocky headland. The patterns of wave refraction-diffraction create oscillatory pathways of longshore currents within coastal cells. The wide range of azimuth angles of Pantano-Açores Beach orientation (tabela 3), combined with distinct swell types create a wide range of α values along the bay shoreline. As a result of this variation, none coastal cell maintains the same type of limit with the change of swell direction at this beach. Where both α value and wave energy are low, pulse cells appear to be more frequent, while divergent and convergent types occur where higher α values are present. It corroborates perfectly with the May and Tanner (1973) a' to e' coastal cells structure.

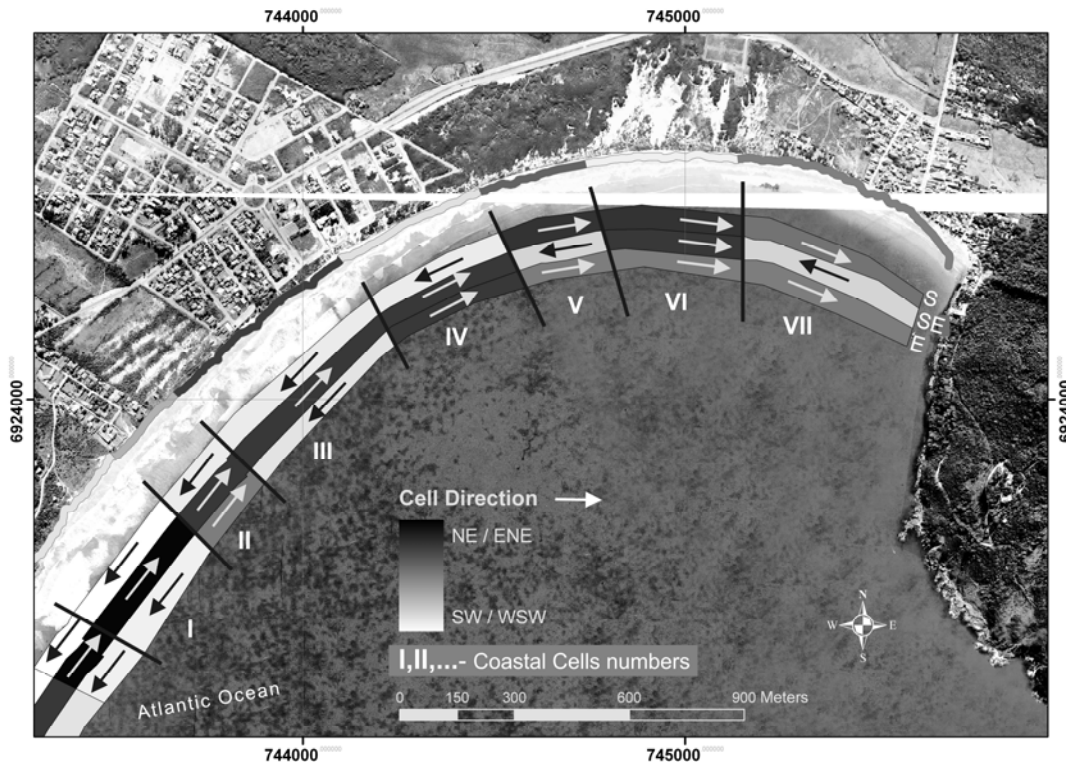


Figure 11: Coastal cells direction (gray tonalities indicate variation in current speed,- the extremes of color palette represents the higher velocities for each direction) in the Pantano do Sul- Açores Beach. The shoreline is differentiated in grey colors to represent the coastal cell boundaries

Coastal cells in most part of the Lagoinha do Leste Beach are represented by a wide range on magnitude of longshore currents and pulse type of cell boundaries (figure 11). This beach is exposed to the three swell directions and presents very well defined cells boundaries. The south swell generates more variation on α values, and different types of cell boundaries, starting from south headland with a

divergence boundary between cells I and II, followed by pulse types at the middle of the beach, where the velocity of NE current is higher. In front of the inlet a convergence boundary occurs and followed by a pulse cell with SW longshore current. When southeast swell is active α values are lower and the pulse type predominates, with the exception of a divergence type in cell boundary II/III. Almost the same behaviour occurs during east swell conditions, where the difference is a convergence boundary distinguishes from a sequence of cell pulse at IV/V boundary. In general, this beach presents the same number of convergence and divergence boundaries and the pulse type, but presents predomination of northeast current.

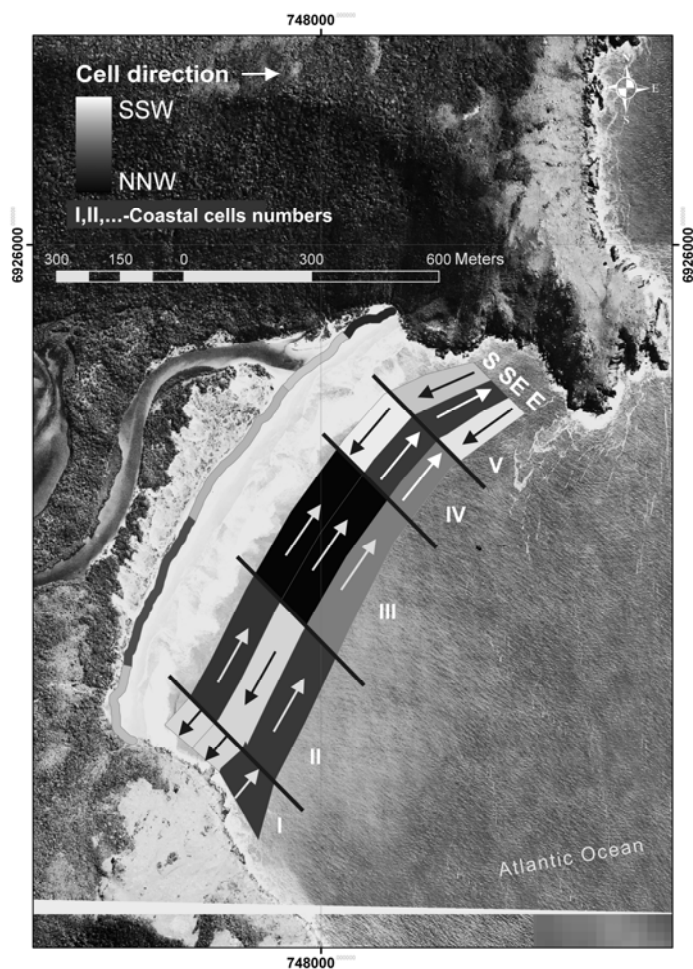


Figure 12: Coastal cells direction (gray tonalities indicate variation in current speed,- the extremes of color palette represents the higher velocities for each direction) in the Lagoinha do Leste Beach. The shoreline is differentiated in grey colors to represent the coastal cell boundaries

The Matadeiro Beach presents a very interesting variation of coastal cell types according to changes on swell direction (figure 12, table 5). This beach is sheltered to south and southeast swells and exposed to east and northeast swells (table 2). Pulse cells predominate and the directions of cells under south swell conditions, which present lower wave height and higher α values, produce a weak current velocity to southeast. The opposite occurs under east swell conditions, when higher wave height and lower α values lead to pulse cells of northwest direction. In southeast swell conditions a spatial alternation of wave height and higher α values occur, producing a convergence at the first cell boundary followed by a divergence. These alternations of distinct cell types occur associated to geomorphic features, as a small headland or an emergent sandy barrier, like postulated by Taggart and Schwartz (1988) and Souza and Suguio (2003).

In the Matadeiro, the convergence boundary is placed in front of a small episodic river inlet and the divergence one occurs where the influence of headland starts and rocky outcrops occur closer to shoreline.



Figure 13: Coastal cells direction (gray tonalities indicate variation in current speed,- the extremes of color palette represents the higher velocities for each direction) in the Matadeiro Beach. The shoreline is differentiated in grey colors to represent the coastal cell boundaries.

At Armação Beach seven cells are well defined, each swell direction changing the intensity and direction of the cells. The south swell generates a relatively simple structure based on a divergence between cells IV and V, and followed in both sides of the beach (northward and southward) by pulse cells in opposite directions (figure 14, table 5). During the incidence of southeast swell there are more cells forming a complex structure. Coastal cells form two equal sequences of convergence, pulse and divergence, from cell I to VI, and the velocity of currents getting stronger in the same gradient. Cell boundary IV/V around the middle of the beach is a center of either convergence currents (SE and E swells) or divergent currents (S swells). The east swell approaches in a very straight forward direction to the beach (low α values). However, effects of wave refraction and diffraction, associated with zeta bay shape and the presence of a rocky platform in front of the middle of the beach at 15 m depth, create well focused wave incidence. Cells are well defined and present all types of cell boundaries, but the longshore current velocity is not strong, as can be observed in figure 14. Different cells types occur from the south (most sheltered parts) to the middle of the beach (cells I to V), being represented by a divergence followed by pulse types of northward direction, and a convergence boundary at cells IV/V (figure 14).

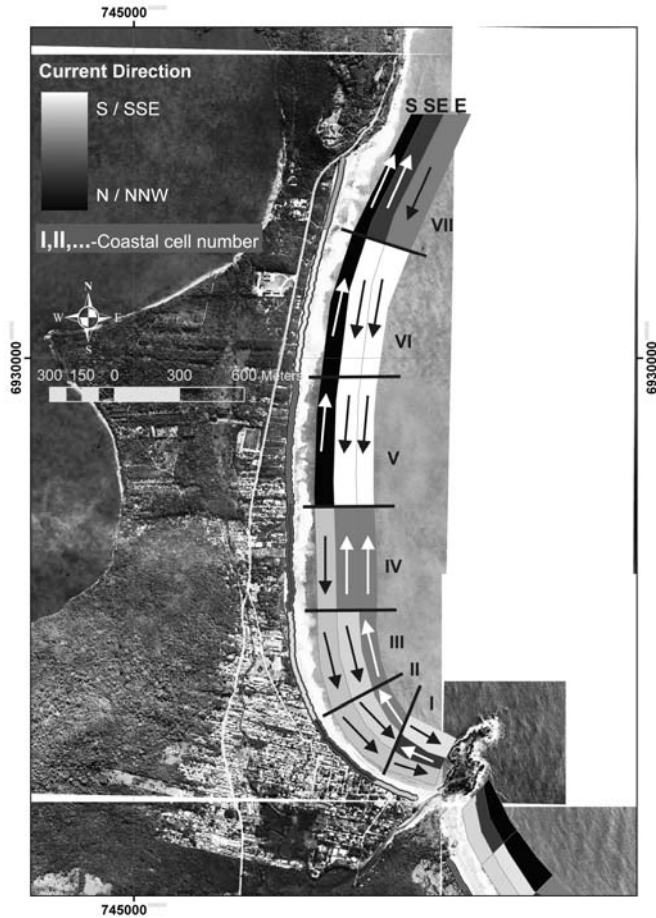


Figure 14: Coastal cells direction (gray tonalities indicate variation in current speed,- the extremes of color palette represents the higher velocities for each direction) in the Armação Beach. The shoreline is differentiated in grey colors to represent the coastal cell boundaries

4.4 Net Shore-Drift Cells Determination

The number of drift cells is clearly higher than coastal cells. Although these represent just one sea state, some important correspondence between the beach profile sampling and the orthogonals were found (table 6).

The Solidão Beach presents two cells with updrift zones at the headlands and a center of convergence (downdrift) in profile SOLI 4 (figure 15, table 6). The spatial distribution of these cells seems similar to the coastal cells pattern. The deposition zone marked at SOLI 4 coincides with the boundary between coastal cells I and II.

Table 6: Comparison matrix for the five studied beaches and sedimentary process associated in each profile, indicating the drift cell orientation.

Beach profile sampling	Grain size μ (ϕ)	*	Sorting σ	*	Kurtosis	*	Width (m)	*	θ°	*	* Final	Pr *
SOLI1	2.093	-	0.7281	-	1.401	+	21.6	+	1.5	-	-	E
SOLI 2	2.107	+/+	0.6359	+/-	1.074	-/+	45.2	-/-	3.8	+/-	+/-	T
SOLI 3	1.861	-/-	0.6357	+/-	0.9013	-/-	48.7	+/+	3.5	+/-	+/-	T
SOLI 4	2.283	+/+	0.4959	+/+	1.272	+/+	34.8	-/+	1.8	-/+	+/+	D
SOLI 5	2.009	-/+	0.5379	-/-	1.185	-/+	27.7	-/+	5	-/+	-/+	T
SOLI 6	1.977	-	0.4534	+	0.9844	-	24.3	-	3.2	-	-	E
PANTAC1	1.15	-	1.57	-	0.6841	-	34.6	-	3.33	-	-	E
PANTAC 2	1.809	+/-	0.4502	+/+	1.611	+/+	47.9	+/+	2.1	+/+	+/+	D
PANTAC 3	2.021	+/-	0.4799	-/-	1.021	-/+	40.4	-/-	5.5	-/+	-/-	E
PANTAC 4	2.194	+/+	0.4464	+/+	0.8948	-/-	42.6	+/+	5.6	-/-	+/+	D
PANTAC 5	2.03	-/+	0.5343	-/-	1.172	+/-	38.5	-/+	4.6	+/+	-/+	T
PANTAC 6	1.739	-/+	0.4544	+/-	1.193	+/+	33.2	-/-	5.2	-/+	-/+	T
PANTAC 7	0.2239	-/-	-0.0654	+/+	1.17	-/+	37.5	+/+	5.3	-/+	-/+	T
PANTAC 8	1.439	+/+	0.4818	-/+	0.9582	-/-	36.7	-/+	5.6	-/-	-/+	T
PANTAC 9	1.392	-/-	0.5205	-/-	1.086	+/+	34.1	-/+	4.2	+/+	-/+	T
PANTAC 17	1.400	-/-	0.4051	+/+	1.007	-/0	28.2	-/-	6.5	+/-	-/-	E
PANTAC 16	1.422	+/-	0.4803	-/+	1.007	0/-	29.8	+/+	4.7	+/+	+/+	D
PANTAC 15	1.462	+/+	0.6634	-/+	1.11	+/+	26.6	-/-	5.5	-/-	-/+	T
PANTAC 13	1.407	-/-	0.7649	-/-	1.013	-/-	32.4	+/+	4.2	+/-	-/-	E
PANTAC 12	1.531	+/+	0.4716	+/+	1.080	+/+	30.7	-/+	3.6	+/+	+/+	D
PANTAC 11	0.7107	-/-	1.19	-/-	0.7251	-/-	25.3	-/+	4.6	-/+	-/-	E
PANTAC 10	1.287	+	0.8272	+	1.215	+	16.8	-	7.5	-	+	D
LALT1	1,307	+	0,624	+	1,113	+	34	-	3.5	+	+	D
LALT 2	0,2078	-/-	0,741	-/+	1,081	-/+	45	+/+	7	-/-	-/+	T
LALT 3	0,7991	+/-	0,9052	-/-	0,6954	-/-	25	-/-	5.3	+/+	-/-	E
LALT 4	1,252	+/-	0,6568	+/+	0,8967	+/-	46	+/+	5.8	-/-	+/-	T
LALT 5	1,413	+/-	0,7016	-/-	1,627	+/+	35	-/-	2.7	+/+	+/-	T
LALT 6	1,459	+	0,547	+	1,218	-	38	+	3.6	-	+	D
MAT1	2.479	+	0.3545	+	0.8434	-	24,5	+	2.7	-	+	D
MAT2	2.179	-/-	0.42	-/-	1.056	+/+	14,8	-/-	1.2	+/+	-/-	E
MAT3	3.245	+/+	0.156	+/+	0.7377	-/-	19,20	+/+	1.6	-/+	+/+	D
MAT4	2.452	-/-	0.325	-/+	0.7866	+/-	15,9	-/+	1.7	-/+	-/+	T
MAT5	3.086	+	0.3535	-	0.9113	+	8,3	-	3.8	-	-	E
ARM1	0.4828	+	0.514	-	1.093	-	25.4	+	31	-	-	E
ARM2	0.2759	-/-	0.4576	+/-	1.265	+/+	17.3	-/-	25.3	+/-	+/-	T
ARM3	0.4462	+/+	0.3745	+/+	0.9073	-/-	26.7	+/+	7.7	+/+	+/+	D
ARM4	0.0045	-/-	0.4763	-/-	1.007	+/-	20	-/+	11	-/-	-/-	E
ARM5	0.2162	+/+	0.465	+/-	1.816	+/+	10.3	-/-	10	+/-	+/-	T
ARM6	-0.081	-/-	0.3991	+/+	1.129	-/+	16.5	+/+	7	+/-	+/+	D
ARM7	0.5308	+/-	1.149	-/-	0.8865	-/-	12.1	-/+	5	+/-	-/-	E
ARM8	2.573	+	0.4211	+	0.93	+	4.2	-	1.5	+	+	D

* E-erosion T-Transport; D- Deposition

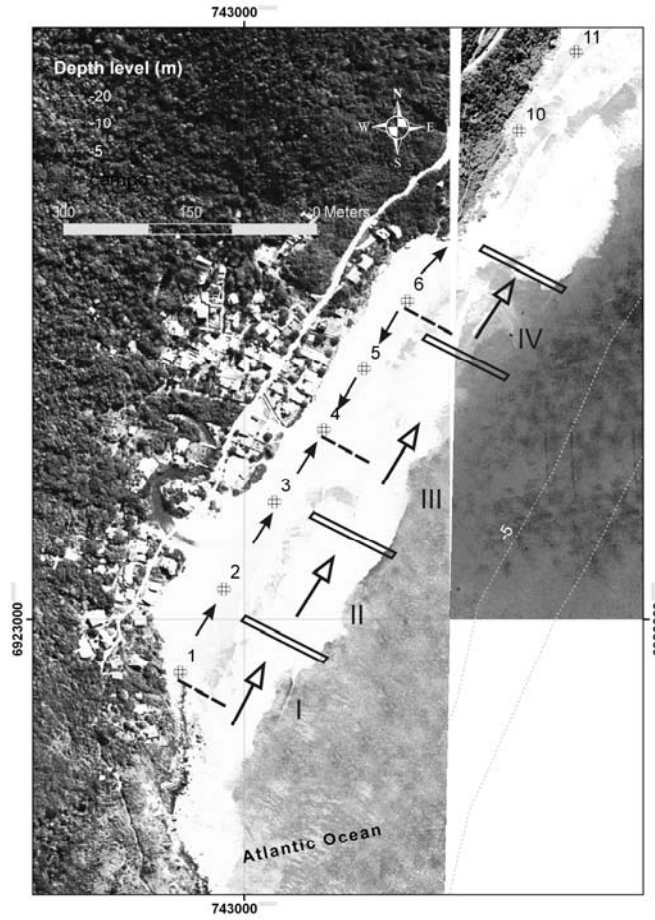


Figure 15: Drift cells (in black) and coastal cells (in white)-Solidão Beach

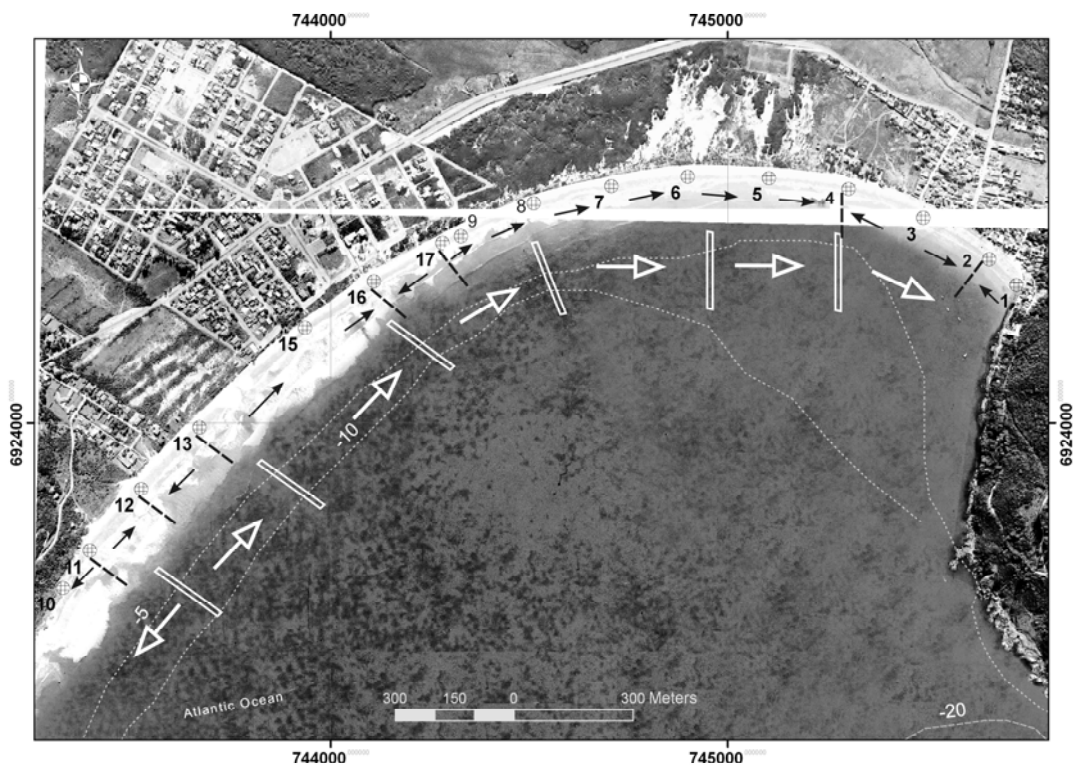


Figure 16: Drift cells (in black) and coastal cells (in white)-Pantano do Sul - Açores Beach.

Nine drift cells occur along the Pantano-Açores beaches (figure 16), in general forming small cells, excepting the long cell with updrift at PANTAC 9 and downdrift at PANTAC 4. Convergence centers (downdrift zones of two drift cells) are in PANTAC 2, 4, 12 and 16, while divergence centers are in PANTAC 3, 11, 13 and 17.

From PANTAC 9 to eastward, the beach becomes more sheltered from east waves, and up to PANTAC 4 the shoreline is characterized by repeated occurrence of a transport cells. An updrift cell between two downdrift cells occurs at extreme sheltered and eroded areas, at locally named Pantano do Sul (PANTAC1,2 and 3) (Grê *et. al*, 1992) (Mazzer, 2004) (Oliveira, 2005). The great spatial variation of types of drift cells along this shoreline corroborates the same pattern obtained on the coastal cells.

In the figure 16, the alternation of updrift and downdrift zones coincides spatially at the more exposed area of the southwest. While transportation cells coincides with pulse coastal cells which flow to easterly direction.

