

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE FILOSOFIAS E CIÊNCIAS HUMANAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

Mariela Muler

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DE PRAIAS DA ILHA  
DE SANTA CATARINA A PERIGOS COSTEIROS ATRAVÉS  
DA APLICAÇÃO DE UM ÍNDICE MULTICRITÉRIO**

Dissertação submetida ao Programa de  
Pós-Graduação em Geografia da  
Universidade Federal de Santa Catarina  
para a obtenção do Grau de Mestre em  
Geografia.  
Orientador: Prof. Dr. Jarbas Bonetti Filho

Florianópolis  
2012

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Muler, Mariela

AValiação DA VULNERABILIDADE DE PRAIAS DA ILHA DE SANTA CATARINA A PERIGOS COSTEIROS ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE UM ÍNDICE MULTICRITÉRIO [dissertação] / Mariela Muler ; orientador, Jarbas Bonetti Filho - Florianópolis, SC, 2012. 189 p. ; 21cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Inclui referências

1. Geografia. 2. vulnerabilidade . 3. eventos extremos. 4. riscos costeiros. 5. análise espacial. I. Bonetti Filho, Jarbas . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

**Mariela Muler**

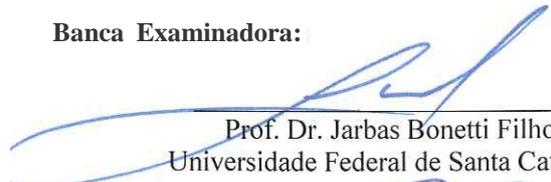
**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DE PRAIAS  
DA ILHA DE SANTA CATARINA A PERIGOS  
COSTEIROS ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE UM  
ÍNDICE MULTICRITÉRIO**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de "Mestre em Geografia", e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Geografia.

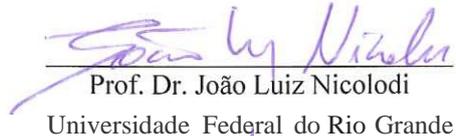
Florianópolis, 27 de agosto de 2012.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Ruth Emília Nogueira  
Coordenadora do PPGG/UFSC

**Banca Examinadora:**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Jarbas Bonetti Filho  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Antônio Henrique da Fontoura Klein  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. João Luiz Nicolodi  
Universidade Federal do Rio Grande

✓



Dedico esta dissertação a minha mãe,  
Lúcia Helena Cossi.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Jarbas Bonetti, pela confiança, pelo conhecimento passado, pelas oportunidades oferecidas, pela amizade. Sua competência e bom humor tornaram meu caminho mais fácil.

À Professora, tão querida, Carla Bonetti por toda a ajuda estatística.

Ao Prof. Antonio Klein e ao Prof. João Nicolodi pela participação na banca de defesa, pelas correções e sugestões.

Ao Frederico Rudorff e ao Luiz Vianna pelas valiosas sugestões.

À Camila Cardoso pela ajuda com os ciclones extratropicais.

Ao Rafael Riani pela ajuda especialmente na qualificação.

À CAPES, pela bolsa de estudos que viabilizou esta pesquisa.

Ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), à Secretaria de estado do Planejamento (SPG) e ao Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis (IPUF) pelo fornecimento das fotografias aéreas.

À “grande equipe” do LOC – Laboratório de Oceanografia Costeira, por ajudar a Engenheira Ambiental na Oceanografia e pela agradável companhia!

Ao Guilherme Vieira e Clarissa Brelinger De Luca, especialmente pela ideia de aplicar o SWAN e por toda a ajuda para que desse certo.

Ao querido amigo Alexandre Vilci Campos, que me ajudou sempre.

Ao meu namorado, Vinícius, por toda a paciência, incentivo e bons momentos! Obrigada, doutor.

Ao meu pai, pela compreensão de ter a filha ausente...

Aos meus avós José e Climene que sempre me apoiaram muito mesmo de longe.

Às minhas irmãs, Nale e Nalu, por sempre me incentivarem. Estaremos sempre juntas!

À minha mãe, a pessoa que mais ajudou em tudo ao longo de toda a caminhada! Grazie, mamma!



*“...o mar tudo recobre, sem nada asfixiar...”*  
Carlos Drummond de Andrade



## RESUMO

Processos contínuos (tais como ventos, ondas e marés) e eventos episódicos extremos (como furacões e ciclones extratropicais) atingem regularmente a zona costeira, no entanto, dependendo de sua intensidade e abrangência, estes podem constituir perigo às comunidades costeiras. Previsões relacionadas às mudanças climáticas apontam para um aumento da frequência e intensidade de eventos extremos, gerando uma maior preocupação com a vulnerabilidade costeira. Este trabalho apresenta uma avaliação da vulnerabilidade a marés meteorológicas associadas a ondas de tempestade das praias dos Ingleses, Barra da Lagoa/Moçambique e da Armação, localizadas na Ilha de Santa Catarina (SC) com base em análise espacial em SIG. Para isto, propõe-se um índice de avaliação de vulnerabilidade costeira, baseado no “Coastal Vulnerability Index (CVI)” proposto em trabalhos anteriores. O índice aqui sugerido permite, a partir da integração de diferentes descritores, identificar setores de uma praia com diferentes graus de vulnerabilidade, sendo adequado para aplicação em escala local. Nesta proposta considera-se, para avaliação da vulnerabilidade costeira, o tipo de retropraia (*backshore* (retropraia)), a altitude do *backshore* (retropraia), a taxa de variação da linha de costa, o grau de exposição às ondas e a população em risco. Esta última variável, em particular, não havia sido incorporada nos índices anteriormente propostos na literatura, tendo sido obtida pela integração da contabilização de construções em perigo e dos dados censitários (setores censitários). A Praia dos Ingleses foi a que apresentou situação mais grave, com aproximadamente 96% da sua linha de costa associada às classes de vulnerabilidade alta e muito alta. A Praia da Armação teve o setor centro-norte incluído nas classes baixa e muito baixa (43% da sua linha de costa) e o setor centro-sul e o extremo sul apresentaram vulnerabilidades alta e muito alta, totalizando 48% da linha de costa da praia. O arco praiial Barra da Lagoa/Moçambique, devido à presença do Parque Estadual do Rio Vermelho, tem grande parte da linha de costa e da retropraia (*backshore*) preservadas, representando 73% da sua linha de costa. Esta praia apresentou problemas quanto à vulnerabilidade apenas no extremo sul, com 12% da extensão praiial nas classes alta e muito alta.