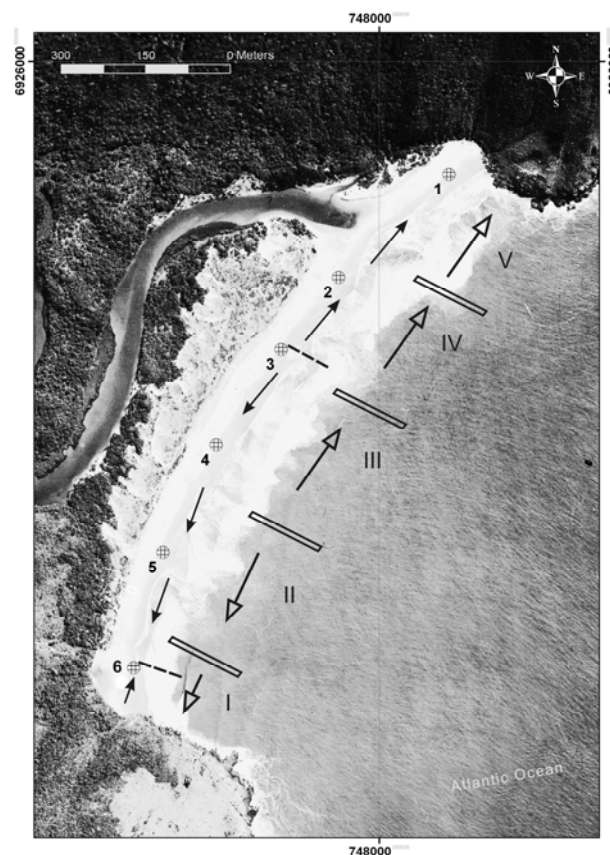


Figure 17: Drift cells (in black) and coastal cells (in white)-Lagoinha do Leste beach

In the Lagoinha do Leste Beach there are two cells with a divergence center at LALT 3. Both demonstrating longshore transports northward and southward, starting around the middle of the beach (Figure 17) and finishing at the both endings of the beach. This pattern is similar to that obtained to coastal cells, and it bears similarities to the cell pattern described by May and Tanner (1973), where these three sub-sections represent the increasing of wave height and incidence angle.

The results for Matadeiro Beach shows three drift cells with a divergent center at MAT 2 and MAT 5 and a convergence center at MAT 3. The MAT 5 updrift matches the erosion evidence denoted by a distinct geomorphic setting, where most part of the beach is composed by rocky outcrops mixed with sand.

These characteristics differ to the general northward direction pulsatory coastal cells. The respective two orthogonals coincides roughly in space with the beach profiles MAT 3 and between MAT 1 and MAT 2 (table 6, figure 18).

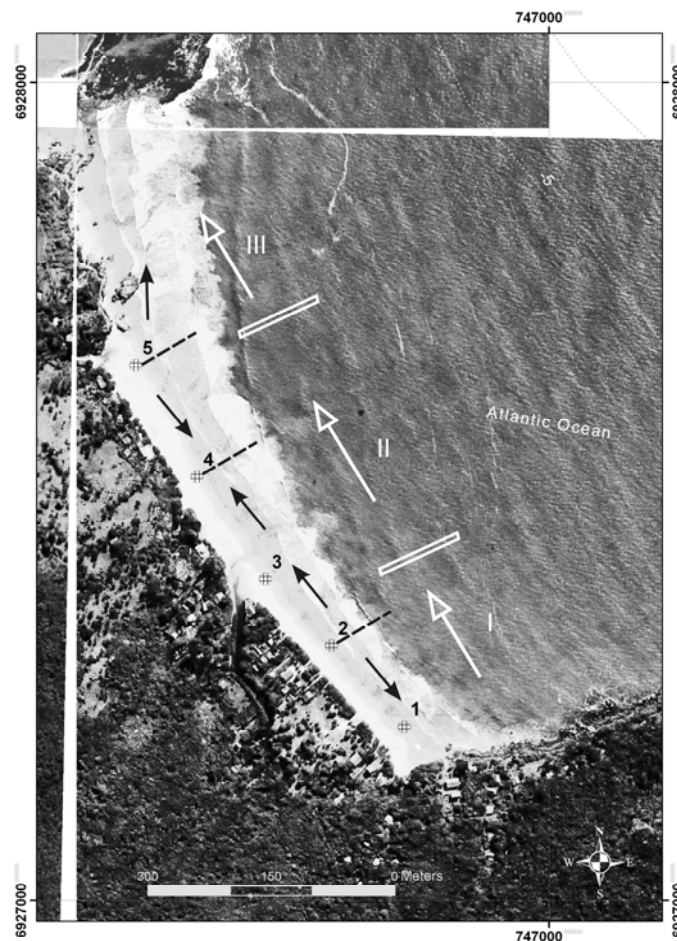


Figure 18- Drift cells (in black) and coastal cells (in white)-Matadeiro beach

Armação Beach presents five drift cells with two divergence centers at ARM 4 and ARM 7 and two convergence centers at ARM 3 and ARM 6. It demonstrates a very interesting alternation of cell mechanism., in respect of sequences of erosion, transport and deposition (figure 20).

The most sheltered area, at the south of the beach, has an alternation of deposition and erosion, which can suggests another cell occurrence not detected by this sampling. This boundaries of drift cells corresponds approximately with the same boundaries of coastal cells, but the nature of bounds differs significantly between them. The exceptions are ARM 3 and ARM 7, which shows the same type of coastal cells II and VI from tables 6 and 5, respectively. The direction of longshore current of coastal cells corresponds with the general data of samples ARM 2 to ARM 5 and ARM 6 to ARM 8, flowing southward and northward, respectively.

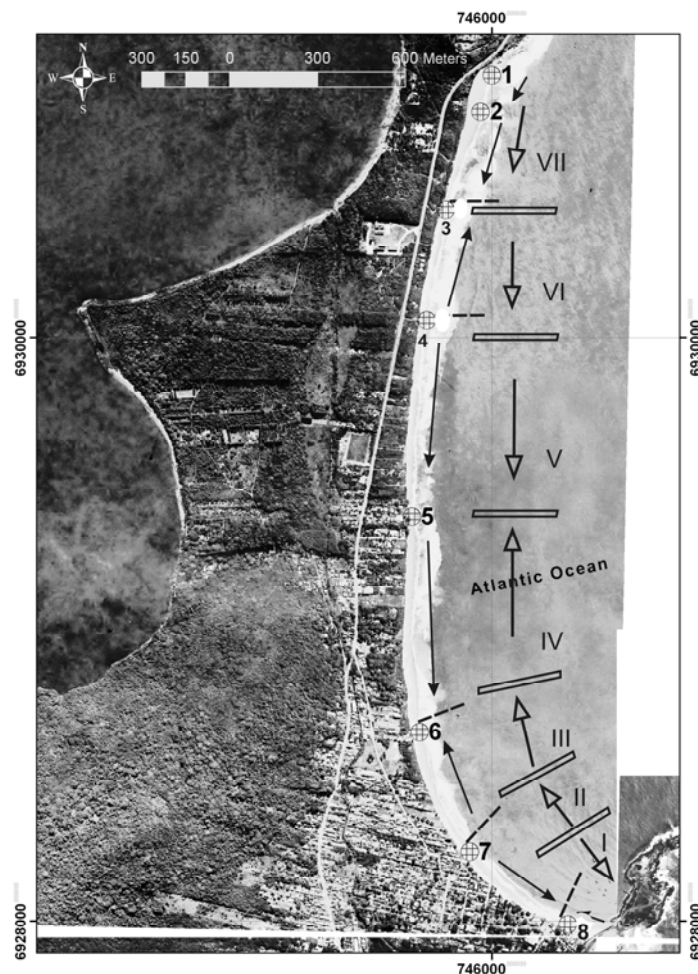


Figure 19: Drift cells (in black) and coastal cells (in white)-Armação beach

5. DISCUSSION

Figure 20 shows the 26 coastal cells identified by the two methods applied on this study: wave orthogonal and morpho-textural. Wave climate changes and the shoreface morphodynamic responses comprise temporal scales ranging between decades to centuries (Cowell & Thom, 1994); Stive *et al.*, 2002). The three tested wave conditions (south, southeast and east) of this study are based on , available bathymetric and wave data. Particularly the wave data obtained by wave buoy and from historical ship observational data (Hogben *et al.*, 1986), that was adapted in this region by Castilhos (1995) and Mazzer (2001), express the interdecadal conditions of wave climate, and this fact consequently reflects on coastal cells structure.

Along the shoreline the variation of wave characteristics (table 6) leads to shifting and switching in boundaries of cells, producing coastal cells structures as already pointed out by Carter (1988).

The variation of boundaries of coastal cells for each swell condition could reach 100 meters alongshore (average 30-50 meters). The Armação and Pantano do Sul beaches, both zeta bays, presented wider ranges, the maximum occurring in the middle of the beaches. According to Silvester (1974), beaches controlled by headlands search their equilibrium state according to the incidence of mean wave angle.

The boundaries present a wide range of differences for the two methods. The natural shifting at wave refraction-diffraction method is about an order of $10\text{-}10^2$ meters. The generalizations and effects of computational works, which can be synthesized by pixel size ancient (not real) bathymetric data, and restrictions referred by temporal wave data recording also contribute to imprecision and errors to the results. On the other hand the presence of cells showing low α value, related to just one type of swell denotes an ephemeral character of some coastal cells boundaries. An example of this is the coastal cell IV in Solidão Beach (figure 10, table 5) and VI in Pantano-Açores Beach (figure 11, table 5), both occurring in association with southeast swell. Carter (1988) mentioned the occurrence of ephemeral cells in straight coasts generally as pulsatory (transport) cells in early stages of development of beach cells structure. This ephemeral cells maybe related to more straight wave incidence due to shoreline orientation (resulting in low α values), as occurring in the west-southwest portion of Pantano-Açores beach.

Sediment bypassing appears to occur between Solidão and Pântano-Açores beaches, whose small headland can be characterized as a fixed cell boundary according to the classification used by Bray *et al.* (1995). However, between Armação and Matadeiro beaches the headland is a divergence point, and sediment bypassing is not likely to occur. The irregular bottom topography caused by the presence of rocky platform, can help to individualize these beaches, characterizing a fixed barrier according to Bray *et al.*, (1995).

Although both methods run very differently, many similarities were observed indicating to the importance of them in determining cell boundaries or flux direction. The majority of cell directions obtained by wave modeling for all beaches was confirmed by application of the morpho-textural method, demonstrating the relationship between P_L (wave longshore component) and the longshore gradient of sediment as pointed by Stapor and May (1983). Some examples are the divergence centers situated in the middle of Lagoinha do Leste and Pantano-Açores beaches, and the convergence center at the north stretch of Armação Beach detected by both methods, and that were reinforced by field evidence, such as those previously presented by Grê *et al.* (1993), Castilhos (1995) Mazzer (2004, 2005) and Oliveira (2004).

However, the most evident inconsistency between the methods appeared in the northern portion of Matadeiro Beach, where the results were contradictory. This different response seems to refer to other kind of processes acting along the beach beyond incident waves and longshore currents.

In general, the morpho-textural method results in much more number of cells, since it is more sensitive to many beach processes, not only those carried out by incident waves. For instance, those related to stationary and edge waves (gravity and infragravity), as well as those influenced by river mouths, inlets and man made structures (Souza & Suguio, 1998; Souza, 2007).

The effects of other processes do not necessarily make the cells structure defined by wave modeling inconsistent, but can denote small scale processes within the coastal structure. Some sequences of erosion, transport and deposition indicate the presence of the “a,b,c...” model of internal points of cells structure (May & Tanner, 1973). These internal points, observed at Pantano-Açores, Lagoinha do Leste and Armação were comprised into major cells determined by at least, two types of wave conditions. So they can be considered as drift cells either.

Nevertheless, even the cell boundaries determination shows some limitation as above mentioned. The methods allow to identify by the methods 26 coastal cells (figure 20).

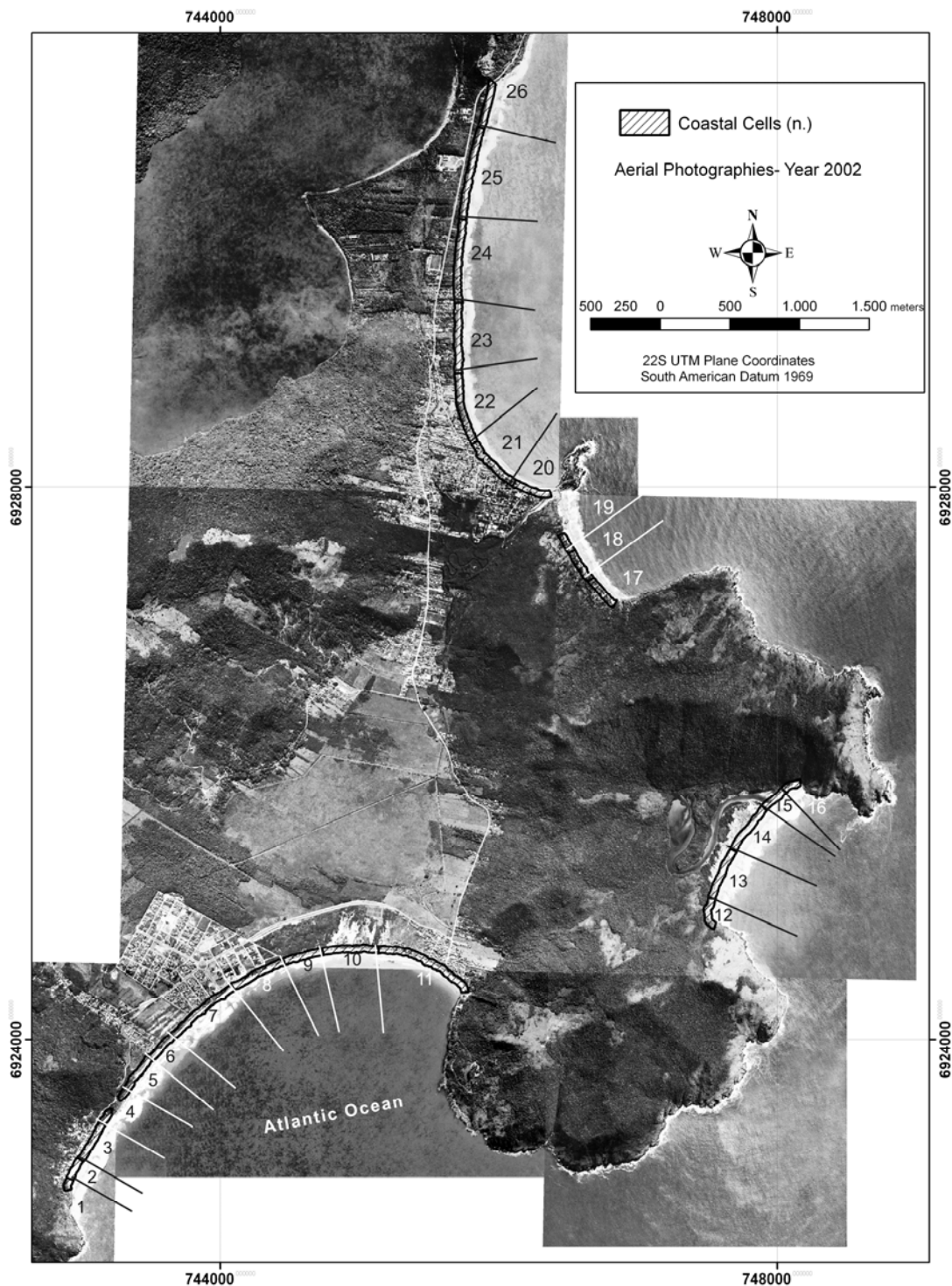


Figure 20: Coastal cells map of Southeast portion of Santa Catarina Island, Brazil)

6. FINAL REMARKS

The perspectives of cells can be determined on three scale levels linked with coastal process: (1) compartment, linked with fixed boundaries (geologic-geomorphologic structural and man-made features); (2) coastal cells, determined by longshore wave energy component, and (3) sub cells or internal points, represented by drift cells, and related to processes like: swell waves incidence, coastal currents, stationary waves, and perhaps, others unknown.

Both methods are useful and complementary themselves at the determination of coastal cells, both with some restrictions.

The use of the wave refraction-diffraction model, remodeled in a GIS environment, demonstrates a good potential for determining coastal cells and analyzing coastal structure. The spatial representation of the results improves the visual analysis and also provides potential tools for comparisons with other themes, such as beach morphodynamics, lithology, altimetry/bathymetry, human settlement, tourist facilities and so on, and allows the extension of work to a management perspective.

The drift cells patterns corresponds very well to the field observations, although surveys were restricted to some eventual conditions. The next step comprises of taking a systematic beach profiling during at least the summer and the winter, including all of the swell conditions, in order to obtain a better comparison between the drift cells pattern and the coastal cells structure.

In the long run, dividing the shoreline in cells represents a very useful tool for coastal and shoreline management policies, once it is possible to quantify the sediment budgets inside and delimitate bounds for specific action in a whole system responses. The objectives and specific issues of each shoreline and coastal management actions must be referred to an adequate scale level, and the use of more than one method is strongly suggested.

7. REFERENCES

- Araújo, C.E.S.; Franco, D.; Melo, E.& Pimenta, F. Wave Regime Characteristics of the Southern Brazilian Coast. In: COPEDEC VI - SIXTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COASTAL AND PORT ENGINEERING IN DEVELOPING COUNTRIES, 6, 2003, Colombo, Sri Lanka. **Proceedings...**, Colombo, Sri Lanka, p. 1- 15.
- Brunn, P. 1962. Sea level rise as a cause of shoreline erosion. **Journal of Waterways and Harbor** **88**: 117-130.
- Caruso Jr., F. 1993. Mapa Geológico da Ilha de Santa Catarina - Texto explicativo e mapa- escala: 1:100.000. **Notas Técnicas** 6: 1:28.
- Carter, R.G.W. 1988. **Coastal Environments: An introduction of Physical, Ecological and Cultural Systems**. London,, Academic press, 617p.
- Castilhos, J. A. 1995. **Estudo Evolutivo, Sedimentológico e Morfodinâmico da Planície Costeira e Praia da Armação – Ilha de Santa Catarina, SC**. Florianópolis 134 p. Dissertação de Mestrado em Geografia, Curso de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina.
- CERC- Coastal Engineering Research Center 1992. Using morphology to determine net littoral drift directions in complex systems. **Coastal Engineering Technical Note** **30**:1-8
- CERC- Coastal Engineering Research Center. 1984. **Manual of Coastal Engineering**. Vol. 1. US. Army Corps of Engineering. Xxx p.
- Cowell, P.J.;Stive, M.J.F.;Niedoroda, A.W.;de vriend, H.J.;Swift, D.J.P.Kaminsky; Capobianco M. 2003. The Coastal Tract (Part 1): A Conceptual Approach Aggregated Modeling of Low order Coastal Change. **Journal of Coastal Research** vol. 4 n°19, pp. 812-827.
- Cowell, P.J. & Thom, B.G. 1997. Morphodynamics of Coastal Evolution. In: Carter, R.W.W.. & Woodroffe, C.D. (eds.). **Coastal evolution: late quaternary shoreline morphodynamics**, Cambridge, University Press, 539 p.

- Cruz, O. 1996. **A Ilha de Santa Catarina e o continente próximo: um estudo de geomorfologia costeira**. Florianópolis, Editora da UFSC, 276p.
- Douglas, D.; Peucker, T. 1973. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. **The Canadian Cartographer** 10(2): 112-122.
- Folk, R.L., Ward W.C. 1957. Brazos River Bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, vol.27:1:3-26.
- Gré, J.C.R.; Castilho, J.A & Horn Filho, N.O. 1997. Quaternary Deposits of the Pântano do Sul Beach, Santa Catarina Island, Brazil. In: **ATAS DO COLÓQUIO FRANCO-BRASILEIRO DE MANEJO COSTEIRO DE ILHA DE SANTA CATARINA**, Florianópolis, Ed. da UFSC. p. 211-218.
- Hansom, J.D. 2001. Coastal sensitivity to environmental change a view from the beach. **Catena** 42: 291-305.
- Hogben, N.; Dacunha, N. M. C & Oliver, G. F. 1986. **Global Wave Statistics**. New York, Chapman and Hall, 661 p.
- Inman, D.L., 1971. Nearshore processes. McGraw-Hill **Encyclopedia of Science and Technology**, v. 9, p. 26-33.
- Inman, D.L. 2003. Littoral Cells. In: Schwartz, M. (ed.) **Encyclopedia of Coastal Science**. The Earth Science Encyclopedia on line. 1-20. on line: <http://repositories.cdlib.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1037&context=sio>
- IPIUF- Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis (SC). 2002. **Levantamento Aerofotogramétrico da Ilha de Santa Catarina**. Ortofotocartas. Escala 1:2.000.
- IPIUF- Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis(SC). 1994.: **Levantamento Aerofotogramétrico - Aglomerado Urbano de Florianópolis**. Foto aérea. Florianópolis, escala: 1.25.000.
- IPIUF- Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis. 1979. (SC): **Levantamento Aerofotogramétrico-Aglomerado Urbano de Florianópolis**. Folha SG. 22-Z-D-1-SO-C. Florianópolis, Mapa Topográfico, escala: 1.10.000.
- Komar, P. D. 1983. **Handbook of Coastal Processes and Erosion**. Florida, CRC press, 305p.

- Komar PD. 1976. **Beach processes and sedimentation**. Prentice Hall, New Jersey, 429p.
- Hogben, N.; Dacunha, N. M. C & Oliver, G. F. 1986. **Global Wave Statistics**. New York, Chapman and Hall, 661 p.
- May, J.P., Tanner, W.F. 1973. **The littoral power gradient and shoreline changes**. In: Coates, D.R. (Ed.), Coastal Geomorphology, Geomorphology Symposium, 1972. State University of New York, Binghamton. 400 pp.
- Mazzer, A. M. . Analise da Vulnerabilidade Costeira com uso de Sistema De Informação Geográfica: Uma aplicação ao trecho litorâneo sul da Ilha de Santa Catarina. In: v Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2004, Santa Maria-RS. Anais do(CD ROOM).
- Mazzer, A. M. 2005. Aplicação de Taxas de Variação da Linha de Costa na Praia da Armação. In: X CONGRESSO DE ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO-ABEQUA. **Anais...** Guarapari, Espirito Santo, CD-ROM.
- Mazzer, A M. 2004.. Analise da Vulnerabilidade Costeira com uso de Sistema de Informação Geográfica: Uma aplicação ao trecho litorâneo sul da Ilha de Santa Catarina.. In: V SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA. **Anais...** Santa Maria, Brazil. CD-ROM.
- Miott, G. 2002. **Efeito do Estado de Equilíbrio em Planta na Sedimentologia de Praias desenvolvidas entre Promontórios**. Porto Alegre Dissertação de Mestrado em Geociências. Programa de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Muehe, D. 2001. Critérios Morfodinâmicos para o Estabelecimento de Limites da Orla Costeira para fins de Gerenciamento. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Vol.2, nº 1 (2001) 35-44.
- Nimer, E. 1979. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro, IBGE, 421 p.
- Oliveira, U.R. 2004. **Comportamento morfodinâmico e granulometria do arco praial Pântano do Sul -Açores, Ilha de Santa Catarina,SC, Brasil**. Florianópolis, 102 p. Dissertação de Mestrado em Geografia, Curso de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Porto Filho, E. 1993. **Sedimentometria e algumas considerações sobre a biogeoquímica dos sedimentos de fundo da Lagoa da Conceição - Ilha de Santa Catarina**. Florianópolis, 343p. Dissertação de Mestrado em Geografia, Curso de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina.