**Palavras-chave:** riscos costeiros, eventos extremos, suscetibilidade, índice de vulnerabilidade costeira, análise espacial.



## ABSTRACT

Continuous processes (like wind, wave and tide) and extreme events (like extratropical cyclones and hurricanes) reach the coast regularly, however, depending on their intensity and scope, they can become a hazard to the coastal social system. Climate change predictions point to an increase on extreme events' frequency and intensity, creating a greater concern about coastal vulnerability. This research presents a vulnerability analysis, considering storm surges, for the beaches: Ingleses, Barra da Lagoa/Moçambique and Armação, located in Santa Catarina Island, using spatial analysis in GIS (Geography Information System). For this, a Coastal Vulnerability Index (CVI) was proposed based on CVI from previous researches. The suggested index allows, from the integration of diverse descriptors, to identify beach sectors that present different vulnerability degrees, it is suitable for local analysis. In this proposal five descriptors were considered for the coastal vulnerability analysis: backshore type, backshore altitude, shoreline displacement, shoreline exposure to wave incidence and population at risk. Particularly, this last variable was not considered on the previous proposed indexes, it was obtained from the integration of constructions in risk accounting and census data. For final results, Ingleses's beach presented the worst scenario, with 96% of the shoreline in high and very high vulnerability. Armação's beach north sector, representing approximately 43% of its shoreline, presented low and very low vulnerability degrees; on the other hand, its southern section presented high and very high vulnerability. The presence of an environmental protected area (Rio Vermelho's Park) on Moçambique's backshore preserved the coast, then, 73% of the shoreline presented low and very low vulnerability degrees. Barra da Lagoa's beach, on southern section, presented high and very high vulnerability degrees.

**Keywords:** coastal risk, extreme events, susceptibility, coastal vulnerability index, population at risk, spatial analysis.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema explicativo dos termos e conceitos utilizados neste trabalho. Adaptado de ANPC (2010).	36
Figura 2. Localização das praias em estudo.	43
Figura 3. Efeitos de uma sequência de tempestades ocorridas entre abril e junho de 2010: destruição do posto salva-vidas(1) e de bares e restaurantes(2) na Barra da Lagoa. Fotografias de Mariela Muler.	46
Figura 4. Roteiro metodológico da aplicação do CVI.	58
Figura 5. Sequência de etapas para a classificação final da variável Variação da linha de costa.	60
Figura 6. Exemplo de identificação da fronteira areia seca/areia úmida (Praia dos Ingleses).	63
Figura 7. Posição dos transectos traçados pelo aplicativo DSAS (500m de comprimento e 200m entre eles).	64
Figura 8. Sequência de etapas para definição da área em perigo.	69
Figura 9. Pontos de declividade e seus valores em graus.	71
Figura 10. Figura ilustrativa da estimativa do cálculo da distância horizontal alcançada pelas maiores ondas encontradas por Araujo et al. (2003).	72
Figura 11. Distância horizontal alcançada pelo mar devido à elevação do nível do mar sugerida pelo IPCC (2007) para os próximos 50 anos.	73
Figura 12. Sequência de etapas para a classificação final da variável Tipo de backshore.	74
Figura 13. Sequência de etapas para a classificação final da variável Altitude do backshore.	76
Figura 14. Figura ilustrativa da variação da suscetibilidade quanto à altitude e a distância da linha de costa.	78
Figura 15. Sequência de etapas para a classificação final da variável Exposição às ondas.	80
Figura 16. Arquivo <i>raster</i> . Continente e ilha com atributo 1 (cor verde); oceano com atributo 0 (cor preto).	81
Figura 17. Localização das estações meteorológicas utilizadas.	83
Figura 18. Localização do ponto de onde foram calculadas alturas de onda - SMC-Brasil.	85
Figura 19. Exemplo de gráfico do tipo <i>boxplot</i> com exibição dos valores extremos e outliers.	86
Figura 20. Intervalos de graus adotados para cada direção de onda.	86
Figura 21. Sequência de etapas para a classificação final da variável População em risco.	88
Figura 22. Ilustração da contagem de construções e área construída, Praia dos Ingleses.	89
Figura 23. Processo de valorização / desvalorização das propriedades litorâneas em função da proximidade do mar e da percepção do risco à erosão costeira. Adaptado de Lins-de-Barros (2010), fonte original: McLaughlin et al. (2002).	91

Figura 24. Re-segmentação da linha de costa a partir das variáveis de entrada no índice. ....	94
Figura 25. Esquema do cálculo do CVI. ....	95
Figura 26. Localização dos pontos de coleta e observação. Dados obtidos em Oliveira (2009). ....	99
Figura 27. Porcentagem de linha de costa de cada praia para cada classe de suscetibilidade referente à variável taxa de variação da linha de costa. ....	107
Figura 28. Classes de suscetibilidade para a variação da linha de costa. ....	108
Figura 29. Representação indireta da área em perigo (1) para as praias em estudo. O eixo y mostra a distância da linha de costa obtida (valores negativos indicam erosão) e o eixo x mostra os transectos perpendiculares a praia, distanciados 200 metros um do outro. ....	110
Figura 30. Largura da área em perigo para as praias em estudo. ....	114
Figura 31. Área em perigo utilizada nas próximas etapas deste trabalho. ....	116
Figura 32. Trechos das praias em estudo com a área em perigo em maior detalhe. ....	117
Figura 33. Exemplo de trecho sul da Praia dos Ingleses, onde podem ser vistos três tipos de backshore. ....	118
Figura 34. Porcentagem de linha de costa para cada tipo de backshore nas praias em estudo. ....	119
Figura 35. Tipo de backshore e classes de suscetibilidade. ....	120
Figura 36. Modelos Digitais de Elevação das praias em estudo. ....	122
Figura 37. Porcentagem de linha de costa para classes de altitude do backshore nas praias em estudo. ....	123
Figura 38. Altitude do backshore para as praias em estudo. ....	124
Figura 39. Resultado de exposição obtido pelo Wind Fetch Model e campo propagado através do modelo SWAN para incidência de ondas de sul (180°). ....	127
Figura 40. Resultado de exposição obtido pelo Wind Fetch Model e campo propagado através do modelo SWAN para incidência de ondas de sudeste (135°). ....	128
Figura 41. Resultado de exposição obtido pelo Wind Fetch Model e campo propagado através do modelo SWAN para incidência de ondas de leste (90°). ....	129
Figura 42. Resultado de exposição obtido pelo Wind Fetch Model e campo propagado através do modelo SWAN para incidência de ondas de nordeste (45°). ....	130
Figura 43. Classes de suscetibilidade à exposição às ondas de Sul. ....	131
Figura 44. Classes de suscetibilidade à exposição às ondas de Sudeste. ....	132
Figura 45. Classes de suscetibilidade à exposição às ondas de Leste. ....	133
Figura 46. Classe de suscetibilidade à exposição às ondas de Nordeste. ....	134
Figura 47. Valores anômalos de alturas de onda na série completa: outliers em azul e extremos em vermelho. ....	137
Figura 48. Valores outliers e extremos de altura de onda para cada direção e para a série toda. ....	138