- Rosa, O.R., Herrman, M.L. 1986. Geomorfologia. In: Gabinete de Planejamento Estado de Santa Catarina. **Atlas de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, p. 31-32.
- Souza (2007) Determination of net shore-drift cells based on textural and morphological gradations along foreshore of sandy beaches. **Journal of Coastal Research SI: 50, (in press)**
- Souza, C.R.G. 1998. Método morfo-sedimentar para a identificação de células de deriva litorânea. **Geosul 14 (27):243-247**
- Souza, C.R.G. 1997. **As células de deriva litorânea e a erosão nas praias do Estado de São Paulo**. São Paulo, 184 p. Tese de Doutorado em Geologia, Instituto Geológico, Universidade Federal de São Paulo.
- Stapor, F. W. & May, J. P. 1983. The cellular nature of littoral drift along the northeast Florida Coast. **Marine Geology**, 51, 217–237.
- Stapor, F. W. 1971. Sediment budgets on a compartmented low-to-moderate energy coast in northwest Florida. **Marine Geology**, 10, p:1-7.
- Stive, J.F.;Aarninkhof, H. L.; Hanson, H; Larson, M.; Winjnberg, K.M.; Nicholls, R.J. & Capobianco, M. 2002. Variability of shore and shoreline evolution. **Coastal Engineering 47 :211-235**.
- Shuisky,B. Y. & Shuwartz, M.L.;1983. Basic Principles of Sediment Budget Study in the Coastal Zone. **Shore and Beach**. January, p. 34-42.
- Suguoio K. 1973. **Introdução a sedimentologia**. São Paulo: T. A. Queiroz, 317 p.
- Taggart, B.E. & Schwartz, M.L., 1988. Net shore-drift direction determination: a systematic approach. **Journal of Shoreline Management**, 3(4), 285-309.
- Woodroffe, C.D., 2003. **Coasts, form, process and evolution**. Cambridge University Press, 623 p.
- Zanini, L.F.P.; Branco, P.M.; Camozzato, E.& Ramgrab, G.E. (orgs.) 1997. **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Folhas Florianópolis/Lagoa, SG. 22-Z-D-V/VI, Estado de Santa Catarina, escala 1:100.000**. Brasília, DNPM/CPRM : 223 p.

CAPÍTULO 4

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ANÁLISE DE
VULNERABILIDADE E RISCO A EROSÃO COSTEIRA NO
SUDESTE DA ILHA DE SANTA CATARINA, BRASIL**

RESUMO

A vulnerabilidade costeira aos processos erosivos está associada a diversos processos costeiros. Uma ampla gama de métodos é utilizada para analisar os seus níveis, em geral utilizando parâmetros geomorfológicos, taxas de variação da linha de costa, variações do nível do mar, altura de ondas, etc. O presente trabalho propõe um método de análise de vulnerabilidade à erosão costeira para um trecho do sudeste da Ilha de Santa Catarina (SC), Brasil, utilizando como ferramenta de análise a compartimentação da linha de costa em células costeiras e modelagem espacial em sistema de informação geográfica. O método baseou-se em dois principais pressupostos: (1) as células costeiras são unidades homogêneas de balanço sedimentar; (2) os processos costeiros que atuam na linha de costa operam em diversas escalas temporais e, assim, podem produzir diferentes respostas quanto à vulnerabilidade costeira. A partir de oito variáveis ligadas à morfodinâmica costeira e duas taxas de variação da linha de costa em escalas interanual e interdecadal foram estabelecido índices de vulnerabilidade costeira. Efetuou-se análise de risco das edificações situadas na orla em relação a um cenário de elevação do nível do mar. Os resultados demonstraram que a inclinação da face litorânea e altura de ondas são variáveis importantes em ambas as escalas de análise. A aplicação demonstrou que mesmo áreas de baixa vulnerabilidade podem apresentar risco bastante elevado devido à forte presença de edificações na orla. A distinção das análises entre escalas e a previsão de risco incluindo a elevação do nível do mar são importantes nos subsídios às ações de gerenciamento costeiro.

Palavras-chave: Vulnerabilidade costeira, Erosão Costeira, Risco Costeiro, Orla Marítima, Ilha de Santa Catarina.

ABSTRACT

Coastal vulnerability to erosion is associated to several coastal processes. A wide range of methods is used in order to determinate its levels along the shoreline. This paper presents a method of analyzing the vulnerability in a coastal stretch at the southeastern shore of the Santa Catarina Island (Santa Catarina State, Brazil), through the use of coastal cells and a spatial modeling in a Geographic Information System. The method is based on two presuppositions as follows: (1) coastal cells are homogeneous units of sedimentary budget; (2) coastal processes occur at several spatial and temporal scales, and may lead to different shoreline responses. Through eight variables linked to coastal morphodynamic processes combined by linear aggregation with two shoreline changes rates, in interdecadal and interannual scales, a coastal vulnerability index was established. Subsequently, a risk assessment performed in relation to human buildings placed along the shoreline and the sea-level rise predicted to 2090. Results demonstrated that the most important variables were the shoreface slope and the wave height in relation to both scales of shoreline changing rates. In general, even areas under low vulnerability may present high levels of risk due to intense human occupation at the shoreline. The distinction between temporal scales and the risk assessment to sea-level rise scenarios is important to support different coastal management actions.

Keywords: Coastal vulnerability; Coastal erosion, Aseashore unit; Coastal risks; Santa Catarina Islands.

1. INTRODUÇÃO

A orla marítima representa uma unidade geográfica especialmente vulnerável a fenômenos naturais ligados à dinâmica costeira, denotados por processos de erosão e acreção praial, inundação costeira, incidência de ventos intensos, marés meteorológicas entre outros. No entanto, diante da complexa interação dessas variáveis, a orla configura-se com distintas características ao longo da costa, tendo sua expressão dada por feições geomórficas costeiras, denotadas por diferentes tipos de praias, dunas, lagunas e desembocaduras. Tal distinção e complexidade remetem à ocorrência de trechos costeiros que apresentam diferentes capacidades de tamponar impactos advindos de fenômenos naturais e ao uso e ocupação antrópica, frente à erosão costeira.

A vulnerabilidade costeira representa um arranjo de atributos que caracterizam maior fragilidade, fraqueza ou passividade para com a incidência de um evento / fenômeno de alta energia ou de potencial destrutivo, Dal Cin & Simeoni (1994), Klein & Nicholls (1999), Hennecke & Cowell (2000), Cobum (2001), no caso erosão costeira. Risco costeiro foi definido por Souza & Suguio (2003) o grau de perda ou prejuízo dado a pessoas ou a propriedades devido a um fenômeno geológico.

Grande parte dos trabalhos sobre vulnerabilidade costeira é realizada através da modelagem de suas variáveis, sendo que, para tanto, o Sistema de Informações Geográficas é utilizado na maior parte dos trabalhos contemporâneos (COOPER & McLAUGHLIN, 1998). No entanto, ocorre grande diferença em relação às variáveis a serem utilizadas, sendo esse um fator diretamente dependente da escala de trabalho, do fenômeno em questão (erosão costeira, inundação costeira, elevação do nível do mar, entre outros) e das características de cada local/região estudada. Em muitos casos foram efetuadas determinações de variáveis, bem como parametrizações das mesmas através de métodos já estabelecidos na literatura Gornitz *et al*, 1992) (Dal Cin & Simeoni, 1994), tais como: determinação de variação de linha de costa por fotos aéreas, cálculos de taxas de transporte sedimentar, entre outros. Tal fato reflete a necessidade de se obter tais valores para análises desta natureza. No entanto, muitas vezes, é difícil a disponibilidade de alguns tipos de dados para certas localidades/regiões.

Nicholls (1995) realizou extensa revisão sobre estudos de vulnerabilidade costeira frente a elevação do nível do mar realizados em 22 países,

estimando cerca de 180 milhões de pessoas afetadas por este fenômeno, além da perda de 150.000Km² de terra emersa. A relação ente elevação do nível do mar e erosão costeira é constatada por diversos autores destacando inicialmente o trabalho de Brunn (1962).

No Brasil, a orla marítima tem merecido atenção especial quanto ao regime de uso e ocupação, o qual é regulamentado pelo Decreto nº 5.300/04 e MMA (2006), que estabelece um conjunto de ações que constituem o chamado “Projeto Orla”. Neste projeto, são mencionados quais são os aspectos morfodinâmicos, características de transporte de sedimentos e, sobretudo, quais dados relativos à erosão costeira que devem ser considerados para o planejamento e intervenções antrópicas na orla. No entanto, mesmo existindo um arcabouço legal que considere a importância de aspectos geológicos costeiros, a aplicação dos princípios técnicos pode não ser efetiva no sentido de abranger fenômenos de erosão costeira no planejamento.

Portanto, faz-se mister levantar a importância da inserção dos conceitos de balanço sedimentar e escalas espaço-temporais de processos costeiros nas ações de planejamento e gerenciamento costeiro, sobretudo, naquelas que remetem à aplicação do “Projeto Orla” nos municípios costeiros, as quais estão relacionadas as décadas e séculos.

No presente trabalho buscou-se desenvolver um método que permita analisar os níveis de vulnerabilidade costeira quanto à erosão e risco de ocupação, fundamentado em uma análise que envolve duas escalas temporais e a relação espacial dos conceitos de orla marítima e células costeiras.

Sua aplicação-piloto abrangeu cinco praias arenosas localizadas no sul da Ilha de Santa Catarina, município de Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. Esse trecho possui três compartimentos costeiros (MAZZER *et al.* submetido) que apesar de estarem associados ao mesmo sistema deposicional, exibem características morfodinâmicas distintas. Procedeu-se a uma comparação entre variáveis relacionadas à linha de costa (BUSH *et al.* 1996), sob a perspectiva da variação da linha de costa em escalas interanual e interdecadal, e dentro do contexto do balanço sedimentar.

2. ÁREA DE ESTUDO

A Ilha de Santa Catarina possui 431 km² de área total, apresentando formato alongado, com orientação geral NE-SW e distando apenas cerca de 600 metros do continente (Figura 1).

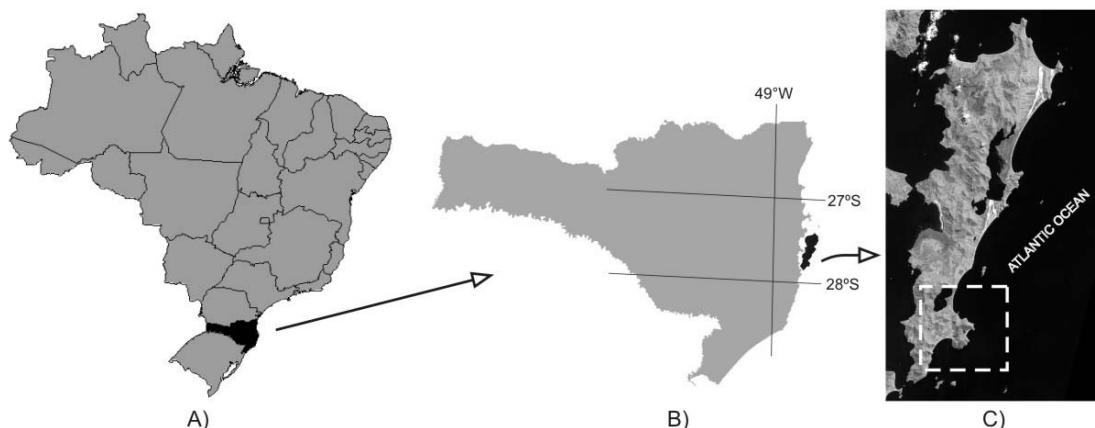


Figura 1: Contexto espacial da área de estudo: (A) Brasil, (B) Estado de Santa Catarina, (C) Ilha de Santa Catarina, com destaque para a área de estudo (quadro tracejado em braço).

No contexto geomorfológico, a região se enquadra no Litoral de Escarpas Cristalinas (SILVEIRA, 1964), o qual se caracteriza pela presença de serras costeiras, ocasionando um relevo com maiores amplitudes altimétricas, onde se denotam feições de pontões, morros alinhados e isolados, vales e sulcos estruturais, promontórios rochosos, além da configuração litorânea com a presença de enseadas, baías, penínsulas, sacos e ilhas costeiras.

Em termos geotectônicos, a região está inscrita na Plataforma de Florianópolis, que consiste no alto estrutural do escudo catarinense, conforme Caruso Jr. (1993). Na Ilha de Santa Catarina, essa região está representada por rochas de embasamento cristalino, na maior parte granitóides associadas ao evento termotectônico do Período Cambriano (Ciclo Brasileiro), Ocorrem também rochas efusivas básicas, na forma de diques intrusivos de diabásio, de idades correspondentes aos Períodos Jurássico e Cretáceo (ZANINI *et al.* 1992).

A planície costeira é constituída por depósitos sedimentares relacionados a dois principais sistemas deposicionais: os sistemas de Leques Aluviais e do tipo

Laguna-Barreira. Este último, de especial importância para o presente trabalho, é caracterizado por depósitos sedimentares geneticamente associados aos processos costeiros e eustáticos, e representado por depósitos praias, eólicos, lagunares, de mangue e paludial (Caruso Jr., 1993), configurando feições de barreiras arenosas, lagunas, lagoas costeiras, dunas ativas e inativas, planícies de cristas praias e áreas alagadiças associadas a manguezais, apicuns, marismas e canais de maré (Herrman & Rosa, 1986).

Na Plataforma Continental adjacente, a quebra para o talude continental ocorre entre 140 e 170 metros de profundidade. A isóbata de 30 metros situa-se a aproximadamente 10 km da linha de costa, definindo um gradiente geral para a área de estudo de aproximadamente 0.17° . Este gradiente é maior no trecho leste e menor no trecho sul da área de estudo

O clima do litoral do Estado de Santa Catarina caracteriza-se, por sua exposição às influências do clima temperado meridional, subtropical e tropical, caracterizando uma zona de transição climática (Nimer, 1979). Dados climáticos referentes à Ilha de Santa Catarina indicam temperatura média anual de $21,5^\circ$ e precipitação média anual de 1492 mm. Os ventos apresentam velocidade média de 3,31 m/s, sendo os de direção norte e nordeste os mais frequentes (cerca de 47 %), e os de quadrante sul os mais intensos (cerca de 32,5%), alcançando até 6,50 m/s. (PORTO F°, 1993).

Tais características climáticas ocorrem pela influência de quatro principais sistemas atmosféricos: Baixa Pressão Móvel Polar, Anticiclone do Atlântico Sul, Anticiclone do Pacífico Sul e Centro de Baixa Pressão do “Chaco” (BIGARELLA *et al.*, 1994). Tais sistemas associam-se aos principais eventos meteorológicos, os quais apresentam influência direta nos processos morfodinâmicos da linha de costa, na forma da geração de ondas marítimas e de marés meteorológicas. Essa influência se dá através de três mecanismos: sistemas frontais, ciclones extra tropicais e atuação semi-permanente do sistema de alta pressão, denominado de Anticiclone do Oceano Atlântico Sul. Os dois primeiros mecanismos apresentam amplos gradientes de pressão atmosférica, gerando conseqüentemente ventos de forte intensidade do quadrante sul, enquanto o anticiclone ocorre em caráter semi-permanente, representando 80% das ocorrências na zona costeira catarinense ao longo do ano (PORTO F°, 1993).

As informações sobre o clima de ondas na região foram obtidas a partir de uma série histórica de observações realizadas em embarcações (HOGBEN, 1987), e

com base em dois anos de dados médios obtidos por ondógrafo tipo “Wave Ryder” disponível em Araújo *et al.* (2003) e sumarizados por Mazzer *et al.* (em preparação), tabela 1:

Tabela 1: Dados sobre os principais tipos de ondas ocorrentes na região do Litoral de Santa Catarina.

Denominação	Direção em águas profundas (θ) ¹	Período de Pico (T_p) ¹	Tamanho significativo de onda (H_s) ¹	Fr * (%) ²	Frequência (%) por intervalo de altura de onda				
					0-1m	1-2m	2-3m	3-4m	4-5m
Ondulação de Sul	162°	11,4 s	1,25 a 2,0 m	11	13,8	38,0	27,8	12,7	4,8
Ondulação de Sudeste	146°	14,2 s	1,50 a 2,0 m	16	19,4	40,5	24,6	9,9	3,5
Ondulação de Leste	92°	8,5 s	0,75 e 1,75m	10	22,2	42,0	23,0	8,5	>3,0
Vagas de nordeste	27°	4,5 s	> 0,75m	20,5	23,9	43,2	21,8	7,5	>3,0
Vagas de Sul	188°	7,7s	> 1,0m	10	-	-	-	-	-

* Frequência total

Fontes: ¹ Araújo *et. al.* (2003); ² Hogben (1987).

O presente estudo abrange cinco praias localizadas no sudeste da Ilha de Santa Catarina, que totalizam 9,2 quilômetros de linha de costa arenosa (figura 2), as quais serão brevemente descritas a seguir:

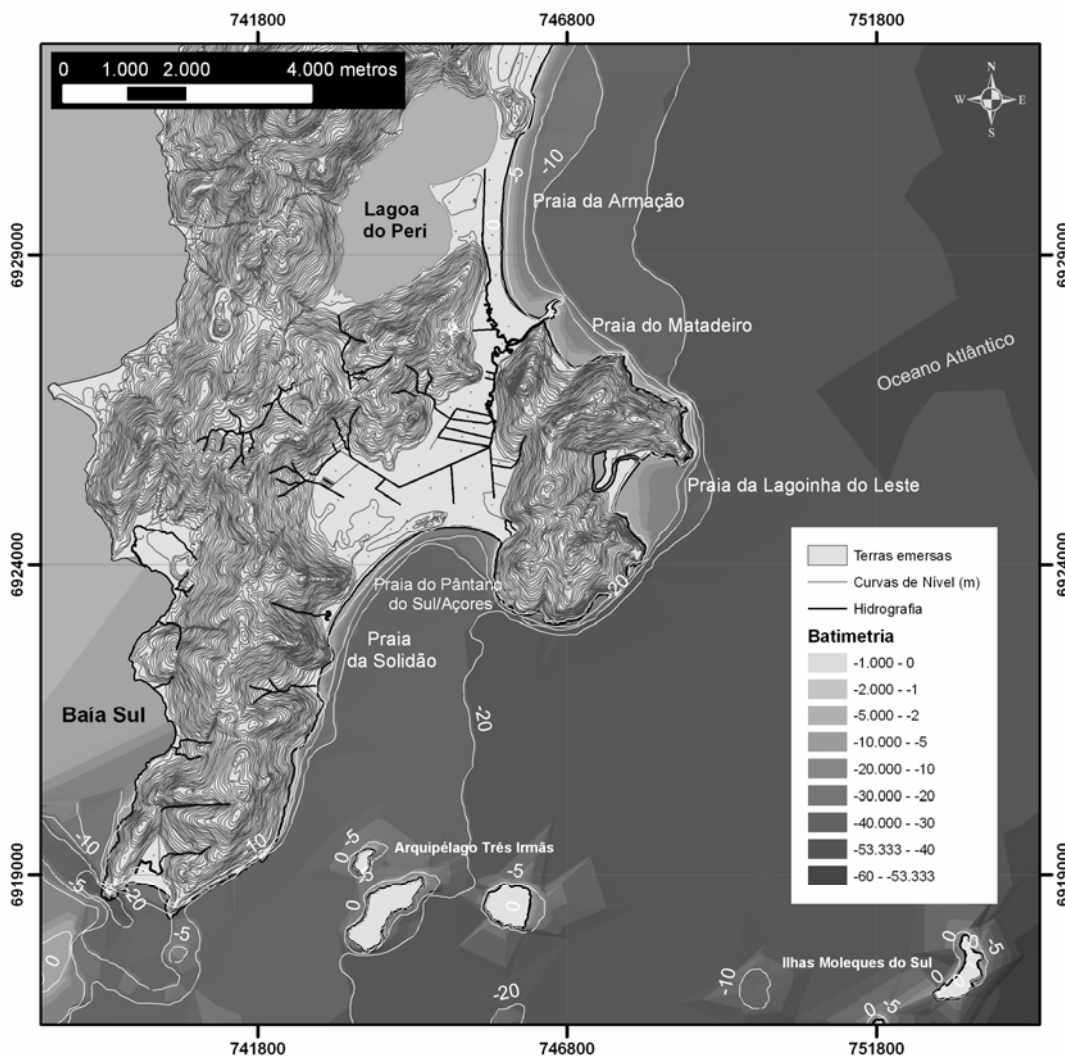


Figura 2: Localização e algumas características fisiográficas da área de estudo.

Praia da Solidão

A Praia da Solidão é uma típica praia de bolso, que se estende por 1.345 metros, em orientação NE-SW. Seu estado morfodinâmico é do tipo dissipativo, apresentando um grau médio de exposição às ondas e um nível alto de ocupação antrópica.

Praia dos Açores Pântano do Sul

As praias do Pântano do Sul e dos Açores são denominações para um mesmo arco praial de orientação ENE-WSW com um total de cerca de 2.100 metros de extensão. Seu estágio morfodinâmico é do tipo dissipativo. Configura-se como uma enseada do tipo baía em espiral (Mazzer, 2004), a qual consiste de um arco côncavo com intensificação da curvatura da linha de costa na extremidade leste, onde se

desenvolvem distintos graus de exposição às ondulações de leste, sudeste e sul. Sua ocupação. Possui forte ocupação antrópica no extremo leste, localidade de Pântano do Sul, e na porção central, localidade denominada de Praia dos Açores.

Praia da Lagoinha do Leste

A praia da Lagoinha do Leste possui uma linha de costa com orientação NNE-SSW, com cerca de 1200 metros de extensão. Apresenta estágios dissipativos e intermediários, estando submetida a um regime de alta energia. É uma das praias mais expostas às ondulações da Ilha de Santa Catarina. Situa-se encravada num promontório rochoso, apresentando-se praticamente ausente ocupação antrópica permanente, sendo considerado uma unidade de conservação (Parque Municipal da Lagoinha do Leste).