Figura 49. Número de casos de outliers e de valores extremos considerando os valores obtidos para toda a série - outliers: 3,69m e extremos: 5,18m .....	140
Figura 50. Classes de suscetibilidade da variável exposição às ondas.....	142
Figura 51. Classes de suscetibilidade para as praias em estudo segundo a porcentagem de área construída na área em perigo.....	143
Figura 52. Porcentagem de linha de costa de cada praia para cada classe de suscetibilidade referente às construções em risco.....	144
Figura 53. Área construída na área em perigo da Praia dos Ingleses apresentada na cor vermelho. ....	144
Figura 54. Área construída na área em perigo da Praia da Armação apresentada na cor vermelho. ....	145
Figura 55. Área construída na área em perigo da Praia Barra da Lagoa/Moçambique apresentada na cor vermelho.....	146
Figura 56. Aumento da área construída na área em perigo das três praias em estudo no período analisado.....	147
Figura 57. Evolução da ocupação da costa com a taxa de construção em metros/ano. ....	148
Figura 58. Evolução da área construída na Praia dos Ingleses no período 1957-2009. ....	149
Figura 59. Evolução da área construída na Praia da Armação no período 1957-2009. ....	150
Figura 60. Evolução da área construída na Praia da Barra da Lagoa no período 1957-2009.....	151
Figura 61. Setores censitários costeiros das praias em estudo. ....	153
Figura 62. População na área de risco representada em número de moradores por segmento.....	154
Figura 63. Figura ilustrativa de construções diretamente voltadas para o mar.	156
Figura 64. Classificação final da vulnerabilidade.....	160
Figura 65. Porcentagem de linha de costa de cada praia para cada classe de vulnerabilidade. ....	161
Figura 66. Resultados obtidos por diferentes autores para a Praia dos Ingleses. Suscetibilidade apresentada por Rudorff (2005), sensibilidade ambiental apresentada por Mussi (2011) e vulnerabilidade obtida neste trabalho. ....	163
Figura 67. Comportamento das variáveis de entrada no CVI e da avaliação final da vulnerabilidade - Praia dos Ingleses.....	165
Figura 68. Resultados obtidos por diferentes autores para a Praia da Armação. Suscetibilidade apresentada por Rudorff (2005), sensibilidade ambiental apresentada por Mussi (2011) e vulnerabilidade obtida neste trabalho. ....	167
Figura 69. Comportamento das variáveis de entrada no CVI e da avaliação final da vulnerabilidade - Praia da Armação. ....	169
Figura 70. Resultados obtidos por diferentes autores para a Praia dos Ingleses Sensibilidade ambiental apresentada por Mussi (2011) e vulnerabilidade obtida neste trabalho.....	170
Figura 71. Comportamento das variáveis de entrada no CVI para análise com vulnerabilidade final obtida - Praia da Barra da Lagoa / Moçambique.....	171

Figura 72. Comportamento das variáveis de entrada no CVI para análise com vulnerabilidade final obtida - Praia da Barra da Lagoa / Moçambique.....	172
Figura 73. Espacialização das variáveis observacionais para a Praia dos Ingleses.....	174
Figura 74. Perfis e classificação do estado morfodinâmico das praias de estudo segundo proposta de Klein (1997).....	176
Figura 75. Espacialização das variáveis observacionais para a Praia Barra da Lagoa/Moçambique.....	178
Figura 76. Espacialização das variáveis observacionais para a Praia da Armação.....	181
Figura 77. Estado morfodinâmico (calculado pela fórmula proposta por Klein, 1997) e grau de vulnerabilidade obtido pelo CVI proposto.....	183
Figura 78. Resultado MDS para os dados dos perfis coletados (OLIVEIRA, 2009). As classes de vulnerabilidade estão representadas nas cores: azul = muito baixa, verde = baixa, amarelo = moderada, laranja = alta e vermelho = muito alta.....	185
Figura 79. Resultado MDS para os dados obtidos da avaliação de vulnerabilidade do CVI proposto. As classes de vulnerabilidade estão representadas nas cores: azul = muito baixa, verde = baixa, amarelo = moderada, laranja = alta e vermelho = muito alta.....	186
Figura 80. Comparação entre resultados da técnica estatística MDS para dados morfodinâmicos coletados e variáveis de entrada no CVI, excluindo-se a variável relativa à população em risco.....	187
Figura 81. Resultado do MDS aplicado para segmentos finais do índice proposto. As classes de vulnerabilidade estão representadas pelas cores: muito baixa = azul, baixa = verde, moderada = amarelo, alta = laranja, muito alta = vermelho.....	189

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Variáveis de entrada do CVI para a determinação de classes de vulnerabilidade costeira (GORNITZ, 1991). .....	38
Quadro 2. Compilação de alguns trabalhos relacionados ao tema e que serviram de base para a escolha das variáveis de entrada no CVI. As adotadas nesta pesquisa aparecem destacadas em células de cor cinza. ....	54
Quadro 3. Origem, data e escala das fotografias aéreas utilizadas, escaneadas na resolução de 600 <i>DPI</i> . ....	60
Quadro 4. Classes de suscetibilidade para a variável taxa de variação da linha de costa. ....	66
Quadro 5. Outras classificações de suscetibilidade de taxas de variação da linha de costa. ....	67
Quadro 6. Classificação de suscetibilidade da variável tipo de <i>backshore</i> (retropraia). ....	75
Quadro 7. Séries e fonte de obtenção dos dados de direção e intensidade dos ventos para a Ilha de Santa Catarina. ....	82
Quadro 8. Dados de entrada dos modelos comparados. ....	84
Quadro 9. Variáveis observacionais disponíveis para análise de mobilidade praial, fonte: Oliveira (2009). ....	97
Quadro 10. Variáveis coletadas para as praias em estudo (compilado de Oliveira, 2009). As siglas correspondem às do Quadro 9. ....	101
Quadro 11. Comparação entre o clima de onda obtido por Araújo et al. (2003) e os dados modelados a partir do SMC-Brasil. ....	125



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Síntese dos conceitos adotados neste trabalho. ....	35
Tabela 2. Cálculo da incerteza referente ao georreferenciamento das fotografias aéreas, utilizando como base as do IPUF de 2002. ....	62
Tabela 3. Classes de vulnerabilidade da variável relativa a população em risco. ....	90
Tabela 4. Tabela resumo das variáveis de entrada no CVI e classificação da suscetibilidade adotada nesta pesquisa. ....	93
Tabela 5. Tabela de dados de entrada do MDS relativos ao CVI. Colunas são as variáveis e linhas os casos. ....	102
Tabela 6. Médias das taxas de variação da linha de costa (em metros por ano) para as praias da área de estudo, considerando incerteza referente ao georreferenciamento. ....	105
Tabela 7. Resultados da análise de variância pelo método Kruskal-Wallis. $P > 0,05$ , indicando que as técnicas não são estatisticamente diferentes. ....	106
Tabela 8. Classificação da suscetibilidade das taxas de variação de linha de costa. ....	107
Tabela 9. Valores calculados de <i>run up</i> (em metros) para cada perfil de praia. ....	111
Tabela 10. Distância horizontal alcançada pelas ondas ( <i>run up</i> ) (X) e distância horizontal passível de inundação devido à elevação do nível do mar (Z). ....	112
Tabela 11. Cálculo final da área em perigo para um intervalo de 50 anos. ....	113
Tabela 12. Área em perigo utilizada para obtenção das variáveis de entrada no CVI. ....	115
Tabela 13. Classificação de suscetibilidade para variável Tipo de <i>backshore</i> (retropraia). ....	119
Tabela 14. Valores calculados de <i>run up</i> (em metros) para cada perfil de praia. ....	121
Tabela 15. Classes de suscetibilidade para a variável altitude do backshore. ....	121
Tabela 16. Porcentagem da área construída à beira-mar e sua exposição às direções de onda estudadas para a Praia dos Ingleses. ....	135
Tabela 17. Porcentagem da área construída à beira-mar e sua exposição às direções de onda estudadas para a Praia Barra da Lagoa Moçambique. ....	135
Tabela 18. Porcentagem da área construída à beira-mar e sua exposição às direções de onda estudadas para a Praia da Armação. ....	135
Tabela 19. Área construída à beira-mar exposta às diferentes direções de incidência de ondas. ....	136
Tabela 20. Área construída à beira-mar semi-exposta às diferentes direções de incidência de ondas. ....	136
Tabela 21. Alturas de onda que definem valores <i>outliers</i> e extremos calculados para cada direção e para a série toda. ....	138
Tabela 22. Número de casos, de <i>outliers</i> e de valores extremos para cada direção, porcentagem de ocorrência em cada direção e na série toda. ....	139

Tabela 23. Número de casos e número de casos por ano para cada direção considerando os outliers e extremos calculados para toda a série, 3,69m e 5,18m, respectivamente. ....	140
Tabela 24. Moradores por domicílio por setor censitário. ....	152
Tabela 25. Estimativa de prejuízos causados por marés meteorológicas e erosão para as praias em estudo, considerando a superfície construída na área em perigo e um CUB de R\$1.059,17.....	155
Tabela 26. Estimativa de prejuízos causados por marés meteorológicas associadas a ondas de tempestade e erosão, considerando área construída de edificações voltadas para o mar e CUB igual a R\$1.059,17.....	156
Tabela 27. Variáveis de entrada no CVI e classes de suscetibilidade adotadas. Resumo.....	158
Tabela 28. Valores do CVI para classificação da vulnerabilidade costeira da área em estudo. ....	159
Tabela 29. Valores do parâmetro ômega para a Praia dos Ingleses. ....	175
Tabela 30. Valores do parâmetro ômega calculado a partir da proposta de Klein (1997) para a Praia dos Ingleses. ....	175
Tabela 31. Valores do parâmetro ômega para a Praia Barra da Lagoa/Moçambique. ....	179
Tabela 32. Valores do parâmetro ômega calculado a partir da proposta de Klein (1997) para a Praia Barra da Lagoa / Moçambique. ....	179
Tabela 33. Valores do parâmetro ômega para a Praia da Armação. ....	182
Tabela 34. Valores do parâmetro ômega calculado a partir da proposta de Klein (1997) para a Praia da Armação. ....	182

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	25
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	29
2.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS TERMOS PERIGO, SUSCETIBILIDADE, VULNERABILIDADE E RISCO. ....	29
2.1.1. Perigo.....	29
2.1.2 Suscetibilidade e vulnerabilidade.....	30
2.1.3. Risco .....	34
2.2. Índice de vulnerabilidade costeira .....	37
3 OBJETIVOS .....	41
3.1. OBJETIVO GERAL .....	41
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	41
4 ÁREA DE ESTUDO.....	43
4.1.PRAIAS DA ÁREA DE ESTUDO.....	44
4.1.1. Praia dos Ingleses .....	44
4.1.2. Sistema praiial Barra da Lagoa/Moçambique.....	45
4.1.3. Praia da Armação.....	47
4.2. BREVE CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO.....	47
4.3. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA.....	48
4.3.1. Eventos meteorológicos extremos (ciclones extratropicais).....	49
4.3.2 Marés meteorológicas associadas a ondas de tempestade.....	50
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	53
5.1. DEFINIÇÃO E OBTENÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA NO CVI.....	53
5.1.1. Variação da linha de costa.....	59
5.1.2. Definição da área em perigo .....	67
5.1.3. Tipo do <i>backshore</i> (retropraia) .....	73
5.1.4. Altitude do <i>backshore</i> (retropraia) .....	75
5.1.5. Exposição às ondas .....	79
5.1.6. Variável População em risco .....	87
5.2. CÁLCULO DO CVI.....	92
5.3 REANÁLISE DE DADOS OBSERVACIONAIS – COMPARAÇÃO COM CVI. ....	96