Praia do Matadeiro

A praia do Matadeiro é guarnecida por promontórios rochosos, apresentando no seu extremo norte a desembocadura do Rio do Peri. Sua linha de costa está orientada no sentido NW-SE, com extensão de 1.200 m. Apresenta perfil praiial dissipativo e condições semi-abrigadas, estando protegida das ondulações do quadrante sul. Contudo encontra-se exposta às ondulações de leste e às vagas de nordeste. A ocupação na orla pode ser considerada de grau médio a alto (figura 2).

Praia da Armação

A praia da Armação é limitada pelo promontório rochoso do morro das Pedras ao norte, e pelo tómbolo formado entre a praia e a Ilha das Campanhas, na porção sul, formando uma enseada (embaiamento) em espiral. Estende-se por cerca de 3.500 metros, orientada no sentido N-S, e apresentando perfil refletivo ao norte passando a intermediário na porção central, e a dissipativo ao sul (CASTILHOS, 1995). Consiste numa praia exposta às ondulações dos quadrantes leste e sul e apresenta um grau de ocupação crescente no sentido norte-sul.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Pressupostos metodológicos

I- A dinâmica da linha de costa relaciona-se com agentes costeiros que variam ao longo de dias, semanas, meses, estações, anos, décadas, séculos e milênios (CARTER, 1988; CAMFIELD & MORANG, 1996; STIVE *et al*, 2003). Tais agentes, como ondas,

elevação do nível do mar, marés e ventos determinam, em estreita combinação com a quantidade de sedimentos, a configuração atual da linha de costa e planície costeira (COWELL & THOM, 1995). A quantidade de sedimentos e seu balanço nos sistemas costeiros, além de ocorrerem em diversas escalas temporais, constituem-se em uma das principais causas de erosão costeira (SOUZA & SUGUIO, 2003; MUEHE, 2006).

Nesse contexto, o presente trabalho adota o conceito de células costeiras como unidade básica de análise de vulnerabilidade à erosão, devido ao fato de representar limites de subsistemas do balanço sedimentar costeiro (GRIGG, 1987; CARTER, 1988; BRAY *et al*, 1995; COOPER *et al* 2001). A definição espacial das células costeiras abrange considerável amplitude de escalas temporais (MAZZER *et al*, em preparação), bem como informações relativas à escala, ações e alterações antrópicas, e gestão costeira.

II- A unidade geográfica orla marítima é definida pelo MMA (2006) como “unidade geográfica incluída na zona costeira, delimitada pela faixa de interface entre terra firme e o mar, caracterizada pelo equilíbrio dinâmico onde interagem processos geológicos e oceanográficos, entre outros” (MUEHE, 2001). Seu significado em Ferreira (2004) remete a bordo, rebordo, margem, faixa (...), o que permite uma abertura quanto aos critérios de enquadramento. Talvez por isso o conceito de orla não seja bem definido, nem muito usual em trabalhos de geologia; no entanto, encontra maior utilização no âmbito da gestão costeira. A delimitação da orla marítima, conforme Brasil (2004) inclui a faixa terrestre de 50 metros a partir da linha de vegetação para as áreas urbanas consolidadas, e 200 metros para urbanização moderada ou inexistente; e, na faixa marítima, a isóbata de 10 metros, considerada a profundidade de fechamento média para as praias brasileiras (MUEHE, 2001). Portanto, a feição de linha de costa diretamente analisada neste trabalho estende-se 50 metros para a faixa retroterrestre, adotando o limite legal supracitado, que combinado com as segmentações longitudinais à linha de costa definidas pelas células costeiras (MAZZER *et. al*, em preparação) formam as unidades geográficas para análise de vulnerabilidade costeira, ora denominadas de Unidades de Orla Marítima (OM).

III- O amplo espectro espaço temporal de processos morfodinâmicos da linha de costa necessita ser inserido na análise de vulnerabilidade costeira, conforme recomendado por Pernetta & Milliman (1995), com o intuito de determinar quantitativamente as escalas espaço-temporais de: balanço sedimentar, interação de processos costeiros, eventos episódicos, impactos diretos, impactos indiretos e paleocenários, como tarefa final à

determinação de cenários futuros. Dessa forma, deve-se procurar entender a contribuição efetiva de cada processo em relação a sua escala de abrangência no âmbito da erosão costeira, e representá-los a partir de diferentes pesos na análise final de vulnerabilidade costeira de cada unidade geográfica da orla marítima.

3.2 Base de dados

Os dados e informações foram modelados e organizados em um sistema de informação geográfica com o uso do programa *Arc Info 9.1 Desktop* e seu elenco de ferramentas de digitalização, manipulação, conversão, edição, análise e modelagem espacial disponível no módulo *Arc Toolbox* e suas extensões. O limite espacial contempla o sudeste da ilha de Santa Catarina – abrangendo da Praia da Armação até a praia da Solidão e adjacências – estão separados em três categorias: (1) Banco de dados; (2) Análise Espacial; e (3) Revisão e Espacialização da bibliografia.

(1) Banco de dados espacial formado por base altimétrica digital, com curvas de nível no intervalo de 5 metros, em arquivos de polilinhas em escala 1:10.000 (NASA, 2001), malha de pontos cotados via levantamento planialtimétrico em arquivo vetorial em escala 1:2.000 (IPUF, 2002), e batimetria proveniente de cartas náuticas n° 1902 e 1904, da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (escala 1:49.927), as quais foram escaneadas e georeferenciadas, e posteriormente digitalizadas no modo *on screen* nas extensões *Editing* e *Advanced Editing* do programa *Arc Info 9.1*, constituindo arquivos vetoriais de pontos (para os pontos batimétricos) e polilinhas (para isóbatas). Além desses, compõem a base cartográfica um conjunto de aerofotos dos anos de 1938, 1978, 1994 e 1998 (escalas entre 1:30.000 a 1:8.000) e um conjunto de ortofotos do ano de 2002, escala 1:2.000 (IPUF, 2002), previamente organizados em Mazzer & Dillenburg (submetido).

(2) Dados e informações derivados de geoprocessamento em ambiente de sistema de informação geográfica de dados da base cartográfica: (a) Modelo numérico de terreno (MNT) utilizando o modelo de triangulação irregular e o TOPOGRID, abrangendo dados de cartografia e batimetria supracitados, os quais permitiram obter dados contínuos das cotas da superfície; (b) extração de perfis bidimensionais da batimetria; (c) decomposição e equacionamento de dados de altura e direção de ondas, a

partir de modelagem de refração-difração de ondas realizadas no programa MIKE 21 em Mazzer *et al.* (submetido); (d) fotointerpretação de feições litorâneas erosivas e ocupações antrópicas nos conjuntos de aerofotos e ortofotos, bem como avaliação das mesmas em inspeção de campo, com a ajuda de GPS Garmin 12, trena e clinômetro para caracterizar as feições, as quais foram posteriormente digitalizadas em arquivos vetoriais. (e) análise de distância da ocupação antrópica, a partir do comando *minimum distance* do *Arc Toolbox*; (f) orientação da linha de costa, determinação do ângulo azimutal de cada célula costeira e sua exposição às quatro principais direções de ondulação.

(3) A revisão da bibliografia disponível para a área incluiu conteúdos relativos a processos erosivos e estágio morfodinâmico (GRÊ *et al.*, 1993; CASTILHOS, 1995; OLIVEIRA, 2007); granulometria e perfil praial (MIOTT, 2004; OLIVEIRA, 2005), taxas de variação em escala interdecadal e interanual (MAZZER & DILLENBURG, submetido), clima de ondas (HOGBEN *et al.*, 1986; ARAÚJO *et al.*, 2003), além de informações indiretas, as quais mesmo não sendo especializadas, contribuíram para a análise e validação da modelação dos dados.

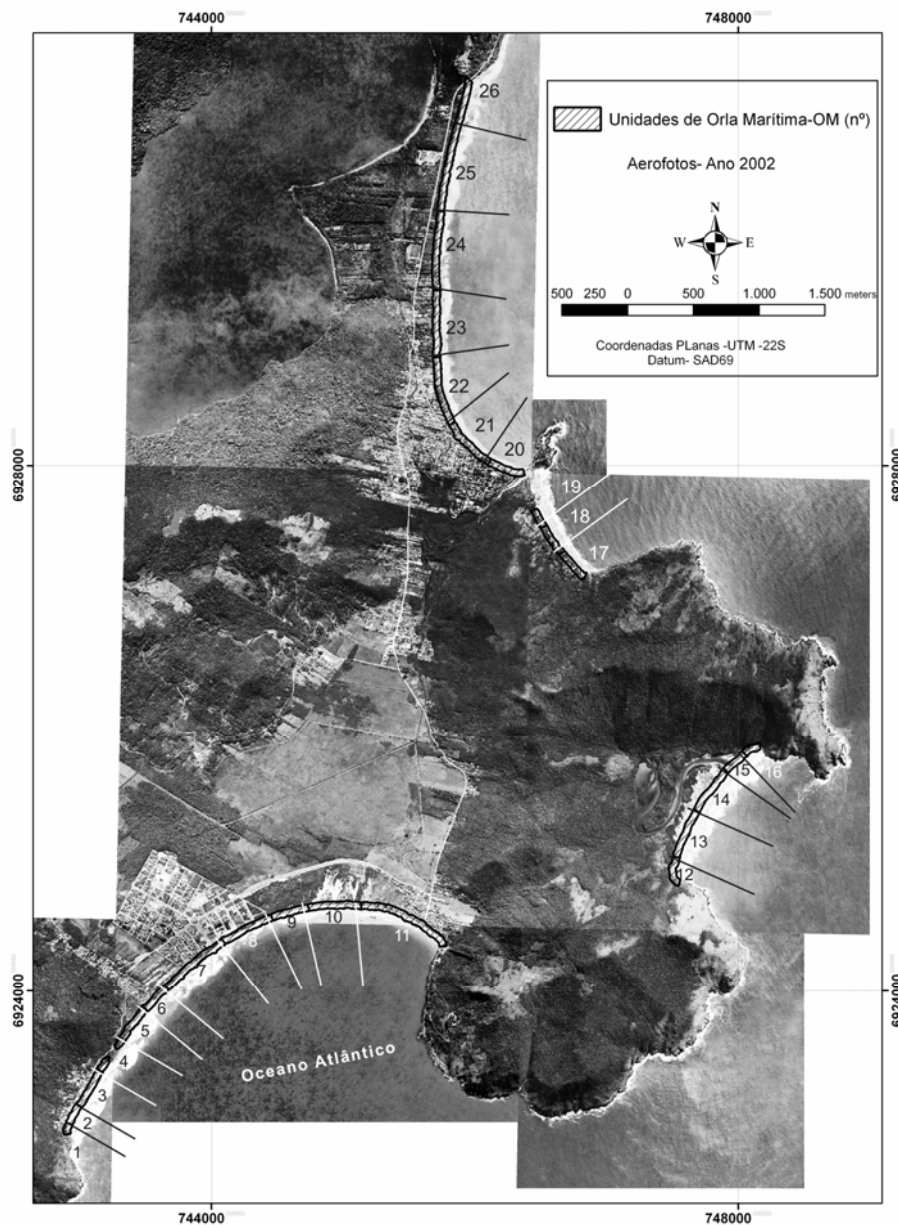


Figura 3: Unidade de Orla Marítima (OM), com limites correspondentes às células costeiras

3.3 Variáveis utilizadas

A escolha das dez variáveis no presente trabalho pautou-se pelo foco em processos relacionados à morfodinâmica da linha de costa, sendo que a única variável distinta foi a distância da ocupação antrópica à linha de vegetação, que compôs a variável de risco.

A escala local de análise contribuiu para selecionar apenas aquelas variáveis que possuísem relação mais direta com a dinâmica da linha de costa, a fim de relacioná-las com o objeto do trabalho: a orla marítima.

Foram escolhidas 10 variáveis ligadas a morfodinâmica da linha de costa e hidrodinâmica da face litorânea (*shoreface*): taxa de variação de linha de costa interanual, taxa de variação de linha de costa interdecadal, altura de onda na quebra; amplitude altimétrica da orla marítima, inclinação da face litorânea; velocidade residual de corrente longitudinal; balanço de sedimentos potencial, largura da faixa de pós praia, tamanho médio de grão na face praial e inclinação da face praial.

Conforme mencionado nos pressupostos I e II, as variáveis foram discretizadas pela média de suas ocorrências em cada célula costeira, e representadas em unidades espaciais, representadas pela faixa dos 50 metros iniciais de orla marítima, conforme a Figura 3.

A indicação de processos de erosão costeira por parte das variáveis, foi baseada no estabelecimento de uma regra simples (figura 4). Tal procedimento foi tomado a fim de permitir a comparação com as taxas de erosão em escalas interdecadal e interanual cada variável.

QUANTO MAIOR A EROSÃO COSTEIRA:
1-Maior altura de onda (HB)
2-Maior ângulo de inclinação da face litorânea (IFL)
3-Menor a altitude da orla (ALT)
4-Maior a velocidade de corrente longitudinal residual (CLR)
5-Maior o tamanho de grão médio na face praial (TMG)
6-Menor inclinação média do estirâncio (IME)
7-Menor Largura de pós-praia (LPP)
8- Maior valor no índice de limites de células costeiras (ILCC)

Figura 4: Quadro de regras para tornar as variáveis como indicadores de erosão.

As variáveis, bem como suas fontes de obtenção e tratamentos metodológicos prévios, foram bastante diversificadas, conforme segue abaixo:

3.3.1 Taxa de variação da linha de costa (TXA/TXD)

A variação temporal da linha de costa é expressa em duas escalas: interanual (TXA) e interdecadal (TXD) (MAZZER & DILLENBURG, 2007). A primeira foi efetuada com dados obtidos de aerofotos, provenientes dos anos de 1998 a 2002, pelo método *End Point Rate* (EPR). Na variação em escala interdecadal foram tomadas medidas da linha de costa nas aerofotos dos anos de 1938, 1978, 1994, 1998 e 2002, e então calculou-se a taxa por regressão linear iterativa (*Jackknife method*) (DOLAN *et al.*, 1991).

3.3.2 Altura de onda (HB)

Dados de onda em águas profundas foram obtidos em Araújo *et al.* (2003), para três condições monocromáticas de ondulação (“swell”) mais frequentes (Tabela 1). A partir de tais dados foi obtido, através do programa MIKE 21 PMS, um diagrama de refração-difração de ondas (MAZZER *et al.*, em preparação), o qual permitiu o cálculo da altura de onda a partir da equação $H_b = H_0 / (0.563) / (H_0 / L_0)$ (CERC, 1984).

3.3.3 Inclinação da face litorânea (*shoreface*) (IFL)

A determinação da inclinação da face litorânea foi precedida da definição do limite da mesma pelo cálculo da profundidade de fechamento média para cada praia, pela equação $d = 2H_s + 11\sigma$ (HALLERMEYER, 1981 *apud* MUEHE, 2001). Com dados de onda de Araújo *et al.* (2003) foram obtidos valores entre 9,30 metros e 11,50m, o que levou a uma média geral e generalização em 10 metros, corroborando o determinado por Muehe (2001) para a costa brasileira.

Foram traçados perfis perpendiculares à linha de costa sobre o modelo numérico de terreno, até a isóbata de 10 metros, os quais permitiram o cálculo de sua declividade média, automatizada na extensão *Surface Tools* do programa *Arc View 3.2*. (Figura 3 Tabela 2.

3.3.4 Altiméria (ALT)

Os dados referentes à altimetria foram extraídos do modelo numérico de terreno (MNT), a partir do recorte deste, com cada polígono representando as células costeiras. A altimetria representa a predisposição em dimensão vertical que a unidade de orla marítima (OM) irá apresentar frente a recuo da linha de costa, além de estar associada a suscetibilidade a inundação costeira (Souza 2004). Para cada célula costeira foi estimada a média e máxima da altitude através da sumarização dos dados altimétricos tabulares, sendo a última utilizada no equacionamento do perfil de equilíbrio.

3.3.5 Velocidade residual de corrente longitudinal (CLR)

A velocidade média de correntes longitudinais para as células costeiras da área de estudo em três ondulações (Tabela 1) foi obtida por Mazzer *et al.* (em preparação). A determinação das correntes residuais foi realizada a partir da redução da velocidade média de corrente de cada célula, através da multiplicação por pesos obtidos a partir da frequência relativa entre essas ondulações. (adaptado de HOGBEN *et al.*, 1986) (Tabela 1) Posteriormente, os valores foram somados para determinar o valor relativo residual da corrente longitudinal (*Residual Drift*), conforme Carter (1988).

3.3.6 Balanço Potencial de Sedimentos (BPS)

A partir da classificação dos limites em divergentes, pulsantes e convergentes, (MAZZER *et al.*, submetido), foi realizado uma classificação das células costeiras quanto ao seu balanço potencial de sedimentos. Para fins de caracterização da natureza dos limites das células costeiras em relação à erosão costeira os limites foram atribuídos de valores de 10(convergentes), 5 (pulsantes) e 1 (divergentes). Foram considerados os diferentes limites nas três ondulações, sendo o valor final obtido por média ponderada pela frequência relativa de ocorrência destas (tabela 1).

3.3.7 Largura de pós-praia (LPP), inclinação média de estirâncio (IME) e granulometria média na no estirâncio(TMG)

Foram realizados 40 perfis e coletas de sedimentos no estirâncio no período entre janeiro e março de 2007 (MAZZER *et al.* em preparação), posteriormente (aproximadamente 7 dias) à incidência de eventos de ondulações de média a alta energia.

Os perfis foram efetuados com a utilização de trena e clinômetro, com distâncias que variaram entre 100 a 300 metros, assim como as medidas de inclinação foram determinadas a partir da média de 4 a 6 tomadas, com clinômetro de bolso sobre a face praial.

A granulometria foi determinada em laboratório através do método de peneiramento, (WENTWORTH 1926, *apud* SUGUIO, 1973), e para a classificação em intervalos utilizou-se a escala granulométrica de Wentworth (1922 *apud* SUGUIO, *op. cit*), adaptada para a escala ϕ (KRUMBEIN, 1934 *apud* SUGUIO *op. cit*), através da média simples de cada amostra/perfil.

3.4 Análise de Vulnerabilidade Costeira

A análise de vulnerabilidade da orla costeira foi realizada a partir de duas etapas: a discretização e normalização dos valores brutos das variáveis e a construção de índices baseados em taxas de variação da linha de costa, em escalas interanual e interdecadal, adicionadas das oito variáveis supracitadas.

3.4.1 Normalização de variáveis

Os dados foram normalizados pela transformação em coeficientes de frequência relativa, de forma a apresentarem valores entre 0 e 1, possibilitando a aplicação juntamente com os índices de vulnerabilidade.

3.4.2 Construção de Índices de Vulnerabilidade (I.V.)

A construção dos índices de vulnerabilidade utilizou um teste preliminar de comparação entre médias de *Shapiro & Wilk* afim de verificar a normalidade dos

dados. Posteriormente, foi realizada a análise fatorial tipo “Q”, a fim de verificar a relação entre as 10 variáveis supracitadas. O resultado da mesma demonstrou que as taxas de variação da linha de costa são responsáveis por cerca de 40% de toda variação, enquanto as demais variáveis mostraram pouca contribuição, levando-nos a considerar essas taxas poderiam ser utilizadas como balizadores para a construção dos índices de vulnerabilidade.

Em cada escala de variação da linha de costa foi gerado um índice de vulnerabilidade, a partir de agregação linear entre as taxas de variação (variável independente) e oito variáveis (dependentes) restantes (item 3.3.2 a 3.3.7). Dessa forma, a variação sequencial dos valores das variáveis foi comparada com a seqüência decrescente de taxas de variação da linha de costa em cada praia, a fim de ser verificada a correspondência com as regras de indicação de erosão costeira, descritos na figura 4.

Para cada comparação entre taxa e valor de variável assinalava-se o valor de 1 ou 0 para correlações e não-correlações, respectivamente, transformando os dados num modelo de representação binomial. Desse modo, gerou-se um peso para cada variável de cada praia, resultado de seu coeficiente de correlação com as taxas de variação da linha de costa.

Posteriormente, os pesos de cada praia foram somados e discretizados pela média ponderada (por número de ocorrência $-n$, que no caso é o número de célula costeira por praia), resultando num peso final para cada variável. Os pesos finais representam a contribuição de cada variável em relação às demais, para cada taxa de variação, as quais se mostraram de forma distinta. A partir de dois índices supracitados, foi gerado um índice geral (IV-Geral) contemplando ambas as escalas e variáveis, os quais seguem abaixo:

$$\mathbf{I.V.-Anual} = 0,4 * \text{ taxa interanual } + (0,6 (0,12\text{Hb}) + (0,16\text{ANT}) + (0,11\text{ALT}) + (0,14\text{CLR}) + (0,08\text{TG}) + (0,17\text{DFP}) + 0,10\text{LPP}) + (0,13\text{ILC})$$

$$\mathbf{I.V.-Interdecadal} = 0,4 * \text{ taxa interdecadal } + (0,6 * (0,16\text{Hb}) + (0,16\text{ANT}) + (0,06\text{ALT}) + (0,09\text{CLR}) + (0,13\text{TG}) + (0,12\text{DFP}) + 0,14\text{LPP}) + (0,13\text{ILC})$$

$$\mathbf{I.V.-Geral} = 0,2 \text{ taxa interanual } + 0,3 \text{ taxa interdecadal } + (0,5(0,16\text{Hb}) + (0,16\text{ANT}) + (0,06\text{ALT}) + (0,09\text{CLR}) + (0,13\text{TG}) + (0,12\text{DFP}) + 0,14\text{LPP}) + (0,13\text{ILC})$$

A classes de vulnerabilidade foram agrupadas 4 intervalos: 0-0,2 Muito Baixo; 0,2-0,3

Baixo; 0,3-0,6 Médio; 0,6-0,8 Alto, 0,8-1,0- Muito Alto.

3.5 Análise de Risco

A análise de risco potencial constitui-se numa análise probabilística que envolve o fenômeno de elevação do nível do mar e efeitos de erosão costeira e seus danos às edificações costeiras de qualquer natureza (comercial, turística e residencial, etc...). Foi utilizada a equação proposta por Varnes (1984) definida por:

$$R = (R_S) * (E); \text{ sendo } R - \text{risco}; R_S \text{ é risco específico}; \text{ e } E - \text{elemento de risco}.$$

O risco específico (R_S) é o grau de perda devido a um fenômeno particular (no caso recuo da linha de costa devido a elevação do nível do mar) e foi determinado pela função probabilística entre o recuo da linha de costa em 2090 e a distancia da edificações da linha de vegetação, dada por:

$$R_S = ((\text{recuo do da linha de costa} * 100 / \text{distancia de edificações}) / 100).$$

A erosão da linha de costa foi obtida a partir da formulação do perfil de equilíbrio estabelecido por Brunn (1962), e revisto por Nicholls *et al.* (1995) a para a taxa de elevação de nível do mar previsto em IPCC (2007) para o ano de 2090, estimada em 60 cm acima do nível atual. O recuo da linha de costa foi estimada a partir da equação: $R = (SLG)/H$, onde R é o recuo da linha de costa; S a elevação do nível do mar; L o comprimento do perfil ativo (determinada por perfis no MNT entre profundidade de fechamento e topo de dunas frontais); G a proporção de sedimento erodido no perfil (≈ 1), e H a altura do perfil ativo.

A ocorrência de edificações foi determinada por análise de distância (*Nearest Point Analysis*) entre a linha de vegetação e as edificações, ambas digitalizadas de aerofotos de 2002 (IPUF, 2002).

Já o elemento de risco (E) é elaborado pela função da distancia de edificações antrópicas em relação a faixa de 50 metros , dada por $E = (\text{distancia de edificações} / 50) * 100$.

A classificação de risco é dada por: 0 -0,25 risco baixo- 0,25-0,50: risco médio; 0,50-0,75-risco alto, e 0,75-1,0 risco muito alto.

4. RESULTADOS

4.1 VULNERABILIDADE A EROSÃO COSTEIRA

A vulnerabilidade costeira entre as praias analisadas apresentou-se variável entre os três índices aplicados. A estimação das variáveis mostrou, em ambas as escalas de taxa de erosão (I.V.-Anual e I.V. Decadal), que as maiores correlações ocorreram com a inclinação da face litorânea, altura de onda e declividade da face praial, alcançando pesos superiores a 14%. (Figura 4).

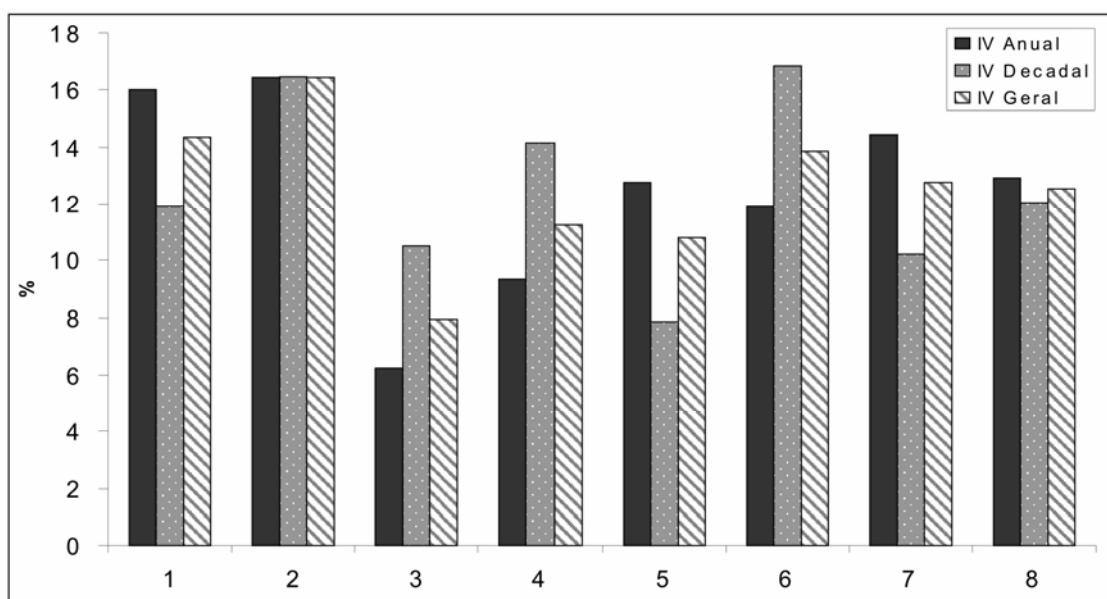


Figura 4: Peso das variáveis (%) encontrado para os três índices de vulnerabilidade. (1- Altura de onda na quebra; 2- Inclinação de face litorânea; 3- Altimetria média da orla; 4- Velocidade residual de corrente longitudinal; 5- Tamanho médio de grão da face praial ;6- Declividade média da face praial; 7- Largura média de pós praia; 8- Balanço potencial de sedimentos

As variáveis relacionadas com as células costeiras (velocidade de corrente longitudinal residual e natureza processual de limites), juntamente com a largura média de pós-praia, mostraram-se secundariamente mais importantes, com peso superior a 10%.

Por outro lado, outras variáveis emergiram como mais importantes em cada índice separadamente. Em escala interanual, a velocidade residual de corrente longitudinal foi a segunda variável mais importante (Tabela 2), ao passo que nos demais índices sobressaiu-se a largura média de pós-praia.

A variável que foi menos correlacionada com os índices testados foi a altimetria média da orla marítima, gerando pesos inferiores a 8%, com exceção da escala interanual, que alcança 10% (Figura 4).

Tabela 2: Variáveis utilizadas na análise de vulnerabilidade costeira

OM Nº	Taxas de variação interanual (m/ano)	Taxas de variação interdecadal (m/ano)	Altura de Onda (H_b) (m)	Inclinação de face lit. (°)	Altitude (m)	Corrente residual (m/s)	Tamanho de grão no estirâncio (ϕ)	Inclinação de estirâncio (°)	Largura de pós praia (m)	Balanço Potencial	I.V. Interanual	I.V. interdecadal	I.V. Geral
1	2.965	-1.135	0.483	1.663	2.85	-0.302	2.093	2.0	17.36	5.0	7.6	6.28	5.67
2	0.560	-1.305	0.488	1.682	1.54	0.044	2.107	4.0	45.30	5.0	6.52	7.11	5.67
3	-0.033	-0.919	0.433	1.733	2.60	-0.069	2.051	3.7	26.32	5.0	6.06	5.67	4.47
4	-1.208	-1.008	0.486	1.858	7.90	0.056	1.977	3.0	19.44	6.5	7.87	6.08	5.12
5	-1.461	-1.415	0.452	1.844	9.02	0.146	0.644	6.5	11.05	6.5	8.35	7.07	6.08
6	-1.025	-1.225	0.182	2.020	4.48	-0.302	1.469	4.0	11.92	3.8	5.91	6.16	5.2
7	-3.449	-1.091	0.457	2.237	3.90	-0.360	0.731	3.0	12.34	3.8	7.1	5.78	5.5
8	-2.151	-1.201	0.470	2.798	4.69	-0.010	1.405	5.3	16.67	5.3	7.65	6.57	5.75
9	0.043	-0.818	0.208	2.660	3.11	-0.010	0.720	5.5	17.42	4.9	5.94	4.95	4.02
10	-0.281	-0.548	0.289	1.469	2.68	-0.154	1.993	4.0	17.02	2.6	4.4	4.14	3.4
11	1.211	-0.196	0.147	0.945	2.10	0.071	2.086	3.0	16.32	1.9	3.76	2.6	2.39
12	-8.260	-1.126	0.733	0.541	3.20	0.153	1.977	3.0	20.47	6.5	10	6.13	6.8
13	-0.171	0.062	0.895	0.532	2.11	0.205	2.146	3.5	27.38	8.5	8.72	3.73	3.07
14	-1.294	0.029	0.850	0.544	2.02	0.332	1.861	4.0	34.78	5.8	7.64	3.53	3.23
15	-1.408	-0.018	1.181	0.554	0.84	-0.030	2.107	4.0	41.71	3.8	6	3.43	3.05
16	-1.163	-0.293	1.195	0.468	2.63	0.065	2.093	2.0	22.72	6.5	7.4	3.99	3.4
17	-3.792	0.189	0.370	0.617	1.65	0.096	2.100	3.0	17.68	3.4	6.13	2.83	3.18
18	-3.637	0.028	0.435	0.821	2.11	0.382	2.072	3.0	22.50	2.6	6.24	2.86	3.27
19	-2.904	-0.122	0.573	0.888	5.24	0.308	2.009	5.0	16.68	5.8	8.53	3.66	3.78
20	1.078	0.187	0.672	0.726	2.38	0.000	1.439	6.0	20.09	3.7	5.4	3.06	2.77
21	0.537	-0.077	0.707	0.741	2.16	0.046	0.000	5.0	20.63	3.7	4.89	2.42	2.16
22	0.726	-0.343	0.694	0.764	4.34	0.046	1.977	3.0	15.01	7.0	7.44	3.82	3.23
23	4.351	-0.507	0.566	0.939	2.72	0.072	2.009	5.0	24.11	3.8	7.3	4.32	4.5
24	2.896	-1.058	0.659	1.928	3.57	-0.432	2.283	2.0	24.90	3.7	7.32	6.62	5.95
25	4.021	-0.521	0.934	1.401	2.17	0.197	1.861	4.0	33.50	8.5	10	5.34	5.25
26	-3.277	-0.386	0.761	1.094	1.98	-0.424	2.100	3.0	28.82	1.0	5.38	4.26	4.24

Na perspectiva geral, a linha de costa na área de estudo apresentou a maior ocorrência na classe “Alta”. No índice IV-Anual, a classe “Alta” está presente em mais da metade da linha de costa, enquanto nas demais aparece em cerca de um terço (Figura 5).

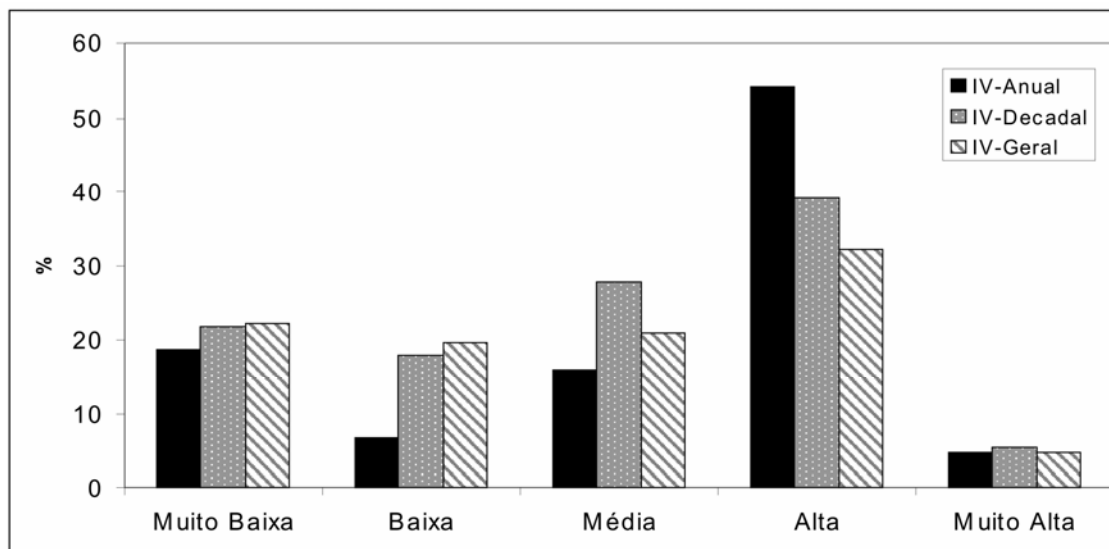


Figura 5: Percentual de classes de vulnerabilidade na área de estudo.

Ainda que a menor frequência ocorra na classe “Muito alta”, esse trecho costeiro geralmente apresenta-se vulnerável, aparecendo em fase de erosão, conforme Mazzer & Dillenburg (submetido).

As classes “Média” e “Muito Baixa” também ocorrem de forma expressiva, com cerca de 20%, destacando-se ainda nesta última, a ocorrência de valores muito próximos nos três índices. Tal fato denota locais de baixa energia, nos quais a maior parte das variáveis apresenta-se com baixos valores, não importando o peso das mesmas.

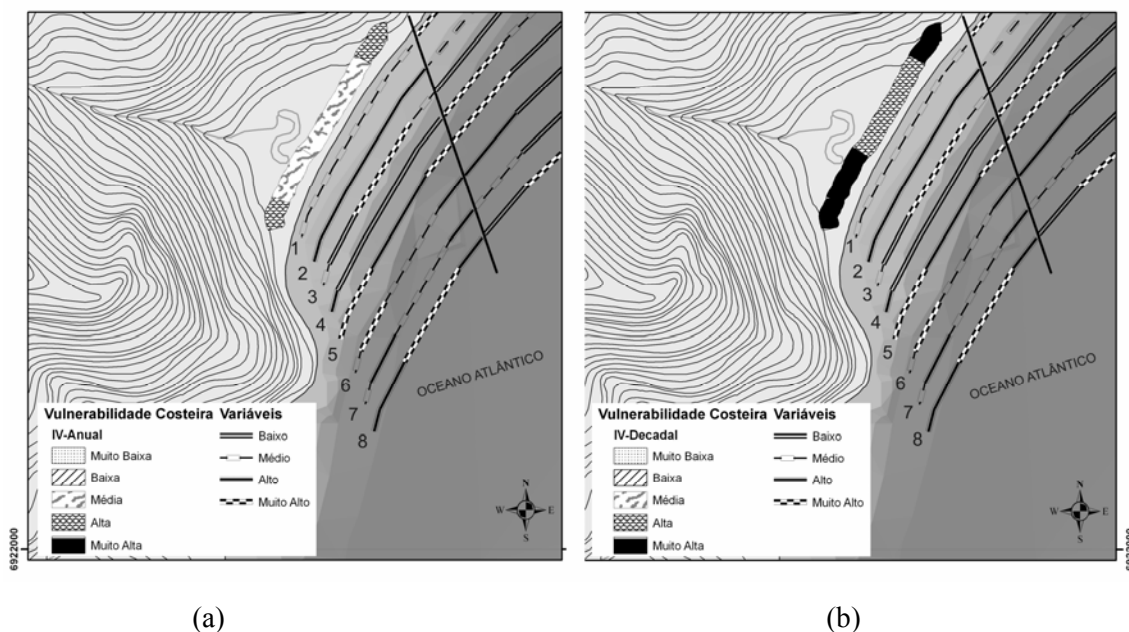


Figura 6: Vulnerabilidade à erosão costeira na Praia da Solidão: (a) IV- Anual; (b) IV- Decadal (traço preto oblíquo à linha de costa indica o limite norte com praia dos Açores)
 1- Altura de onda na quebra; 2- Inclinação de face litorânea; 3- Altimetria média da orla; 4- Velocidade residual de corrente longitudinal; 5- Tamanho médio de grão da face praial; 6- Declividade média da face praial; 7- Largura média de pós praia; 8- Balanço potencial de sedimentos

4.1.1 Índice Vulnerabilidade Interanual (I.V. Anual)

As células costeiras que apresentaram grande energia de onda aliada à alta declividade de antepraia e taxa de erosão interanual pronunciada, localizadas no meio da praia da Armação e no extremo sul da praia da Lagoinha do Leste, apresentaram vulnerabilidade muito alta, representadas por OM-23, OM-24 e OM-25 (Figura: mapa IV anual).

Os locais de vulnerabilidade alta ocorrem em todas as praias, predominando na maior parte dos arcos praias mais extensos, localizados na Praia da Armação e Pântano do Sul-Açores. Em ambas as praias, ocorre ampla mobilização de sedimentos em eventos de alta energia, ocasionando erosão costeira, conforme Castilhos (1995), MAZZER (2004), Oliveira (2004), e Simó & Horn Fº (2004) e Mazzer (2005), especialmente nos meios de praia (OM-7, OM-8, e OM- 24) (Figura 3), onde ocorre maior energia de onda e maiores taxas de erosão interanual (MAZZER & DILLENBURG, submetido). A exceção é a localidade de Pântano do Sul (OM-11), que apesar de apresentar eventos de baixa energia, aparece com ampla variação da linha de costa positiva, provavelmente tendo a fonte de sedimentos proveniente de outras

unidades de orla (OM-9, OM10), uma vez que à intensa ocupação humana ocorre sobre as dunas frontais (Mazzer, 2004).

Em praias menores, tais como as da Solidão, Matadeiro e Lagoinha do Leste, as localidades com vulnerabilidade alta ocorrem associadas aos promontórios rochosos nos extremos das mesmas (Figuras 6,8 e 9; Tabela 2)

As unidades de orla marítima medianamente vulneráveis ocorrem no meio das praias menos extensas, a maior parte em locais com taxas de variação da linha de costa entre -1,0 e -0,5 m/ano, geralmente adjacentes às células costeiras com maior energia de onda e corrente longitudinal residual. (Tabela 2).

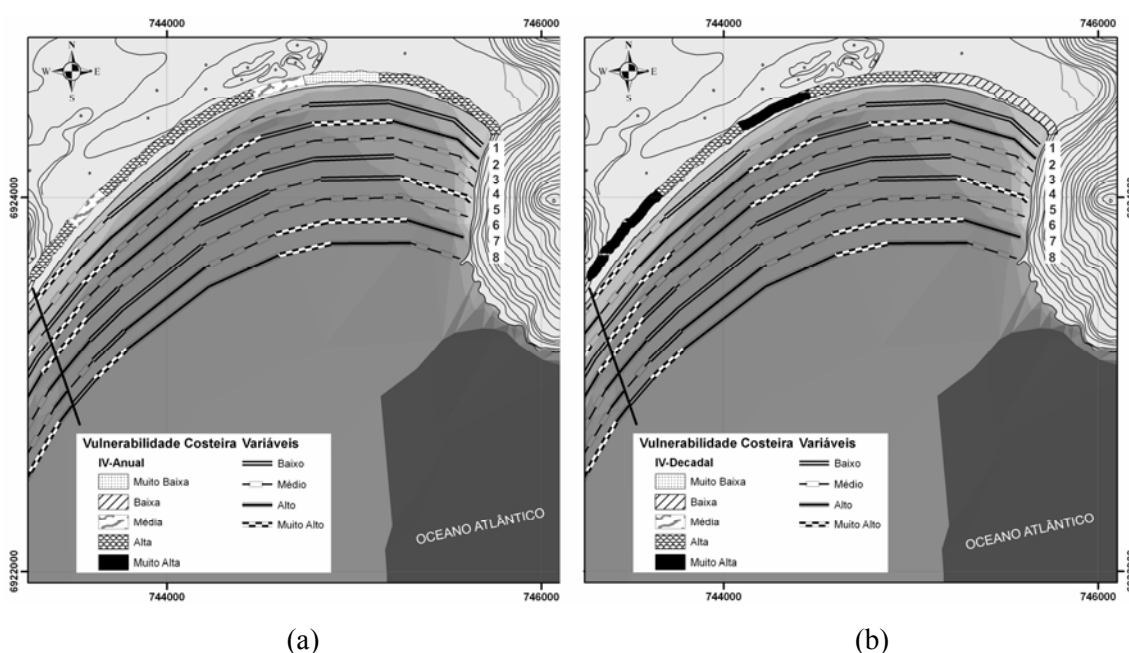


Figura 7: Vulnerabilidade à erosão costeira na Praia do Pântano do Sul-Açores: (a) IV- Anual; (b) IV- Decadal.

1- Altura de onda na quebra; 2 Inclinação de face litorânea; 3- Altimetria média da orla; 4- Velocidade residual de corrente longitudinal; 5- Tamanho médio de grão da face praial; 6- Declividade média da face praial; 7- Largura média de pós praia; 8-Balanco Potencial de Sedimentos

A praia do Matadeiro possui energia de onda de média a baixa (MAZZER *et al.*, submetido) e vulnerabilidade média na maior parte de sua extensão, associada à alta instabilidade relativa à variação da linha de costa interanual (MAZZER & DILLENBURG, submetido).

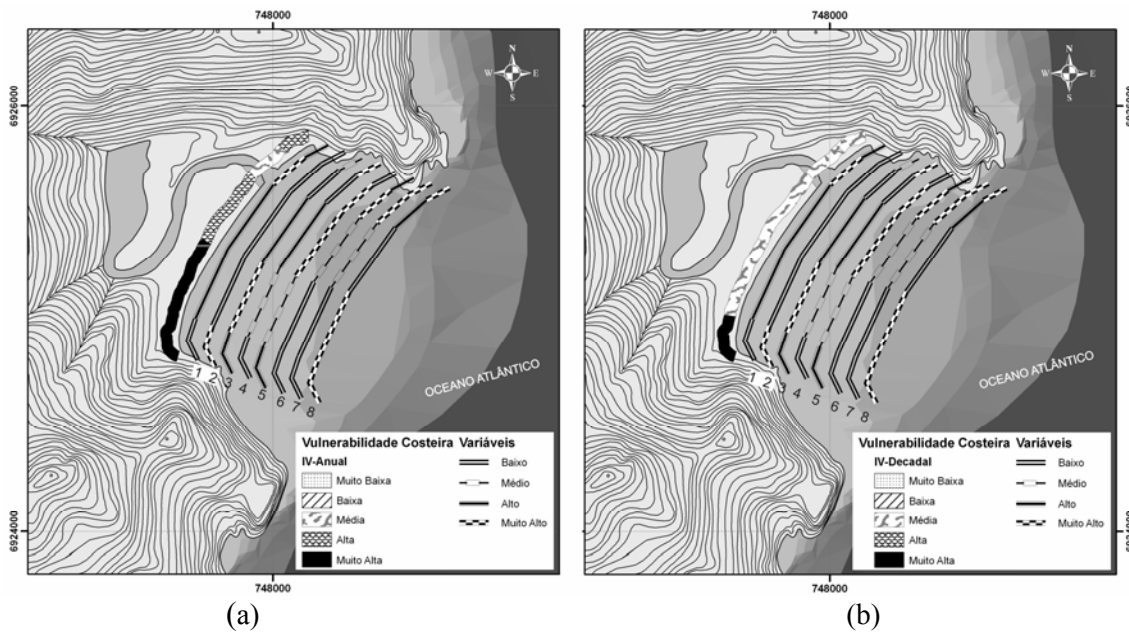


Figura 8: Vulnerabilidade à erosão costeira na Praia da Lagoinha do Leste: (a) IV- Anual; (b) IV- Decadal

1- Altura de onda na quebra; 2- Inclinação de face litorânea; 3- Altimetria média da orla; 4- Velocidade residual de corrente longitudinal; 5- Tamanho médio de grão da face praial; 6- Declividade média da face praial; 7- Largura média de pós praia; 8- Balanço potencial de sedimentos

Locais com baixas taxas de erosão estão associados às células costeiras de baixa energia, como a OM-20, no extremo sul da praia da Armação, e OM-11, na praia de Pântano do Sul, ou a uma declividade de face praial elevada, associada ao tamanho de grão de areia que varia de grossa a cascalho (OM-11).