<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>105</b>
<b>6.1. VARIÁVEIS DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE COSTEIRA.....</b>	<b>105</b>
6.1.1. Variação da linha de costa.....	105
6.1.2. Definição da área em perigo.....	109
6.1.3. Tipo do <i>backshore</i> (retropraia) .....	118
6.1.4. Altitude do <i>Backshore</i> (retropraia).....	121
6.1.2. Exposição às ondas.....	124
6.1.4. Variável relativa à população em risco .....	142
6.2. Cálculo do CVI.....	157
<b>6.3. REANÁLISE DE DADOS OBSERVACIONAIS – COMPARAÇÃO COM CVI.....</b>	<b>173</b>
6.3.1. Praia dos Ingleses.....	173
7.2.2. Praia Barra da Lagoa/Moçambique.....	176
6.3.3. Praia da Armação .....	179
6.3.4. Análises de comparação de classes - MDS .....	184
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>191</b>
<b>8. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>195</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A zona costeira é a zona de fronteira entre a terra, o mar e a atmosfera, estando sujeita a contínuas alterações morfodinâmicas, modeladas por processos de origem associada a estes compartimentos. Estes processos, que são determinantes na formação dos distintos tipos de costa, englobam movimentos tectônicos ao longo das margens continentais, oscilações do nível do mar e a dinâmica erosiva e deposicional local (SILVA et al., 2004). Muitos deles são controlados fundamentalmente por fatores meteorológicos e atuam na zona costeira desde o passado remoto até os dias atuais, causando grande variabilidade temporal e espacial, tornando-a um sistema em equilíbrio dinâmico.

Dentre os agentes físicos ligados à morfodinâmica costeira estão as ondas, ventos, correntes costeiras geradas pelas ondas, e as marés, que promovem o transporte de sedimentos e geram ou modificam feições morfológicas. O clima de ondas comanda a dinâmica dos processos de retirada (erosão) e acúmulo (acresção) de sedimentos nas costas arenosas por meio da energia das correntes geradas por elas. Para este fator, a frequência, direção e intensidade dos ventos são de relevância fundamental e com isso, esta dinâmica é fortemente influenciada pela intensidade e recorrência de tempestades (TESSLER e GOYA, 2005).

Eventos episódicos extremos (como furacões e ciclones extratropicais) e processos contínuos (tais como ventos, ondas e marés) atingem a zona costeira, no entanto, dependendo da intensidade e abrangência, estes eventos podem constituir perigo às comunidades costeiras.

Um desses perigos que vem causando prejuízos materiais às zonas costeiras é a maré de tempestade, que provoca inundações e erosão costeiras. Ocorre pela sobre-elevação do nível do mar durante eventos de tempestade devido a fortes e persistentes ventos que empilham água na costa, geralmente associados à passagem de frentes frias e ciclones extratropicais (RUDORFF et al., 2006).

Previsões relacionadas aos efeitos das mudanças climáticas globais sugerem o agravamento da situação de risco, pois indicam um aumento da intensidade das tempestades costeiras e também da frequência de eventos repentinos de subida do nível do mar nos próximos anos (IPCC, 2007; ISDR, 2004). Atualmente os municípios litorâneos de Santa Catarina já vêm sofrendo sérios prejuízos devido às marés meteorológicas associadas a ondas de tempestade. Segundo

Rudorff et al. (2006), entre 1997 e 2003 foram identificados 26 registros desses eventos no estado. Em uma análise que considerou fontes de informação adicionais (como notícias de jornal, além de registros da defesa civil). Krueger (2011) identificou 60 eventos desta natureza entre 2000 e 2010. Dentre esses, um dos eventos mais significativos foi o ciclone extratropical de maio de 2001 (e maré de tempestade associada), que deixou vários municípios em situação de emergência e estado de calamidade pública. Nesta ocasião, diversas pessoas ficaram desabrigadas e desalojadas e o prejuízo estimado foi de mais de R\$ 11 milhões (não contabilizados os municípios de Florianópolis, Içara e São Francisco do Sul) (RUDORFF et al., 2006).

Florianópolis está entre os municípios que apresentam maior frequência de registros da ação de marés meteorológicas associadas a ondas de tempestade, o que pode ser relacionado com a exposição da costa leste da Ilha de Santa Catarina aos ventos e ondulações dos quadrantes leste e sul e à concentração de diversas áreas densamente urbanizadas próximas à linha de costa, expondo casas, prédios, estradas, infra-estrutura urbana e de lazer a estes eventos extremos (RUDORFF et al., 2006; KRUEGER, 2011).

Como consequência, a erosão costeira traz sérios prejuízos materiais, sendo considerada, atualmente, um dos maiores problemas nos ambientes praias. Segundo Bird (2008), mais de 70% da linha de costa praias sofreu retração nas últimas décadas em todo o mundo e segundo MMA (2006), de uma forma bastante geral pode se dizer que segmentos sob efeito de erosão predominam em relação aos trechos em processo de progradação no litoral brasileiro, especialmente nas praias. Neste sentido, à medida que aumentou a ocupação da zona costeira os efeitos erosivos que antes eram ignorados por não causarem prejuízos passaram a ser vistos como fator de risco, implicando em questões econômicas e sociais bastante relevantes (MUEHE, 2006).

Neste contexto, em virtude do aumento da concentração populacional na zona costeira, surge uma maior preocupação com a vulnerabilidade das comunidades a esses eventos. Mesmo que a intensidade e frequência das tempestades permanecessem nos níveis atuais, provavelmente ainda haveria aumento contínuo de danos em propriedades devido à crescente ocupação da zona costeira, já que geralmente essa ocupação se dá sem planejamento adequado (BOESCH et al., 2000).

Um dos principais aspectos considerados na avaliação da vulnerabilidade costeira é o tipo de ambiente determinado pela interação de diversos fatores como litologia, tipo de substrato, clima de ondas,

correntes longitudinais, frequência de tempestade e outros; que resulta em diferentes feições ao longo da linha de costa, como praias, dunas, costões rochosos, falésias e desembocaduras. A importância relativa dessas variáveis na formação de cada tipo de costa muda de lugar para lugar, ou seja, essa diversidade geomorfológica faz com que trechos de costa apresentem diferentes respostas aos perigos costeiros. Portanto, a vulnerabilidade costeira irá variar espacialmente (GORNITZ et al., 1991). Pesquisas sobre perigos costeiros têm geralmente focado apenas nas características físicas, deixando de considerar fatores socioeconômicos para avaliação da vulnerabilidade (ABUODHA e WOODROFFE, 2007). Todavia, é desejável integrar nessa avaliação dados referentes à população suscetível a esses eventos e, a partir disso, buscar uma utilização responsável do espaço.

Diferentes opções analíticas já foram propostas e aplicadas para Ilha de Santa Catarina, dada a repercussão da atuação de eventos extremos na área. Rudorff e Bonetti (2010) propuseram uma alternativa metodológica para o mapeamento de suscetibilidade costeira com base em geoindicadores e técnicas de análise espacial e tiveram como área de estudo as praias dos Ingleses, Morro das Pedras, Armação e Pântano do Sul, todas localizadas no leste da ilha. Mazzer et al. (2008) propuseram um método de análise de vulnerabilidade à erosão costeira para algumas praias do sudeste da Ilha de Santa Catarina utilizando a compartimentação da linha de costa em células costeiras e modelagem espacial em Sistema de Informação Geográfica. Como resultados, obtiveram mais de 30% da área de estudo classificada em vulnerabilidade alta e 5% em vulnerabilidade muito alta. Outra contribuição importante neste tema para a área em estudo é a de Mussi (2011), que propôs um Índice de Sensibilidade Ambiental Costeira à elevação média dos oceanos para toda a Ilha de Santa Catarina. Na sua avaliação, a autora obteve aproximadamente 22% da linha de costa da Ilha entre as classes alta e muito alta, 17% na classe moderada e 60% nas classes baixa e muito baixa.

Dentre as diferentes alternativas para a avaliação da vulnerabilidade costeira destaca-se a aplicação de índices multicritério, pois os mesmos podem ser desenvolvidos de modo relativamente rápido e apresentam bons resultados (ABUODHA e WOODROFFE, 2008). Pesquisas que aplicaram índices deste tipo têm contribuído também com a definição dos melhores conjuntos de descritores a serem considerados frente ao contexto de cada área de estudo.

No presente trabalho, o índice sugerido foi baseado no método *Coastal Vulnerability Index* – CVI (“Índice de Vulnerabilidade

Costeira”) proposto por Gornitz (1991), bastante usado nos Estados Unidos pelo Serviço Geológico (USGS), aqui adaptado à escala local. Para avaliar a vulnerabilidade é fundamental conhecer o número de habitantes que vivem nas áreas afetadas e isso é atualmente um dos desafios mais importantes na gestão costeira, tendo em vista não só a necessidade de estimativa da população em áreas suscetíveis a erosão e inundação costeira, mas também a relação entre a elevada densidade urbana e os problemas ambientais (LINS-DE-BARROS, 2010).

Deve-se considerar que a presença da população habitando diretamente a zona costeira pode também ser interpretada como uma variável de indução de erosão, e com isso, surge necessidade de investimento em proteção (McLAUGHLIN et al., 2002). No entanto, em muitos casos, obras de proteção costeira (que têm a intenção de defender as construções da erosão) podem, muitas vezes, agravar a dinâmica erosiva (CLARCK, 1996; PILKEY e WRIGHT, 1988; FLETCHERT et al., 1997; FORTUNATO et al., 2008).

Neste sentido o presente estudo reforça o conceito de vulnerabilidade e propõe uma análise dos efeitos da ação de marés meteorológicas associadas a ondas de tempestade na Ilha de Santa Catarina incorporando uma variável referente à população.

Considerando o índice multicritério, propõe-se uma alternativa metodológica para a obtenção de variáveis relacionadas a suscetibilidade e vulnerabilidade costeira, em especial, uma representação integrada da exposição às ondas, considerando um clima de ondas multispectral.

Por fim, este estudo analisou conjuntamente dados observacionais da morfodinâmica das praias em estudo e resultados obtidos na avaliação da vulnerabilidade costeira obtidos do índice sugerido.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS TERMOS PERIGO, SUSCETIBILIDADE, VULNERABILIDADE E RISCO.

É frequente encontrar os termos “vulnerabilidade”, “susceptibilidade”, “perigo” e “risco” vinculados a diferentes significados ou conceitos. Isso dificulta a compreensão do tema e traz a necessidade de se apresentar as definições adotadas no presente trabalho.

#### 2.1.1. Perigo

Na literatura brasileira *hazard* é tratado como ameaça ou perigo, ou seja, o fenômeno ou o processo danoso. Nesse sentido, o conceito de perigo abrange fenômenos como ciclones, deslizamentos, tornados, enchentes, marés meteorológicas, epidemias, pragas, avalanches, terremotos, erupções vulcânicas etc.

O termo *natural hazards* pode ser traduzido como “perigos naturais” e são considerados eventos físicos potencialmente danosos, ou seja, processos ou fenômenos naturais que ocorrem na biosfera e podem causar degradação ambiental e danos às comunidades expostas. Perigos podem ser caracterizados pela localização, intensidade e frequência (ISDR, 2004).

Para Alcántara-Ayala (2002), perigo natural é um evento capaz de produzir danos ao espaço físico e social, não apenas durante a sua ocorrência, mas também posterior a ela, devido às associações de suas consequências.

Seguindo a mesma linha, com conceitos semelhantes, Smith (2004) trata perigos naturais como resultados de conflitos entre os processos geofísicos e a atividade humana. Monteiro (1991) assinala a necessidade de se considerar a existência de perigos naturais como função do ajustamento humano a eles, já que sempre envolve iniciativa e decisão humana, por exemplo, “enchentes não seriam danosas se o homem evitasse as planícies de inundação”. White et al. (2001), por seu turno, após terem revisado trabalhos nesta área também concluem que situações de perigo se originam da interação da sociedade com o ambiente natural. Além disso, afirmam que com o avanço de estudos científicos, com a capacidade de delimitar zonas em perigo e de estimar a magnitude ou frequência dos eventos perigosos, há cada vez menos justificativas para ausentar a ação humana de responsabilidade.

Para as pesquisas realizadas na área de Geografia de Riscos, perigo é um evento capaz de causar perdas ou danos e implica na

presença do homem, que é quem define dano (ANEAS DE CASTRO, 2000).

Deste modo, em consonância com o que vem sendo adotado, neste trabalho o termo “perigo” remete à presença do homem, considerando que fenômenos naturais por si só não são prejudiciais. Também é incorporada a ideia da ameaça de ocorrência ou da ocorrência de eventos que podem causar danos.

Por fim, o perigo pode ser compreendido como um componente do risco que não inclui a quantificação e/ou qualificação dos danos. Isso justifica a utilização do termo perigo e não risco nesta pesquisa.

Diferente da análise de risco, a investigação de um perigo requer que se considerem características intrínsecas do fenômeno (frequência, magnitude, intensidade, duração) e se conheça a percepção da população em risco acerca do perigo (ANEAS DE CASTRO, 2000). Na presente dissertação, porém, não se contempla a percepção de risco, mas sim, uma etapa anterior que é a que indica a população exposta ao perigo.