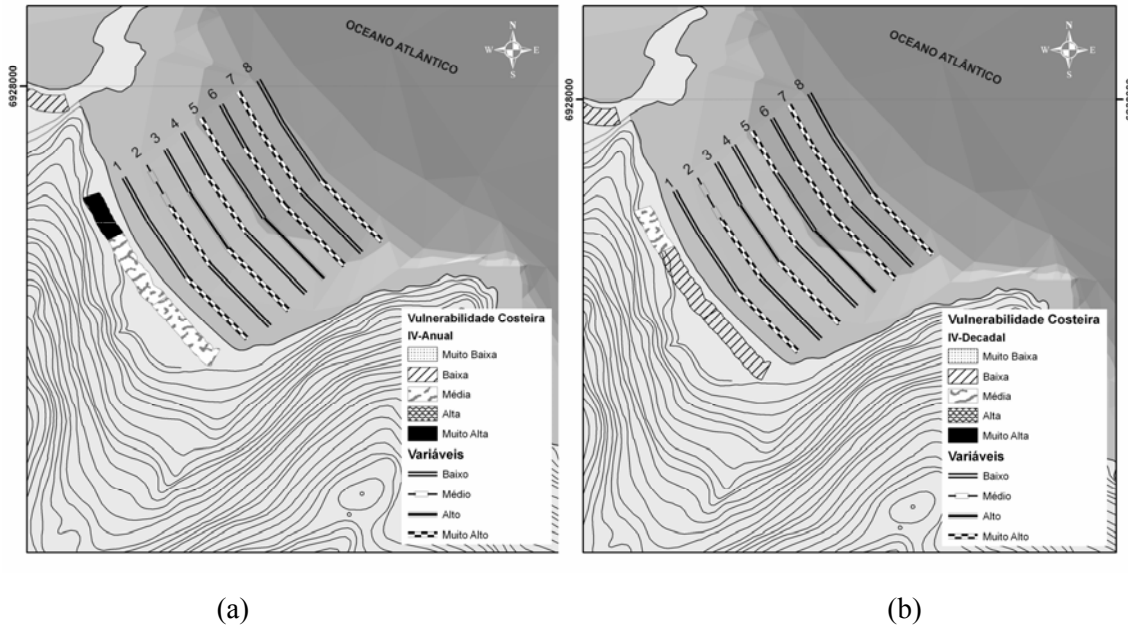


Figura 9: Vulnerabilidade à erosão costeira na Praia do Matadeiro: (a) I.V.-Decadal; (b) I.V.-Anual.

1- Altura de onda na quebra; 2- Inclinação de face litorânea; 3- Altimetria média da orla; 4- Velocidade residual de corrente longitudinal; 5- Tamanho médio de grão da face praial; 6- Declividade média da face praial; 7- Largura média de pós praia; 8- Balanço Potencial de Sedimentos

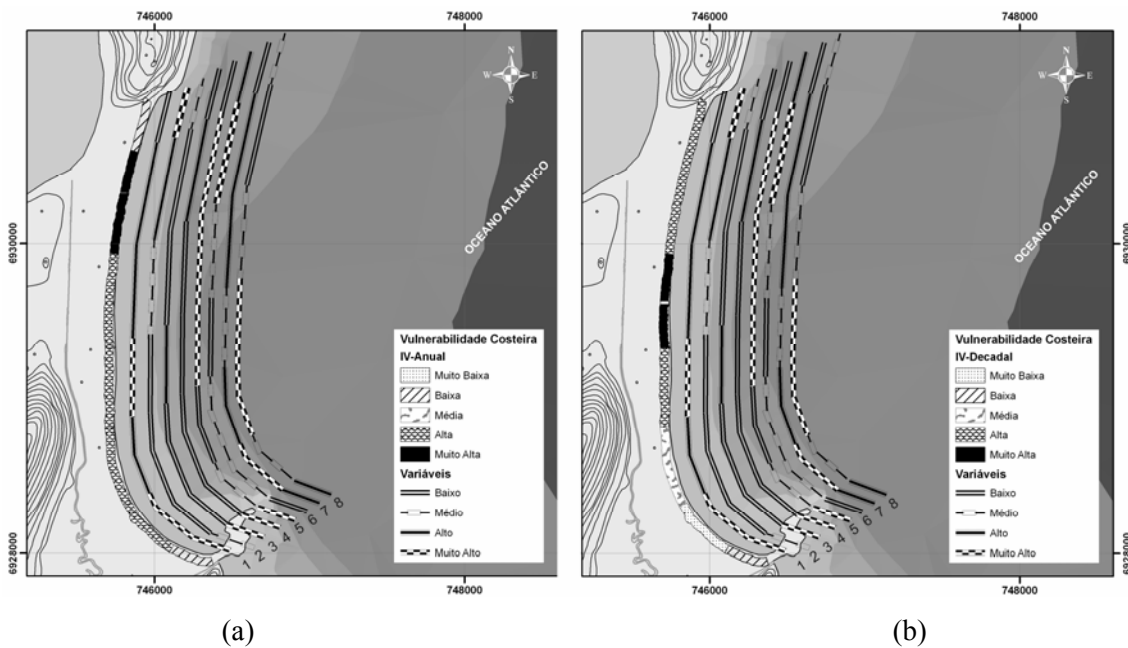


Figura 10: Vulnerabilidade à erosão costeira na Praia da Armação: (a) I.V.-Decadal; (b) I.V.-Anual.

1- Altura de onda na quebra; 2- Inclinação de face litorânea; 3- Altimetria média da orla; 4- Velocidade residual de corrente longitudinal; 5- Tamanho médio de grão da face praial; 6- Declividade média da face praial; 7- Largura média de pós praia; 8- Balanço Potencial de Sedimentos

4.1.2 Índice de Variação Interdecadal

Neste índice, a largura média do pós-praia constituiu um bom indicador para erosão costeira em escala interdecadal, juntamente com a altura de onda e a inclinação média da face litorânea.

A maior parte dos locais com vulnerabilidade muito alta ocorre no embaiamento Pântano do Sul-Solidão. Nos extremos da praia da Solidão e pontos no meio da Praia dos Açores ocorrem as maiores taxas de erosão interdecadal (MAZZER & DILLENBURG, submetido), combinadas com as maiores alturas de onda nesse embaiamento.

Em outras partes da área de estudo, as unidades OM-7 OM-12 e OM 23 se apresentam muito vulneráveis, assim como ocorre no índice interanual.

Os trechos com vulnerabilidade alta, também ocorrem na maior parte no embaiamento Pântano do Sul-Solidão, de forma alternada aos pontos de classe “Muito Alta”. A mesma configuração se dá no trecho mais exposto às ondas da praia da Armação, onde a unidade com vulnerabilidade alta ocorre entre unidades de classe “Muito Alta”.

A praia da Lagoinha do Leste apresentou vulnerabilidade média em quase toda sua extensão, com exceção do extremo sul. As variáveis nessa praia apresentaram uma relação equilibrada entre a altura de onda elevada e baixas taxas de variação da linha de costa.

As classes Baixa e Muito Baixa de vulnerabilidade localizam-se em unidades com baixa energia de onda e locais com taxas baixas de variação da linha de costa (tabela 2) no extremo leste da praia do Pântano do Sul, no centro e sul da Praia do Matadeiro, e no sul da Praia da Armação.

4.1.3 Índice Geral

O índice geral apresenta resultados bastante semelhantes ao I.V.-Decadal, no qual as modificações representam a ponderação deste pelo I.V.-Anual. Como resultado, ocorre a diminuição da vulnerabilidade nas unidades OM-23 e OM-18 nas praias da Armação e Matadeiro, respectivamente, e a diminuição quase generalizada na Praia da Lagoinha do Leste.

4.2RISCO Á EROSÃO COSTEIRA

Na área de estudo, de forma geral, o risco de destruição de edificações devido ao recuo da linha de costa, associado à erosão costeira e eustasia positiva não é predominantemente elevado (Tabela 3)

A Figura 11 demonstra que mais da metade da área é de risco muito baixo e baixo, e em segundo plano de risco médio. As classes de risco Alto e Muito alto variam entre 10 a 15 % do trecho costeiro estudado.

As estimativas de risco com diferentes índices de vulnerabilidade, mostraram-se com pouca variação entre as classes extremas (Muito baixo e Muito alto. As maiores variações entre os índices ocorreram nas classes “Médio” e “Alto”.

Tabela 3: Estimativa de risco e as variáveis que compuseram a análise. Explicar que é uma ponderação entre anual e decadal.

OM	Distância média	Distância mínima	Recuo da linha de costa (ano 2090) (H)	PF-dist m -(risco especifico) R _s	PF dist_min risco especí 2)	elemento de risco (E)	elemento de risco2	R1	R2	R3
1	33,71	0,51	20,41	0,61	1,00	0,33	0,99	0,20	0,99	0,99
2	6,56	0,08	22,52	1,00	1,00	0,87	1,00	0,87	1,00	1,00
3	18,56	0,03	19,01	1,00	1,00	0,63	1,00	0,63	1,00	1,00
4	17,43	9,59	13,20	0,76	1,00	0,65	0,81	0,49	0,81	0,81
5	48,64	20,94	12,97	0,27	0,62	0,03	0,58	0,01	0,36	0,58
6	32,69	2,50	15,43	0,47	1,00	0,35	0,95	0,16	0,95	0,95
7	59,70	16,82	14,66	0,25	0,87	1,00	0,66	0,25	0,58	0,66
8	95,48	72,11	11,08	0,12	0,15	1,00	1,00	0,12	0,15	1,00
9	244,53	178,97	13,90	0,06	0,08	1,00	1,00	0,06	0,08	0,39
10	236,44	103,87	22,57	0,10	0,22	1,00	1,00	0,10	0,22	0,33
11	2,00	0,02	32,00	1,00	1,00	0,96	1,00	0,96	1,00	1,00
12	>50	>50	52,07	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
13	>50	>50	56,73	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
14	>50	>50	55,63	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
15	>50	>50	64,94	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
16	>50	>50	56,17	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
17	23,72	5,90	43,77	1,00	1,00	0,53	0,88	0,53	0,88	0,88
18	11,22	0,78	41,93	1,00	1,00	0,78	0,98	0,78	0,98	0,98
19	8,14	0,62	38,23	1,00	1,00	0,84	0,99	0,84	0,99	0,99
20	6,12	0,03	38,76	1,00	1,00	0,88	1,00	0,88	1,00	1,00
21	3,29	0,07	40,01	1,00	1,00	0,93	1,00	0,93	1,00	1,00
22	21,72	0,16	40,02	1,00	1,00	0,57	1,00	0,57	1,00	1,00
23	89,87	10,41	26,48	0,29	1,00	0,00	0,79	0,00	0,79	0,68
24	136,51	119,22	26,68	0,20	0,22	0,00	1,00	0,00	0,22	0,97
25	82,62	12,38	33,09	0,40	1,00	0,00	0,75	0,00	0,75	0,75
26	45,18	14,16	50,47	1,00	1,00	0,10	0,72	0,10	0,72	0,72

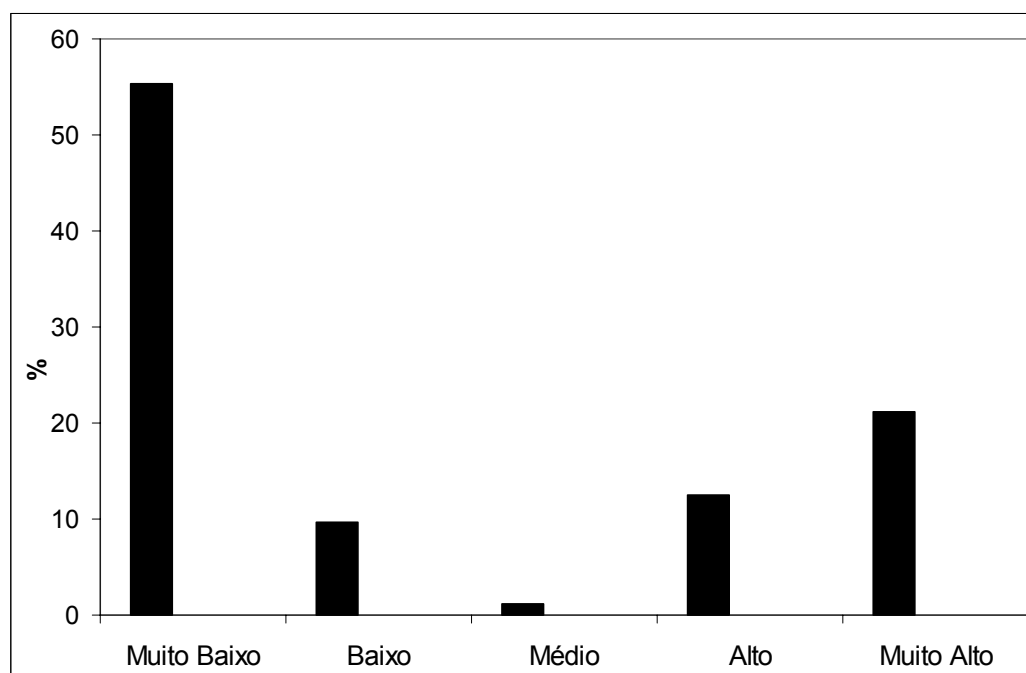


Figura 11: Percentual das classes de risco em relação a extensão total da linha de costa

O risco de erosão costeira associado à taxa constante de elevação do nível do mar indicou que cerca de um terço da área encontram-se sob risco alto e muito alto, enquanto pouco mais da metade enquadra-se em risco muito baixo.

As áreas de risco muito baixo e baixo, caracterizam-se por não terem ocupação massiva na faixa de 50 metros a partir da linha de vegetação, mesmo quando possuem vulnerabilidade elevada, conforme pode ser observado na Figura 12 a.

O risco médio ocorre na praia da Solidão em situação de ocupação antrópica próxima à linha de costa, porém com uma vulnerabilidade menor recuo da linha de costa devido a menor vulnerabilidade (Tabela 3).

Nas unidades da orla intensamente ocupadas por edificações, o risco é alto com prováveis chances de retração total na situação de nível do mar elevado em 60 centímetros. A maior parte das praias da Solidão e Matadeiro, e quase todo o trecho ocupado da praia da Armação, com exceção do seu extremo sul, enquadram-se em tal cenário. (Figura 12).

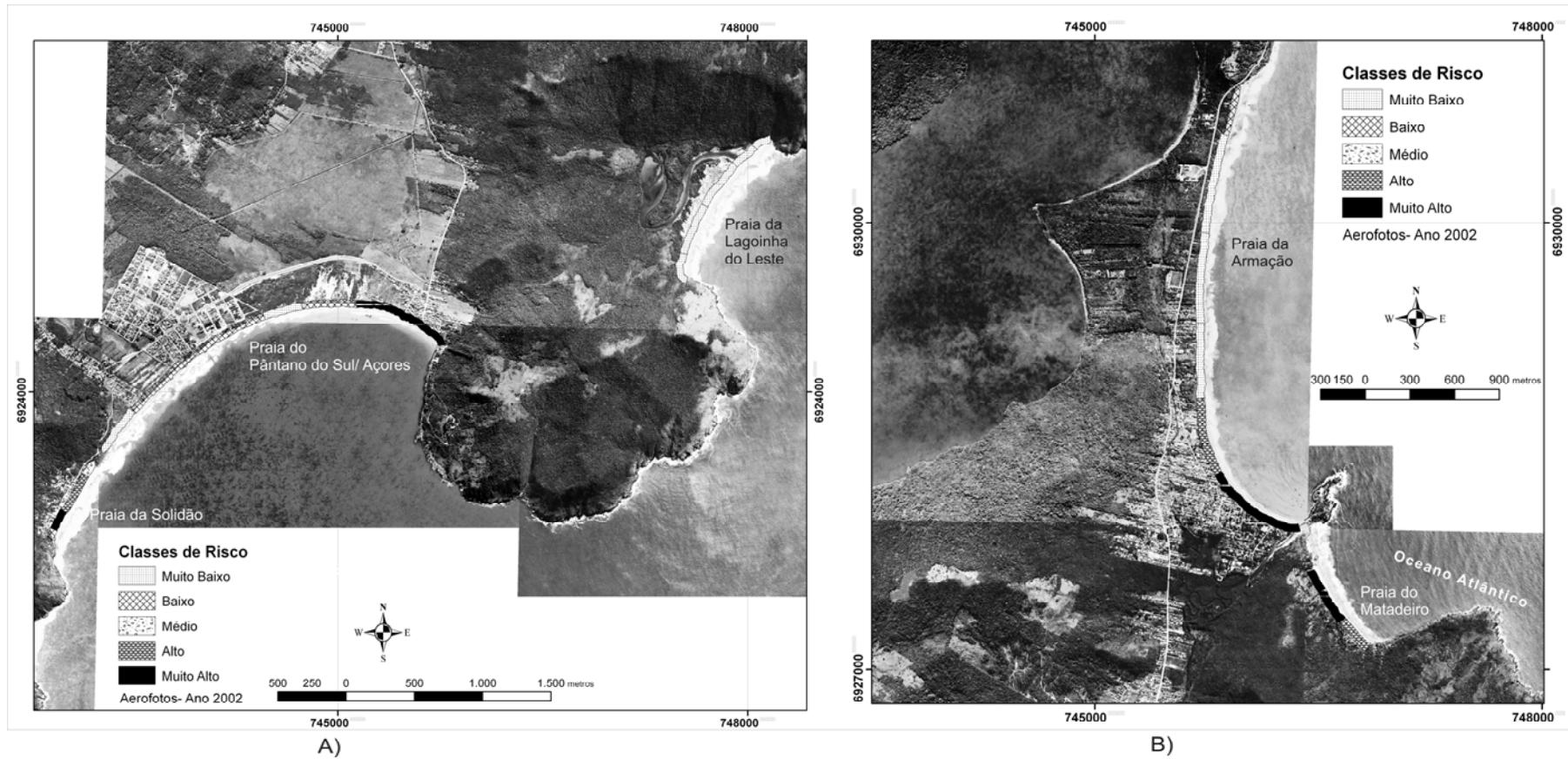


Figura 12: Mapa das áreas de risco: A) Praias de Soldão, Açores- Pântano do Sul e Lagoinha do Leste; B) Praias do Matadeiro e Armação.

O extremo sul da praia da Armação, assim como a vila do Pântano do Sul, e a desembocadura do rio das Pacas (tens que localizar o rio das Pacas na figura 12 e na figura 2) na praia da Solidão, representam as áreas de risco muito alto. As unidades OM-11 e OM-20 e OM-21 apresentam edificações sobre as dunas frontais, e muitas vezes estão guarnecidas de muros de proteção contra a erosão costeira já recorrente e consolidada (GRÊ *et al.*, 1997; CASTILHOS, 1995; CRUZ, 1999; MAZZER, 2004).

5. DISCUSSÃO

Certamente a escolha de variáveis é um dos principais eixos metodológicos dos trabalhos sobre vulnerabilidade costeira. Porém, nem sempre o maior número de variáveis leva a uma melhor análise (COOPER & MCLAUGHIN, 1998), sendo que muitas dessas variáveis podem ter efeitos similares, ou mesmo serem irrelevantes e estarem tomando lugar de outras importantes.

A escala utilizada, bem como o objetivo do trabalho, devem ser considerados nesta escolha, sendo comum trabalhos sobre vulnerabilidade e risco apresentarem as variáveis em agrupamentos temáticos, tais como geomorfologia, socioeconomia, oceanografia etc. (DAL CIN & SIMEONI, 1994, BUSH *et al.*, 1996).

Diversos trabalhos sobre vulnerabilidade costeira consideram como variável mais importante a taxa de variação da linha de costa (GORNITZ, *et al.*, 1992) DAL CIN & SIMEONI, 1994, BUSH *et al.*, 1996) (COBUM, 2001).

No contexto do presente trabalho esta variável foi utilizada como fator independente, assumindo que a mesma estabelece a referência de estabilidade/instabilidade da linha de costa. Por outro lado, este estudo realizou a análise sob diferentes perspectivas temporais como a interanual e interdecadal, a fim de investigar as variabilidades entre as escalas, de forma a gerar subsídios ao gerenciamento costeiro (MAZZER & DILLENBURG, submetido).

Devido ao fato de as variáveis serem provenientes tanto de processos modelados como de indicadores de processos reais, a declividade da antepraia mostrou-se associada a ambas as escalas. Esta variável apresenta-se diretamente relacionada a processos de quebra de onda e correntes longitudinais, e outros indicadores como declividade da face praial, largura média de pós-praia, além das taxas de erosão.

Hanson *et al.*(2003) colocam que a antepraia é, de forma geral ativa na escala decadal. Nesta escala, conforme os autores, ocorre um tempo de evolução mais profundo que estaria associado com as balanço sedimentar envolvendo fontes e/ou sumidouros de areia.

Na costa de Marche, Itália, Dal Cin & Simeoni (1994) as variáveis de inclinação de antepraia, além de aporte sedimentar via fluvial, foram as que mais estavam associadas às áreas de maior vulnerabilidade a erosão costeira.

A altura média de onda teve grande importância na análise de vulnerabilidade costeira, estando amplamente correlacionada com a declividade da antepraia e com as taxas de erosão em ambas as escalas. Sugere-se que tal fato indique a qualidade dessa variável em expressar outros atributos, como orientação de costa e grau de exposição, utilizados de forma consolidada em outros trabalhos (GORNITZ *et al.*,1992; DAL CIN & SIMEONI, 1994; MENEZES & KLEIN, 2003). Dessa forma, essa variável reflete a energia média, no caso, por unidade de orla marítima definida por células costeiras, de forma adequada a esta escala de trabalho.

. Variáveis relacionadas às células costeiras (tipos de limites e velocidade residual de correntes longitudinais), também assumiram grande importância na análise, sugerindo possíveis relações com o balanço sedimentar. De acordo com Carter (1988), Inman (2003), e Mazzer *et al.*(submetido), entre outros, as células costeiras podem representar compartimentos costeiros onde ocorre uma unidade de balanço sedimentar.

Os limites entre as células costeiras foram utilizados para seccionar a orla marítima em unidades ambientais homogêneas, assumindo que o balanço sedimentar costeiro está intimamente relacionado com o estado morfodinâmico da linha de costa. Geralmente isto ocorre através ocorrência de ajustes topográficos, e transferência de sedimentos de forma perpendicular e longitudinalmente a linha de costa (Cowell *et al.*, 2003).

Neste contexto, o presente trabalho difere quanto aos critérios de espacialização utilizados em trabalhos sobre vulnerabilidade e risco costeiro, tais como gradeamento (GORNITZ *et al.*, 1992), fisiografia de trechos costeiros (DAL CIN & SIMEONI, 1994; BUSH *et al.*, 1996; MAZZER, 2004) ou ainda incluindo toda a planície costeira adjacente à linha de costa (GALLERINI, 2003; HENNECKE & COWELL, 2000).