Os perigos naturais são, na maioria das vezes, percebidos e tratados como uma ameaça externa e inevitável. Contudo, a identificação dos perigos, o estudo das ocorrências pretéritas e o monitoramento das situações presentes podem ser eficientes instrumentos de planejamento e gestão do uso do solo, com a proposta de diminuir a vulnerabilidade, protegendo a população e seus bens (ISDR, 2004).

### **2.1.2 Suscetibilidade e vulnerabilidade**

Vulnerabilidade e suscetibilidade podem ser consideradas conceitos diferentes. Suscetibilidade está vinculada somente às condições físicas do meio, ou seja, trata da intensidade ou probabilidade de um determinado ambiente sofrer impacto devido a um perigo natural (UNDP, 2004), tendo como fatores as características físicas e sendo independente de fatores humanos. No caso deste trabalho, suscetibilidade refere-se à potencialidade ou probabilidade das praias em estudo serem afetadas por marés meteorológicas.

Já o termo vulnerabilidade é vinculado à ideia ampla de “estar sujeito” ou vulnerável a sofrer dano ou perda por efeito de um evento. Atualmente, existem três linhas principais que tratam o conceito de vulnerabilidade (CUTTER, 1996; DOLAN e WALKER, 2003).

A primeira está ligada à suscetibilidade e o foco é identificar áreas vulneráveis. Assim, trata-se de uma vulnerabilidade física que está essencialmente relacionada ao grau de exposição e à sensibilidade (fragilidade) dos elementos expostos à ação do evento perigoso

(CARDONA, 2003), ou seja, consideram-se principalmente as características físicas do meio e as do perigo.

Dentro dessa concepção, está o conceito adotado pela Secretaria Nacional de Defesa Civil, para a qual vulnerabilidade é a probabilidade de uma determinada comunidade ou área geográfica ser afetada por uma ameaça e é estabelecida a partir de estudos técnicos (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2007). O mesmo se aplica ao conceito utilizado pela NOAA (*National Ocean and Atmospheric Administration*) para quem vulnerabilidade traduz o nível de exposição da vida, propriedade e recursos ao impacto de um perigo natural (NOAA, 1999).

Nessa linha, as variáveis de vulnerabilidade estão relacionadas à exposição ao perigo, o que inclui proximidade da fonte do perigo, frequência ou probabilidade de ocorrência, magnitude, intensidade, duração do evento etc. (CUTTER, 1996).

Para o *National Research Council* (2006), vulnerabilidade física representa as ameaças às estruturas físicas e infra-estruturas, ao meio ambiente e à economia. Segundo Cardona (2003), essa vulnerabilidade pode ser entendida, em termos gerais, como um fator passível de ser matematicamente expresso como a possibilidade do objeto ou sistema exposto ser afetado pelo perigo.

Para Gornitz et al. (1991), a vulnerabilidade varia em função de aspectos físicos dos ambientes, estando esse conceito relacionado portanto ao conjunto de características físicas que aumentam ou diminuem a suscetibilidade a determinado perigo. De modo semelhante, para Sharples (2006), vulnerabilidade é o grau de exposição de feições geomorfológicas ou ecológicas aos impactos causados por perigos.

A segunda linha traz a ideia de habilidade social e econômica em lidar com o perigo, portanto, inclui algo relacionado à capacidade de resposta do sistema ao evento (WHITE et al., 2001). Esta linha segue a ideia de construção social da vulnerabilidade, com seus fatores culturais, econômicos, políticos e sociais condicionantes das respostas individuais e coletivas (CUTTER, 1996; NICOLODI e PETERMANN, 2011). Esse conceito explica por que, num mesmo nível de exposição ao perigo, diferentes comunidades são mais ou menos vulneráveis, já que a vulnerabilidade varia com a capacidade de lidar e de se adaptar ao perigo (UNDP, 2004).

A Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI) tem seu conceito aliado a esta segunda linha de conceituação. Para este órgão, vulnerabilidade está relacionada ao estado das comunidades costeiras (incluindo sua estrutura social, ativos físicos, economia e suporte

ambiental); estado, este, que as tornam mais ou menos afetadas por eventos extremos (IOC, 2010).

Assim, existem fatores que podem diminuir a vulnerabilidade das comunidades expostas, como por exemplo, estudos de identificação dos perigos e das áreas mais suscetíveis, participação da comunidade (pessoas são mais vulneráveis quando não estão cientes do perigo a que estão expostas) (ISDR, 2004) e medidas de um planejamento urbano gerando desenvolvimento ordenado (UNDP, 2004). Em países em desenvolvimento, o aumento da vulnerabilidade está relacionado a fatores como rápido crescimento urbano e também à degradação ambiental (CARDONA, 2003).

Vale ressaltar que, em geral, adaptações estruturais (como obras costeiras) não desestimulam as pessoas a viverem em áreas de alto risco, ao contrário, podem estimular o desenvolvimento do local, e consequentemente, aumentar a vulnerabilidade (DOLAN e WALKER, 2003).

Nessa linha, a vulnerabilidade considera características demográficas e socioeconômicas como idade, renda, gênero, educação, condições habitacionais, saúde dos grupos sociais (GOERL, 2010), considerando que ocorre uma distribuição não equitativa de danos e perdas entre esses grupos (WU et al., 2002).

Ainda nessa segunda linha está inserido o conceito da *United Nations Development Programme* (UNDP, 2004), para a qual vulnerabilidade representa a condição ou processo humano resultado de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais que determinam a probabilidade e escala dos danos que podem ser causados por um perigo, ou seja, esta definição vê vulnerabilidade primeiramente como um processo ou condição humana.

Na terceira linha, que é a adotada no presente trabalho, vulnerabilidade combina elementos das duas linhas anteriores. Deste modo, vulnerabilidade está relacionada à suscetibilidade e à sensibilidade a determinado perigo, mas também é fruto de um contexto social, ou seja, é a interação do perigo do local com o perfil social da comunidade (CUTTER, 1996). Essa linha tem como objetivo localizar pessoas e lugares vulneráveis, mas também identificar quem nesse espaço é mais vulnerável.

Deste modo, vulnerabilidade é vista como uma função da suscetibilidade, uma condição pré-existente relacionada à exposição ao perigo e também da capacidade adaptativa do sistema/comunidade (DOLAN e WALKER, 2003), isto é, resultado da combinação de perigos naturais e da vulnerabilidade humana.