Thumerer (2001) já havia utilizado o conceito de unidades ambientais homogêneas para cálculo de risco de elevação do nível do mar na Inglaterra, assim

como Gallerini *et al.* (2003), destacando a vantagem de ambas permitirem serem objetos de modelos e previsões de cenários.

Segundo Titus & Richman (2001) os esforços em conhecer a vulnerabilidade costeira à inundação e às mudanças na linha de costa requerem dados de elevação e batimetria, e um modelo dos processos costeiros.

Mazzer (2004) compartimentou aproximadamente a mesma área de estudo (com exceção da praia da Lagoinha do Leste) em 34 trechos baseado no gradiente de altura de onda e nível de ocupação costeira, para fins de análise da vulnerabilidade costeira. Nesse estudo, as áreas mais vulneráveis coincidiram com as áreas de risco muito alto. Tal resultado corrobora outros trabalhos, quanto à ocorrência de áreas de risco elevado nos extremos mais urbanizados da Praia do Pântano do Sul e Praia da Armação (GRÊ *et al.*, 1997; HORN F^o, 1994; CASTILHOS, 1995; SIMÓ & HORN F, 2004; OLIVEIRA, 2004).

Souza & Suguio (2003) avaliaram o de risco de erosão de praias de todo o Estado de São Paulo, com base na ocorrência de indicadores de erosão costeira, concluindo que os processos naturais de erosão são os fortes responsáveis pelo fenômeno no litoral daquele Estado, embora intervenções antrópicas como retirada de areia de praias e construção em terrenos frontais e sobre o pós praia sejam forçantes da erosão costeira acelerada.

No presente estudo, as áreas de risco Muito Alto são classificadas como de vulnerabilidade muito baixa e baixa (Tabelas 2 e 3). Tal fato decorre da ausência do fator presença antrópica nos índices de vulnerabilidade, e da presença de taxas de variação da linha de costa em diferentes escalas. No presente método, o risco está associado a probabilidade das ocupações humanas serem afetadas conforme sua vulnerabilidade à erosão costeira e o perigo de elevação de nível do mar. No entanto, as características da ocupação não constituíram diretamente nenhuma variável dos índices de vulnerabilidade, o que não acontece com o trabalho de Souza & Suguio (2003) e Klein & Menezes (2003). Zang *et. al* (2004) estimam que a erosão costeira ocorre em taxas duas vezes superior às taxas de elevação do nível do mar.

Além dessas, muitas áreas consolidadas quanto à erosão, tais como a OM-24 na praia da Armação, bem como a OM-7 na Praia dos Açores, foram detectadas

por ambas as escalas e métodos utilizados pelos autores supracitados. (Figura 6 e Tabela 2).

Por outro lado, outras áreas consideradas de baixa vulnerabilidade por Mazzer (2004) e Simó & Horn F° (2004), como a porção central e norte da praia da Armação e extremo sul da praia da Solidão, foram classificadas como de vulnerabilidade alta no presente trabalho.

A inclusão da variável retração da linha de costa frente à elevação do nível do mar na análise de risco magnificou os índices de vulnerabilidade à erosão. Nos locais completamente edificados (OM-11, OM-20, OM-22) o risco é muito alto, ou seja, ocorreria a retração total da faixa de 50 metros de orla marítima, mesmo que seja de baixa ou média vulnerabilidade à erosão costeira.

A maior facilidade de ocupação ocorre em áreas mais protegidas do sul da ilha, ocasionando problemas de erosão crônica (CRUZ, 1999), geralmente devido ao aprisionamento dos sedimentos dispostos nas dunas frontais.. O reconhecimento pelo método das relações inversas entre vulnerabilidade e risco demonstra a sensibilidade do mesmo a esse fenômeno. De forma similar, Perillo (1999) associa as áreas com maior erosão na costa da Argentina, àquelas sem a presença de dunas frontais e com maior presença antrópica.

A classificação da costa em níveis de vulnerabilidade e risco permite o estabelecimento de diretrizes de uso e ocupação destes trechos, porém, para fins de gerenciamento costeiro, a definição clara de limites e critérios se faz necessária para torná-la útil (COOPER & MC LAUGHIN, 1998).

Ademais, as ações e objetivos de gerenciamento costeiro ocorrem em diversas escalas (CARTER, 1988), e frente a isso, as análises e classificações costeiras devem identificar as escalas de processos e respostas da linha de costa, de forma a subsidiar estas ações.

Cowell *et. al* (2003) reforça a idéia de que ações de gerenciamento costeiro e engenharia, requerem dados de curto e longo prazo para resolver problemas de flutuações e crônicos, respectivamente.

Neste sentido, Mazzer & Dillenburg (submetido), distinguiram a variação da linha de costa entre escalas interdecadal e interanual, referindo-as como flutuações de curto prazo e tendências de variação, respectivamente, de forma similar a terminologia utilizada por Cowell *et. al*(2003). Tal distinção, balizou o tratamento

diferenciado entre escalas utilizado no presente análise de vulnerabilidade e risco costeiro.

6. CONCLUSÕES

A determinação de níveis de erosão a partir das unidades de orla marítima delimitadas pelas células costeiras inclui certas implicações que devem ser consideradas, conforme segue.

Por homogeneizar os segmentos de linha de costa, aparentemente atenuam-se os efeitos da erosão pontual, distribuindo e fundindo sua informação com a do restante incluído nos limites da célula. Além disso, em praias onde a variabilidade da estrutura costeira é mais complexa, o uso das células pode gerar uma difícil delimitação e ser passível de erro para aplicações de análise de vulnerabilidade.

Por outro lado, as determinações de unidades homogêneas, a partir de células costeiras, contemplam em sua concepção um ciclo sedimentar, o que se relaciona diretamente com o equilíbrio da linha de costa (CARTER, 1988), sobretudo em intervenções como dragagens e instalação de estruturas de apoio náutico (GRIGGS *et al.*, 1987), e para efeitos de abordagem integradora de escalas temporais (COWELL *et al.* (2003).

Para fins de planejamento e gerenciamento da orla marítima é fundamental ter a posição e vulnerabilidade da linha de costa como referência. Seus movimentos oscilatórios envolvem a complexidade de múltiplas escalas temporais, as quais se sobrepõem espacialmente.

A análise envolvendo mais de uma perspectiva temporal proporciona estudos mais adequados ao contexto de planejamento e gerenciamento da zona costeira (PERNETTA & MILLIMAN, 1995; CLARK, 1995) (COWELL *et al.*, 2003)

A erosão costeira é um fenômeno mundial (BIRD, 1985), e esteja relacionada à elevação do nível do mar ou não, seu reconhecimento como fator decisivo na determinação do uso e ocupação da orla marítima reduz riscos, e por isso deveria ser incorporado de forma efetiva nas diretrizes pertinentes ao gerenciamento costeiro.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, C.E.S.; Franco, D.; Melo, E.; Pimenta, F.;2004. Wave Regime Characteristics of the Southern Brazilian Coast. In: Copedec VI International Conference On Coastal and Port Engineering in Developing Countries, 6, 2003, Colombo, Sri Lanka. **Proceedings...**, Colombo, Sri Lanka, pp. 1- 15.
- Bird, E. 1985. **Coastline Changes**. John Wiley and Sons, New York, 219 p.
- Borrough, P. A. 1986.**Principles of Geographical Information Systems: methods and requirements for land use planing**. Oxford, UK: 178 p.
- Brasil, Decreto nº 5.300 de 08 de dezembro de 2004.
- Bray, M. J.; Carter, D.J. & Hooke, J. M. 1995. Littoral Cell Definition and Budgets for Central Southern England. **Journal of Coastal Research**, 11 (2): 381-400
- Brunn, P.; 1962. Sea level rise as a cause of shoreline erosion. **Journal of Waterways and Harbor** 88: 117-130.
- Caruso Jr., F. 1993. Mapa Geológico da Ilha de Santa Catarina - Texto explicativo e mapa- escala: 1:100.000. **Notas Técnicas** 6: 1-28.
- Carter, R.G.W. 1988. **Coastal Environments: An introduction of Physical, Ecological and Cultural Systems**. London,, Academic press, 617p.
- Castilhos, J. A. 1995. **Estudo Evolutivo, Sedimentológico e Morfodinâmico da Planície Costeira e Praia da Armação – Ilha de Santa Catarina, SC**. Florianópolis 134 p. Dissertação de Mestrado em Geografia, Curso de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Coastal Engineering Research Center (CERC) 1992. Using morphology to determine net littoral drift directions in complex systems. **Coastal Engineering Technical Note** 30:1-8
- Clark, J. R. 1995. **Coastal Zone Management Handbook**. CRC Press. Boca Raton Florida, 720 p.
- Cobum A.S. 2001. Reducing Vulnerability of North Carolina Communities: A Model Approach for Identifying, Mapping and Mitigating Coastal Hazards. Program for the

Study of Developed Shorelines, Duke University. *on line*:
<http://www.env.duke.edu/psds/docs.htm>.

Cooper, J. A.G.; Mc Laughlin, S; 1998; Comtemporary Multidisciplinary Approaches to Coastal Classification and Environmental Risks Analysis. **Journal of Coastal Research** 2 (14): 512-524.

Cowell, P.J.; Stive, M.J.F.; Niedoroda, A.W.;de vriend, H.J.; Swift, D.J.P.; Kaminsky, F.; Capobianco M.. 2003. The Coastal Tract (Part 1): A Conceptual Approach Aggregated Modeling of Low order Coastal Change. **Journal of Coastal Research** 4 (19): 812-827.

Cowell, P.J. & Thom, B.G. 1997. Morphodynamics of Coastal Evolution. In: Carter, R.W.W.. & Woodroffe, C.D. (eds.). **Coastal evolution: late quaternary shoreline morphodynamics**, Cambridge, University Press, 539 p.

Crowell, M.; Leatherman, S.P.; Buckley, M.K. 1993. Shoreline Change Rate Analysis:

Cruz, O. 1996. **A Ilha de Santa Catarina e o continente próximo: um estudo de geomorfologia costeira**. Florianópolis, Editora da UFSC, 276p.

Dal Cin, R.; Simeoni, U.; 1994. A model for determinining the Classification, Vulnerability and Risk in the Southern Coastal Zone of the Marche (Italy). **Journal of Coastal Research** 10(1):19-29

Douglas, D.; Peucker, T. 1973. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. **The Canadian Cartographer**: 10(2): 112-122

El-Raey, M.; 1997; Vulnerability of the coastal zone of the Nile Delta of Egypt, to the impacts of sea level rise. **Ocean and Coastal Management** 37 (1): 29-40.

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.

Gallerini, G.; De Donatis, M.; Devoti, S.; Gabellini, M.; Nisi, M.F.; Silenzi, S.; 2003. In: CoastGis'03, V International Symposium on GIS and Computer Cartography for Coastal Zone Management. Proceedings.... Italia, (On line)
<http://www.gisig.it/coastgis>

- Gornitz, V.M.; Daniels, R.C.; White, T.W.; Birdwell, K.R.;1992.The Development of a Coastal Risk Assesment Database: Vulnerability to Sea Level Rise in the U.S. Southeast. **Journal of Coastal Research** Special Issue 12: 327-338.
- Gré, J.C.R.; Castilho, J.A & Horn Filho, N.O. 1997. Quaternary Deposits of the Pântano do Sul Beach, Santa Catarina Island, Brazil. In: **ATAS DO COLÓQUIO FRANCO-BRASILEIRO DE MANEJO COSTEIRO DE ILHA DE SANTA CATARINA**, Florianópolis, Ed. da UFSC. p. 211-218.
- Griggs, J. B. 1987 Littoral cells and harbor dredging along the Califórnia coast. **Environmental Geology** 10: 7-20
- Hanson, H.; Aarkinkhof, S.; Capobianco, M.; Jimenez, J. A.; Larson, M.; Nicholls, R. J.; Plant N. G.; Southgate, H. N.; Steetzel, H. J.;Stive M.J.F.; de Vriend, H. J.; 2003. Modelling Coastal Evolution on Yearly to Decadal Time Scales. **Journal of Coastal Research**. 4 (19): 812-827.
- Hennecke, W.G.,Cowell, P.2000. GIS Modeling of Impacts of an Accelerated Rate of Sea Level on Coastal Inlets and Deeply Embayed Shorelines. **Environmental Geosciences** 7: 137-148.
- Hogben, N.; Dacunha, N. M. C & Oliver, G. F.; 1986. **Global Wave Statistics**. New York, Chapman and Hall, 661 p.
- Inman, D.L.; 1971. **Nearshore processes**. McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology 9: 26-33.
- Inman, D.L. 2003. Littoral Cells. In: Schwartz, M. (ed.) **Encyclopedia of Coastal Science**.The Earth Science Enciclopedia on line. 1-20. on lina: <http://repositories.cdlib.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1037&context=sio>
- International Strategy for Disaster Reduction (ISDR) 2002. **Living With Risk. A Global Review of Disaster Reduction Initiatives**. United Nations, Inter Agency Secretariat. Preliminary version. Geneva, Switzerland. 384p.
- IPCC- International Panel of Climate Change.2001. **Third Assessment Report Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability** .United Nations Environment Program-UNEP. Disponível em: <http://www.ipcc.ch> Acesso em: 02 / 03/ 2006
- IPCC- International Panel of Climate Change. 2007. **Fourth Assessment Report Climate Change: Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level**. United Nations Environment Program-UNEP. Disponível em: <http://www.ipcc.ch> Acesso em: 20 / 07 / 2007.

- IPUF- Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis (SC). 2002. **Levantamento Aerofotogramétrico da Ilha de Santa Catarina**. Ortofotocartas. Escala 1:2.000.
- Hogben, N.; Dacunha, N. M. C & Oliver, G. F. 1986. **Global Wave Statistics**. New York, Chapman and Hall, 661 p.
- Mazzer, A. M. ; Dillenburg, S. R.; Variações Temporais da Linha de Costa em Praias Arenosas Dominadas por Ondas do Sudeste da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis-SC) **Pesquisas em Geociências** (submetido)
- Mazzer, A. M.; Souza, C.R.; Dillenburg, S.R.; Bacilla, C. Determination of Coastal Cells at Southeast of Santa Catarina Island. **Geomorphology** (submetido)
- Mazzer, A. M. 2005. Aplicação de Taxas de Variação da Linha de Costa na Praia da Armação. In: X Congresso de Associação Brasileira de Estudos do Quaternário-ABEQUA. **Anais...** Guarapari, Espírito Santo, CD-ROM.
- Mazzer, A M.; 2004. Análise da Vulnerabilidade Costeira com uso de Sistema de Informação Geográfica: Uma aplicação ao trecho litorâneo sul da Ilha de Santa Catarina.. In: V Simpósio Nacional de Geomorfologia. **Anais...** Santa Maria, Brazil. CD-ROM.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA) 2006. **Projeto Orla: Subsídios para um Projeto de Gestão**. Brasília, MMA, 101 p.
- Miott, G. 2002. **Efeito do Estado de Equilíbrio em Planta na Sedimentologia de Praias desenvolvidas entre Promontórios**. Porto Alegre Dissertação de Mestrado em Geociências. Programa de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Muehe D. H.(org.) 2006. **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro**. Brasília. Ministério do Meio Ambiente, 476 p.
- Muehe, D. 2001. Critérios Morfodinâmicos para o Estabelecimento de Limites da Orla Costeira para fins de Gerenciamento. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Vol.2, nº 1 (2001) 35-44.
- Nimer, E. 1979. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro, IBGE, 421 p.
- Oliveira, U.R. 2004. **Comportamento morfodinâmico e granulometria do arco praial Pântano do Sul -Açores, Ilha de Santa Catarina,SC, Brasil**. Florianópolis, 102 p. Dissertação de Mestrado em Geografia, Curso de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina.

- Perillo, G.M.E., Angeles, G.R., Piccolo, C.1999. Argentina COSAT Vulnerability Assessment Built Around GIS. **ArcNews on line**, fall 99. Disponível em <http://www.esri.com/news/arcnews/fall99articles/34-argentina.html>
- Porto Filho, E. 1993. Sedimentometria e algumas considerações sobre a biogeoquímica dos sedimentos de fundo da Lagoa da Conceição - Ilha de Santa Catarina. Dissertação de Mestrado em Geografia, Curso de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 343p.
- Pernetta, J.C.; Milliman, J.D. (eds.) 1995. Land and Ocean Interaction in the Coastal Zone: Implementation Plan. **Report IGBP/LOICZ n°33**. Stockolm, Swtzerland. p.215.
- Rosa, O.R.; Herrman, M.L. 1986. Geomorfologia. In: Gabinete de Planejamento Estado de Santa Catarina. **Atlas de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, p. 31-32.
- Stive, J.F.; Aarninkhof, H. L.; Hanson, H; Larson, M.; Winjnberg, K.M.; Nicholls, R.J. & Capobianco, M. 2002. Variability of shore and shoreline evolution. **Coastal Engineering** 47 : 211-235.
- Shuisky, B. Y.; Shuwartz, M.L. 1983. Basic Principles of Sediment Budget Study in the Coastal Zone. **Shore and Beach** January: 34-42.
- Simó, D.H.; Horn Fº, N.O. 2004. Caracterização e Distribuição Espacial das “Ressacas” e Áreas de Risco na Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. **Gravel** 2. 93-103
- Souza, C.R.G.; Suguio K. 2003. The Coastal Erosion Risk Zoning and The São Paulo State Plan for Coastal Management. IBrazilian Symposium on Sandy Beaches: Morphodynamics, ecology, Uses, Hazards and Management, Itajaí Proceedings of.... **Journal of Coastal Research Special Issue** 35: 530-547.
- Souza, C.R.G. 2007. Determination of net shore-drift cells based on textural and morphological gradations along foreshore of sandy beaches. **Journal of Coastal Research SI: 50, (no prelo)**.
- Souza, C.R.G. 2004. Risco a Inundações, Enchentes e Alagamentos em Regiões Costeiras. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1.Florianópolis.**Anais....**Florianópolis: GEDN/UFSC p.231-247, CD ROOM.
- Souza, C.R.G. 1998. Método morfo-sedimentar para a identificação de células de deriva litorânea. **Geosul** 14 (27): 243-247

- Souza, C.R.G. 1997. **As células de deriva litorânea e a erosão nas praias do Estado de São Paulo**. Tese de Doutorado em Geologia, Instituto Geológico, Universidade Federal de São Paulo. São Paulo, 184 p.
- Suguio K. 1973. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo: T. A. Queiroz, 317 p.
- Taggart, B.E.; Schwartz, M.L., 1988. Net shore-drift direction determination: a systematic approach. **Journal of Shoreline Management**, 3(4): 285-309.
- Thumerer, T.; Jones, A. P.; Brown, D. 2000. A GIS Based Coastal Management System for Climate Change Associated Flood Risk Assesment on the East Coast of England. **International Journal of Geographical Information Science** 14 (3): 265-281.
- Titus, J.G.; Richman, C. 2001. Maps of lands vulnerable to sea level rise: Modeled elevations along the U.S. Atlantic and Gulf Coasts. *Climate Research*: 18: 205-228.
- Titus J.G.;1991.Greenhouse Effect and Sea Level rise.In:Herbich J. (ed.) **Handbook of Coastal and Ocean Engineering: Wave Pohenomena and Coastal Structure**. Vol. 1. Mc Graw Hill Companies.New York USA.
- Varnes, D.J. 1984. **Landslide Hazard Zonation: Review of Principles and Practice**. UNESCO Press, Paris. 56p.
- Villa, F., McLeod, H. 2002. Environmental Vulnerability Indicators for Environmental Planning and Decision Making: Guidelines and Applications. **Environmental Management** 29: 335-348.
- Villwock, J.A.& Tomazelli, L.J. 1995. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas** 8 : 1-45.
- Woodroffe, C.D.; 2003. **Coasts, form, process and evolution**. University Press, Cambridge 623 p.
- Zang, K.; DouglasB.C.; Leatherman, S.P. 2004. Global Warming and Coastal Erosion. **Climate Change** 64: 41-58
- Zanini, L.F.P.; Branco, P.M.; Camozzato, E.& Ramgrab, G.E. (orgs.) 1997. **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Folhas Florianópolis/Lagoa, SG. 22-Z-D-V/VI, Estado de Santa Catarina, escala 1:100.000**. Brasília, DNPM/CPRM : 223 p.
- Zuquete, L. V., Péjon, O.J., Gandolfi, N. Paraguassu, A.B. 1995. Considerações básicas sobre a elaboração de carta de zoneamentos de probabilidade ou possibilida

CAPÍTULO 5

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab'Saber, A. N.; 1969. Um Conceito de Geomorfologia a Serviço das Pesquisas sobre o Quaternário. **Geomorfologia** 18: 1-21.
- Alcántara-Ayala, I.; 2002. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. **Geomorphology** 47: 107-124.
- Anders, F.J.; Byrnes, M.R.; 1991. Accuracy of shorelines change rates as determined from maps and aerial phoytographs. **Shore and Beach January, v. 1**, p.:17-26.
- Angulo, R. J. 1993.; Variações na configuração da linha de costa no Paraná nas últimas quatro décadas. **Boletim Paranaense de Geociências** 41: 52- 72.
- Araújo, T. C. M.; Costa, J.A.; Farias, F. S.; 2000. Vulnerabilidade das praias arenosas do município de Tamandaré- PE. I Simpósio Brasileiro sobre Praias Arenosas, Itajaí. **Anais...**,pp. 381-383.
- Araújo, C.E.S.; Franco, D.; Melo, E.; Pimenta, F.;2004. Wave Regime Characteristics of the Southern Brazilian Coast. In: Copedec VI International Conference On Coastal and Port Engineering in Developing Countries, 6, 2003, Colombo, Sri Lanka. **Proceedings...**, Colombo, Sri Lanka, pp. 1- 15.
- Bartlett, D. J. Working on the Frontiers of Science: Applying GIS to the Coastal Zone. (11-36 p.) In: Wright, D. Bartlett D.J. **Marine and Coastal Geographical Information Systems**. London: Taylor & Francis, 2000. 320 p.
- Bigarella J.J.; Becker R.D.; Santos G. F.; 1994. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis, Editora da UFSC, 429 p.
- Bird, E. 1985. **Coastline Changes**. John Wiley and Sons, New York, 219 p.
- Borrough, P. A. 1986.**Principles of Geographical Information Systems: methods and requirements for land use planning**. Oxford, United Kingdom: 178 p.
- Brasil, Decreto nº 5.300 de 08 de dezembro de 2004.

- Bray, M. J.; Carter, D.J. & Hooke, J. M. 1995. Littoral Cell Definition and Budgets for Central Southern England. **Journal of Coastal Research**, 11 (2): 381-400
- Brunn, P.; 1991. Worldwide impact of Sea Level Rise on Shorelines. In:Herbich J. (ed.) **Handbook of Coastal and Ocean Engineering: Wave Phenomena and Coastal Structure**. Vol. 1. Mc Graw Hill Companies.New York USA.
- Brunn, P.; 1962. Sea level rise as a cause of shoreline erosion. **Journal of Waterways and Harbor** 88: 117-130.
- Bush, D.M., Richmond, B.M., Neal, W.J.; 2000. Coastal Zone Hazard Maps and Recommendations: Eastern Puerto Rico. **Environmental Geosciences** 8: 38-60.
- Bush, D.M.; Neal, W.J.; Young, R.S.; Pilkey, O.H.; 1999. Utilization of Geoindicators for Rapid Assesment of Coastal-Hazard Risk and Mitigation. **Ocean and Coastal Management** 42: 647-670.
- Bush, D.M.; Pilkey Jr., O.H.; Neal, W.J.; 1996. **Living by the rules of the sea**. London: Duke University Press. 196 p
- Camfield, F.E.; Morang, A. 1996. Defining and Interpreting Shoreline Change. **Ocean and Coastal Management** 32 (3): 129-151.
- Capobianco, M.; De Vriend H. J.; Nicholls, R.J.; Stive, M. J. F.; 2001. Coastal Area Impact and Vulnerability Assesment: The Point of View of a Morphodynamic Modeller. **Journal of Coastal Research** 15: 701-716.
- Caruso Jr., F. 1993. Mapa Geológico da Ilha de Santa Catarina - Texto explicativo e mapa- escala: 1:100.000. **Notas Técnicas** 6: 1-28.
- Carter, R.G.W. 1988. **Coastal Environments: An introduction of Physical, Ecological and Cultural Systems**. London,, Academic press, 617p.
- Castilhos, J. A. 1995. **Estudo Evolutivo, Sedimentológico e Morfodinâmico da Planície Costeira e Praia da Armação – Ilha de Santa Catarina, SC**. Florianópolis 134 p. Dissertação de Mestrado em Geografia, Curso de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Coastal Engineering Research Center (CERC) 1992. Using morphology to determine net littoral drift directions in complex systems. **Coastal Engineering Technical Note** 30:1-8
- Coastal Engineering Research Center. (CERC) 1984. **Manual of Coastal Engineering**. Vol. 1. US. Army Corps of Engineering. 598 p.

- Cendrero A. 1989. Mapping and Evaluation of Coastal Areas for Planning. **Ocean & Shoreline Management** 12: 427-462.
- Cendrero, A. 1975. Environmental Geology of Santander Bay Área, Northern Spain. **Environmental Geology** 1: -114
- Chemane, D.; Motta, H.; Achimo, M.; 1997. Vulnerability of Coastal Resources to Climate Change in Mozambique: a Call for Integrated Coastal Zone Management. **Ocean & Coastal Management** 39: 63-83.
- Clark, J. R. 1995. **Coastal Zone Management Handbook**. CRC Press. Boca Raton Florida, 720 p.
- Cobum A.S. 2001. Reducing Vulnerability of North Carolina Communities: A Model Approach for Identifying, Mapping and Mitigating Coastal Hazards. Program for the Study of Developed Shorelines, Duke University. Disponível em: <http://www.env.duke.edu/psds/docs.htm>.. Acessado em 5 de outubro de 2003.
- Cooper, J. A.G.; Mc Laughin, S; 1998; Comtemporany Multidisciplinary Approaches to Coastal Classification and Environmental Risks Analysis. **Journal of Coastal Research** 2 (14): 512-524.
- Cowell, P.J.; Stive, M.J.F.; Niedoroda, A.W.;de vriend, H.J.; Swift, D.J.P.; Kaminsky, F.; Capobianco M.. 2003. The Coastal Tract (Part 1): A Conceptual Approach Aggregated Modeling of Low order Coastal Change. **Journal of Coastal Research** 4 (19): 812-827.
- Cowell, P.J. & Thom, B.G. 1997. Morphodynamics of Coastal Evolution. In: Carter, R.W.W.. & Woodroffe, C.D. (eds.). **Coastal evolution: late quaternary shoreline morphodynamics**, Cambridge, University Press, 539 p.
- Crowell, M.; Leatherman, S.P.; Buckley, M.K. 1993. Shoreline Change Rate Analysis: Long Term versus Short Term Data. **Shore and Beach** 61: 13-20.
- Crowell, M.; Leatherman,S.P. & Buckley, M.K.; 1991. Historical Shoreline Change: Error Analysis and Mapping Accuracy. **Journal of Coastal Research** , 7 (3): 839-852.
- Cruz, O. 1996. **A Ilha de Santa Catarina e o continente próximo: um estudo de geomorfologia costeira**. Florianópolis, Editora da UFSC, 276p.

- Dal Cin, R.; Simeoni, U.; 1994. A model for determining the Classification, Vulnerability and Risk in the Southern Coastal Zone of the Marche (Italy). **Journal of Coastal Research** 10(1):19-29
- Dillenburg, S.; Esteves, L.S.; Tomazelli, L. 2004. A critical evaluation of coastal erosion in Rio Grande do Sul, Southern Brazil, **An. Acad. Bras. Ciênc.**, **76** (3). Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/aabc/v76n3/a14v76n3.pdf>. Acesso em: 25 de nov. de 2005.
- Dolan, R., Fenster, M.S. & Holme, S.J. 1991. Temporal Analysis of Shoreline Recession and Accretion. **Journal of Coastal Research** 7: 723-744.
- Dobosiewicz, J. 2001. Applications of Digital Elevation Models and Geographical Information Systems to Coastal Flood Studies along the shoreline of Raritan Bay, New Jersey. **Environmental Geosciences** 8: 11-20
- Douglas, D.; Peucker, T. 1973. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. **The Canadian Cartographer**: 10(2): 112-122
- Dutrieux, E.; Canovas, J. Denis; Y. Hénocque; J.P. Quod J.; Bigot, L.; 2000. Guide Méthodologique Pour L'élaboration de Cartes de Vulnérabilité des Zones Côtières de l' Ocean Indien. INFREMER/UNESCO. **IOC Guides and Manuals** 38, 40 p.
- El-Raey, M.; 1997; Vulnerability of the coastal zone of the Nile Delta of Egypt, to the impacts of sea level rise. **Ocean and Coastal Management** 37 (1): 29-40.
- Ferreira A. B. H. 1977. **Dicionário da Língua Portuguesa AURÉLIO**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.
- Finkl, C.W. 2004. Coastal Classification: Systematic Approaches to Consider in the Development of a Comprehensive Scheme. **Journal of Coastal Research** 20:166-213.
- 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.
- Galgano, F.A.; Douglas, B.C. 2000 .Shoreline Prediction: Methods and Errors. **Environmental Geosciences** 7: 23-31.
- Gallerini, G., De Donatis, M., Devoti, S., Gabellini, M., Nisi, M.F., Silenzi, S. 2003. *In*: CoastGis'03: Int. Symp. on GIS and Computer Cartography for Coastal Zone Management. **Proceedings**. Disponível em <http://www.gisig.it/coastgis>. Acessado em 23 de Junho de 2004

- Gornitz, V.M.; Daniels, R.C.; White, T.W.; Birdwell, K.R.; 1992. The Development of a Coastal Risk Assessment Database: Vulnerability to Sea Level Rise in the U.S. Southeast. **Journal of Coastal Research** Special Issue 12: 327-338.
- Goodchild, M.; Bradley, O. P.; Louis, T. S.(eds.) 1993. **Environmental Modeling with GIS**. Oxford University Press. 421 p.
- Gré, J.C.R.; Castilho, J.A & Horn Filho, N.O. 1997. Quaternary Deposits of the Pântano do Sul Beach, Santa Catarina Island, Brazil. In: Atas do Colóquio Franco-Brasileiro de Manejo Costeiro de Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, Ed. da UFSC. p. 211-218.
- Greve, C.A; Cowell, P.; Thom, B.G.; 2000. Application of a Geographical Information System for a Risk Assessment on Open Ocean Beaches: Collaroy/Narrabeen Beach, Sydney, Australia-An Example. **Environmental Geoscience** 7 (3): 149-161.
- Griggs, J. B. 1987 Littoral cells and harbor dredging along the California coast. **Environmental Geology** 10: 7-20
- Hanson, H.; Aarkinkhof, S.; Capobianco, M.; Jimenez, J. A.; Larson, M.; Nicholls, R. J.; Plant N. G.; Southgate, H. N.; Steetzel, H. J.; Stive M.J.F.; de Vriend, H. J.; 2003. Modelling Coastal Evolution on Yearly to Decadal Time Scales. **Journal of Coastal Research**. 4 (19): 812-827.
- Hansom, J.D. 2001. Coastal sensitivity to environmental change a view from the beach. **Catena** 42: 291-305.
- Hennecke, W.G.,Cowell, P.2000. Gis Modeling of Impacts of an Accelerated Rate of Sea Level on Coastal Inlets and Deeply Embayed Shorelines. **Environmental Geosciences** 7: 137-148.
- Hogben, N.; Dacunha, N. M. C & Oliver, G. F.; 1986. **Global Wave Statistics**. New York, Chapman and Hall, 661 p.
- Hughes, P.; Brundrit, G. B.; Searson, S.; 1992. The Vulnerability of Walvis Bay to Rising Sea Levels. **Journal of Coastal Research** 8: 868-881.
- Inman, D.L.; 1971. **Nearshore processes**. McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology 9: 26-33.
- Inman, D.L. 2003. Littoral Cells. In: Schwartz, M. (ed.) **Encyclopedia of Coastal Science**. The Earth Science Encyclopedia on line. 1-20. on line: <http://repositories.cdlib.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1037&context=sio>

- International Strategy for Disaster Reduction (ISDR) 2002. **Living With Risk. A Global Review of Disaster Reduction Initiatives.** United Nations, Inter Agency Secretariat. Preliminary version. Geneva, Switzerland. 384p.
- IPCC- International Panel of Climate Change.2001. **Third Assessment Report Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability** .United Nations Environment Program-UNEP. Disponível em: <http://www.ipcc.ch> Acesso em: 02 / 03/ 2006
- International Panel of Climate Change (IPCC). 2007. **Fourth Assessment Report Climate Change: Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level.** United Nations Environment Program-UNEP. Disponível em: <http://www.ipcc.ch> Acesso em: 20 / 07 / 2007.
- Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis-SC (IPUF). 2002. **Levantamento Aerofotogramétrico da Ilha de Santa Catarina.** Ortofotocartas. Escala 1:2.000.
- Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis-SC (IPUF). 1994. **Levantamento Aerofotogramétrico - Aglomerado Urbano de Florianópolis.** Foto aérea. Florianópolis, escala: 1.25.000.
- Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis-SC (IPUF). 1979. **Levantamento Aerofotogramétrico-Aglomerado Urbano de Florianópolis.** Folha SG. 22-Z-D-1-SO-C. Florianópolis, Mapa Topográfico, escala: 1.10.000.
- Klein, R.; Nicholls, R, 1999, Assessment of Coastal Vulnerability to Climate Change. **Ambio** 28 (2): 182-187
- Komar, P. D. 1983. **Handbook of Coastal Processes and Erosion.** Florida, CRC press, 305 p.
- Komar P. D. 1976. **Beach processes and sedimentation.** Prentice Hall, New Jersey, 429 p.
- Leatherman, S.; 2003. Shoreline Change Mapping and Management Along the U.S. East Coast. **Journal of Coastal Research** Special Issue 38: 5-13.
- Leatherman S.; 1983. Map Accuracy and Errors: Shoreline Mapping. **Shore and Beach** 7:28-33.
- Lima, R.C.A.; Araújo, T. C. M., Farias, F. S.; 2000. Vulnerabilidade das praias arenosas dos municípios de Paripueira e Barra de Santo Antônio. I Simpósio Brasileiro sobre Praias Arenosas, Itajaí. Anais, pp. 371-382.

May, J.P.; Tanner, W.F. 1973. **The littoral power gradient and shoreline changes**. In: Coates, D.R. (Ed.), Coastal Geomorphology, Geomorphology Symposium, 1972. State University of New York, Binghamton. 400 p.

Mazzer, A. M. ; Dillenburg, S. R.; **Variações Temporais da Linha de Costa em Praias Arenosas Dominadas por Ondas do Sudeste da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis-SC) Pesquisas em Geociências** (submetido)

Mazzer, A. M.; Souza, C.R.; Dillenburg, S.R.; Bacilla, C. Determination of Coastal Cells at Southeast of Santa Catarina Island. **Geomorphology** (submetido)

Mazzer, A. M. 2005. Aplicação de Taxas de Variação da Linha de Costa na Praia da Armação. In: X Congresso de Associação Brasileira de Estudos do Quaternário-ABEQUA. **Anais**. Guarapari, Espírito Santo, CD-ROM.

Mazzer, A M.; 2004. Análise da Vulnerabilidade Costeira com uso de Sistema de Informação Geográfica: Uma aplicação ao trecho litorâneo sul da Ilha de Santa Catarina.. In: V Simpósio Nacional de Geomorfologia. **Anais**. Santa Maria, Brazil. CD-ROM.

Menezes, J. T.; Klein, A. H. 2004. Coastal Erosion Vulnerability Analysis Methodology. 8th International Coastal Symposium. Itajaí. In: **Proceedings**. CTTMAR/CERF: Itajaí: 196-199 p.

Ministério do Meio Ambiente (MMA) 2006. **Projeto Orla: Subsídios para um Projeto de Gestão**. Brasília, MMA, 101 p.

Miott, G. 2002. **Efeito do Estado de Equilíbrio em Planta na Sedimentologia de Praias desenvolvidas entre Promontórios**. Porto Alegre Dissertação de Mestrado em Geociências. Programa de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Moore, L.J. 2000. Shoreline Mapping Techniques. **Journal Coastal Research** 16 (1): 111-124.

Morehead, A.; Morehead L. 1995. **The New American Webster Handy College Dictionary**. Signet Book: New Work, USA, 796 p.

Muehe D. H.(org.) 2006. **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro**. Brasília. Ministério do Meio Ambiente, 476 p.

- Muehe, D. 2001. Critérios Morfodinâmicos para o Estabelecimento de Limites da Orla Costeira para fins de Gerenciamento. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Vol.2, nº 1 (2001) 35-44.
- Nimer, E. 1979. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro, IBGE, 421 p.
- Oliveira, U.R. 2004. **Comportamento morfodinâmico e granulometria do arco praial Pântano do Sul -Açores, Ilha de Santa Catarina,SC, Brasil**. Florianópolis, 102 p. Dissertação de Mestrado em Geografia, Curso de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Perillo, G.M.E., Angeles, G.R., Piccolo, C.1999. Argentina COSAT Vulnerability Assessment Built Around GIS. **ArcNews on line**, fall 99. Disponível em: <http://www.esri.com/news/arcnews/fall99articles/34-argentina.html>. Acessado em 20/03/2005.
- Pernetta, J.C.; Milliman, J.D. (eds.) 1995. Land and Ocean Interaction in the Coastal Zone: Implementation Plan. **Report IGBP/LOICZ nº33**. Stockolm, Switzerland. p.215.
- Porto Filho, E. 1993. **Sedimentometria e algumas considerações sobre a biogeoquímica dos sedimentos de fundo da Lagoa da Conceição - Ilha de Santa Catarina**. Dissertação de Mestrado em Geografia, Curso de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 343p.
- Richmond, B.M.; Fletcher, C.H.; Grossman, E.E.; Gibbs, A.E.; 2000. Islands at Risk: Coastal Hazard Assesment and Mapping in the Hawaiian Islands. **Environmental Geosciences** 8(1): 21-37.
- Rivas, V. Cendrero, A. 1992.Human Influence in a Low - Hazard coastal Area: An Approach to Risk Assesment and Proposal of Mitigation Strategies. **Journal of Coastal Research** Special Issue 12: 289-298.
- Ross, J. L. S.. 1991. **Geomorfologia ambiente e planejamento**. 2º ed. São Paulo: Contexto, 84p.
- Rosa, O.R.; Herrman, M.L. 1986. Geomorfologia. In: Gabinete de Planejamento Estado de Santa Catarina. **Atlas de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, p. 31-32.
- Silveira, J.D. 1964. Morfologia do litoral. In: Azevedo, A. (ed.). **Brasil: a Terra e o Homem- As Bases Físicas**. São Paulo, p. 253-305.

- Short, A. D. 1999. **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics**. Chichester, Wiley & Sons, 379 p.
- Short, A. D.; Masselink, G. 1999. Embayed and Structurally controlled beaches. Short, A. (Ed.) **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics**. Chichester, Wiley & Sons, 379 p.
- Short, A. D.; Trembanis A.C. 2004. Decadal Scale Patterns in Beach Oscillation and Rotation Narrabeen Beach, Australia- Time Series, PCA and Wavelet Analysis. **Journal of Coastal Research** 20 (2):523-532.
- Soares, C.R; Paranhos F^o , A.C.; Souza, M.C.; Branco, J.C.; Fabianovicz, R.; Prazeres F^o , H.; Kogut, J.S. 1994. Variações na linha de costa no Balneário Pontal do Sul (PR) no período 1953-1993: um balanço sedimentar. **Boletim Paranaense de Geociências** 42 : 161 - 171.
- Sousa, M.C.; Angulo, R.J. 2003. .Decadal and Inter-annual Variations of Shoreline and Beach Volumes in Itapoá (Santa Catarina, Brazil). Brazilian Symposium on Sandy Beaches: Morphodynamics, Ecology, Uses, Hazards and Management, **Journal of Coastal Research** Special Issue 35 : 202-208.
- Stapor, F. W. 1971. Sediment budgets on a compartmented low-to-moderate energy coast in northwest Florida. **Marine Geology** 10: 1-7.
- Stapor, F. W.; May, J. P. 1983. The cellular nature of littoral drift along the northeast Florida Coast. **Marine Geology** 51: 217-237.
- Stive, J.F.; Aarninkhof, H. L.; Hanson, H; Larson, M.; Winjnberg, K.M.; Nicholls, R.J. & Capobianco, M. 2002. Variability of shore and shoreline evolution. **Coastal Engineering** 47 : 211-235.
- Shuisky, B. Y.; Shuwartz, M.L. 1983. Basic Principles of Sediment Budget Study in the Coastal Zone. **Shore and Beach** January: 34-42.
- Silva, A. B. 1999. **Sistemas de Informações Georeferenciadas**. Campinas, Unicamp, 236 p.
- Simó, D.H.; Horn F^o, N.O. 2004. Caracterização e Distribuição Espacial das “Ressacas” e Áreas de Risco na Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. **Gravel** 2: 93-103
- Souza, C.R.G.; Suguio K. 2003. The Coastal Erosion Risk Zoning and The São Paulo State Plan for Coastal Management. IBrazilian Symposium on Sandy Beaches: Morphodynamics, ecology, Uses, Hazards and Management, Itajaí Proceedings, **Journal of Coastal Research** Special Issue 35: 530-547.

- Souza, C.R.G. 2007. Determination of net shore-drift cells based on textural and morphological gradations along foreshore of sandy beaches. **Journal of Coastal Research SI: 50** (no prelo).
- Souza, C.R.G. 2004. Risco a Inundações, Enchentes e Alagamentos em Regiões Costeiras. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1. Florianópolis. **Anais....** Florianópolis: GEDN/UFSC p.231-247, CD ROOM.
- Souza, C.R.G. 1998. Método morfo-sedimentar para a identificação de células de deriva litorânea. **Geosul** 14 (27): 243-247
- Souza, C.R.G. 1997. **As células de deriva litorânea e a erosão nas praias do Estado de São Paulo**. Tese de Doutorado em Geologia, Instituto Geológico, Universidade Federal de São Paulo. São Paulo, 184 p.
- Suguio K. 1973. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo: T. A. Queiroz, 317 p.
- Taggart, B.E.; Schwartz, M.L., 1988. Net shore-drift direction determination: a systematic approach. **Journal of Shoreline Management**, 3(4): 285-309.
- Thumerer, T.; Jones, A. P.; Brown, D. 2000. A GIS Based Coastal Management System for Climate Change Associated Flood Risk Assesment on the East Coast of England. **International Journal of Geographical Information Science** 14 (3): 265-281.
- Titus, J.G.; Richman, C. 2001. Maps of lands vulnerable to sea level rise: Modeled elevations along the U.S. Atlantic and Gulf Coasts. **Climate Research**: 18: 205-228.
- Titus J.G.;1991.Greenhouse Effect and Sea Level rise.In:Herbich J. (ed.) **Handbook of Coastal and Ocean Engineering: Wave Pohenomena and Coastal Structure**. Vol. 1. Mc Graw Hill Companies.New York USA.
- Thieler, E.R & Martin, D.; Ergul, A. 2003. The Digital Shoreline Analysis System, version 2.0: Shoreline change measurement software extension for ArcView.** USGS Open-File Report, p. 3-76,
- Varnes, D.J. 1984. **Landslide Hazard Zonation: Review of Principles and Practice**. UNESCO Press, Paris. 56p.

- Villa, F., McLeod, H. 2002. Environmental Vulnerability Indicators for Environmental Planning and Decision Making: Guidelines and Applications. **Environmental Management** 29: 335-348.
- Villwock, J.A.& Tomazelli, L.J. 1995. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas** 8 : 1-45.
- Woodroffe, C.D.; 2003. **Coasts, form, process and evolution**. University Press, Cambridge 623 p.
- Wright, R.L. 1976. Principles in a Geomorphological approach to land classification. In: King, A.M. (ed.) **Landforms and Geomorphology: Concepts and History**. Academic press, EUA.
- Wright, L. D.; Short, A. D. 1984. Morphodynamics variability of surf zones and beaches: a synthesis. **Marine Geology** 56: 93-118.
- Zang, K.; Douglas B.C.; Leatherman, S.P. 2004. Global Warming and Coastal Erosion. **Climate Change** 64: 41-58
- Zanini, L.F.P.; Branco, P.M.; Camozzato, E.& Ramgrab, G.E. (orgs.) 1997. **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Folhas Florianópolis/Lagoa, SG. 22-Z-D-V/VI, Estado de Santa Catarina, escala 1:100.000**. Brasília, DNPM/CPRM : 223 p.
- Zonneveld, I.S. 1994. **Basic principles of classification**. In: Klijn, F. Ecosystem Classification for Environmental Management. Netherlands: Kluwer Academic Publishers. p.23-47.
- Zuquete, L. V., Péjon, O.J., Gandolfi, N. Paraguassu, A.B. 1995. Considerações básicas sobre a elaboração de carta de zoneamentos de probabilidade ou possibilidade de ocorrer eventos perigosos e de riscos associados. **Geociências** 14 (2): 9-39.

ANEXO A