Para o IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change* (2001) esse conceito se traduz no grau em que um sistema é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos adversos de algum evento e é função da característica, magnitude e taxa da variação climática ao qual um sistema está exposto, sua sensibilidade e sua capacidade adaptativa. Nesse mesmo sentido, a Política Nacional de Mudanças Climáticas (Lei nº 12.187/2009) traz o conceito de vulnerabilidade como “grau de suscetibilidade e incapacidade de um sistema, em função de sua sensibilidade, capacidade de adaptação, e do caráter, magnitude e taxa de mudança e variação do clima a que está exposto, de lidar com os efeitos adversos da mudança do clima, entre os quais a variabilidade climática e os eventos extremos”.

Para o *International Strategy For Disaster Reduction* (ISDR, 2004) vulnerabilidade está relacionada às condições determinadas por fatores ou processos físicos, sociais, econômicos e ambientais que aumentam a suscetibilidade de uma comunidade em relação a um perigo.

Outros autores adotam essa terceira linha e consideram a vulnerabilidade como consequência da interação do homem com o meio. Por exemplo, para Alcántara-Ayala (2002) vulnerabilidade remete à propensão de um elemento sofrer perdas ou danos frente a um determinado tipo de perigo e depende, além da ameaça do perigo natural, da condição humana resultante de fatores sociais, econômicos, políticos e culturais. Para Adger et al. (2004), o grau de exposição de populações e de sistemas ao impacto físico direto de um determinado perigo e o grau com o qual eles podem absorver e se recuperar destes impactos determinam a vulnerabilidade.

Segundo Cardona (2003), muitos dos prejuízos e danos provocados por eventos perigosos são resultados de fatores econômicos e políticos, já que estes fatores, muitas vezes, provocam a concentração da população em áreas de risco. Ao mesmo tempo, práticas ambientalmente prejudiciais, mudanças globais, crescimento da população e da urbanização, injustiças sociais, pobreza e a visão econômica de curto prazo estão produzindo sociedades cada vez mais vulneráveis (ISDR, 2004).

Por fim, a avaliação da vulnerabilidade aqui adotada visa responder questões como onde e quem está mais ou menos vulnerável à ação das marés meteorológicas e processos associados, buscando contribuir para o planejamento ambiental/urbano da região.

### 2.1.3. Risco

O conceito de risco, segundo a Defesa Civil Nacional, é a probabilidade de ocorrência de um acidente ou evento adverso e está relacionado com a intensidade dos danos ou perdas resultantes dos mesmos (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2007).

Para MMA (2008), só existe risco quando há possibilidade de perdas, quando há valoração de um bem (material ou imaterial).

No relatório das Nações Unidas sobre redução de desastres naturais (ISDR, 2004) risco é entendido como grau de perda previsto devido a um fenômeno natural determinado e é função tanto do perigo natural quanto da vulnerabilidade do recurso em risco (ISDR, 2004). Em geral, esse conceito pode ser vinculado a duas variáveis: o perigo e o homem em seus diferentes graus de vulnerabilidade. No entanto, pode-se ainda acrescentar mais um aspecto diretamente ligado ao risco: a incerteza, ou seja, risco traz a ideia de probabilidade de ocorrência de processos não constantes no tempo e no espaço, mas que estão diretamente ligados à sua ação/interferência na vida do homem (CASTRO et al., 2005).

Assim, remetendo a futuro, risco passa a ser sentido como uma apreensão sobre algo que está por vir e que está vinculado a fenômenos naturais ou a tensões provocadas pelo homem (Gallais, 1994 apud ANEAS DE CASTRO, 2000). Segundo Castro et al. (2005), pode-se classificar risco em:

- risco natural: ligado ao comportamento dinâmico dos sistemas naturais;
- risco tecnológico: consequência das decisões de investimento na estrutura produtiva, definido como o potencial de ocorrência de eventos danosos à vida; e
- risco social: ligado à condição de vida, resultante das carências sociais ao pleno desenvolvimento humano.

O objeto da pesquisa ora apresentada se aproxima do risco natural já que as marés meteorológicas estão ligadas às dinâmicas dos sistemas atmosférico e oceânico, considerando ainda que o risco também depende do uso dos recursos naturais e das transformações do ambiente costeiro pela sociedade (WHITE et al., 2001).

Seguindo esse raciocínio, os riscos naturais tendem a aumentar com o crescimento demográfico e com a urbanização, já que muitas vezes as cidades crescem para regiões suscetíveis (planícies aluviais, dunas e pós-praia, encostas etc.) (CASTRO et al., 2005); como é o caso das praias da área de estudo (dos Ingleses, Barra da Lagoa/Moçambique

e Armação) que sofreram acelerado processo de urbanização nos últimos anos.

Em Geografia, Egler (1996) trouxe uma proposta de avaliação de risco ambiental aplicada à zona costeira brasileira, em que trata da relação entre origem dos riscos e suas manifestações correspondentes em diferentes escalas (local, regional e nacional). Para este autor, risco ambiental é o resultado das categorias de risco acima citadas: natural, tecnológico e social e deve ser pensado como indicador dinâmico das relações entre os sistemas naturais, a estrutura produtiva e as condições sociais de reprodução humana em um determinado lugar e momento.

Considerando que a análise do risco necessariamente compreende, além da identificação de perigos, uma quantificação e/ou qualificação dos seus efeitos para a coletividade em termos de prejuízos materiais e imateriais (DEYLE et al., 1998), o presente estudo não trata o risco, pois tem como objetivo apenas indicar áreas vulneráveis aos eventos extremos assinalados anteriormente.

A seguir é apresentada uma síntese dos conceitos adotados neste trabalho na Tabela 1 e na Figura 1.

**Tabela 1. Síntese dos conceitos adotados neste trabalho.**

<b>Termos</b>	<b>Conceitos adotados</b>
<b>Perigo</b>	Ameaça de ocorrência ou ocorrência de eventos que podem causar danos. Remete à presença do homem.
<b>Suscetibilidade</b>	Trata somente das condições físicas do meio, ou seja, da intensidade ou probabilidade de um determinado ambiente sofrer impacto devido a um perigo natural, tendo como fatores as características físicas e sendo independente da presença humana.
<b>Vulnerabilidade</b>	Consequência da interação do homem com o meio. É função da condição pré-existente relacionada à exposição ao perigo (suscetibilidade) e também da capacidade adaptativa do sistema/comunidade. Resulta da combinação de perigos naturais e da vulnerabilidade humana.
<b>Risco</b>	Probabilidade de ocorrência de um acidente ou evento adverso, estando relacionado com danos ou perdas resultantes dos mesmos.

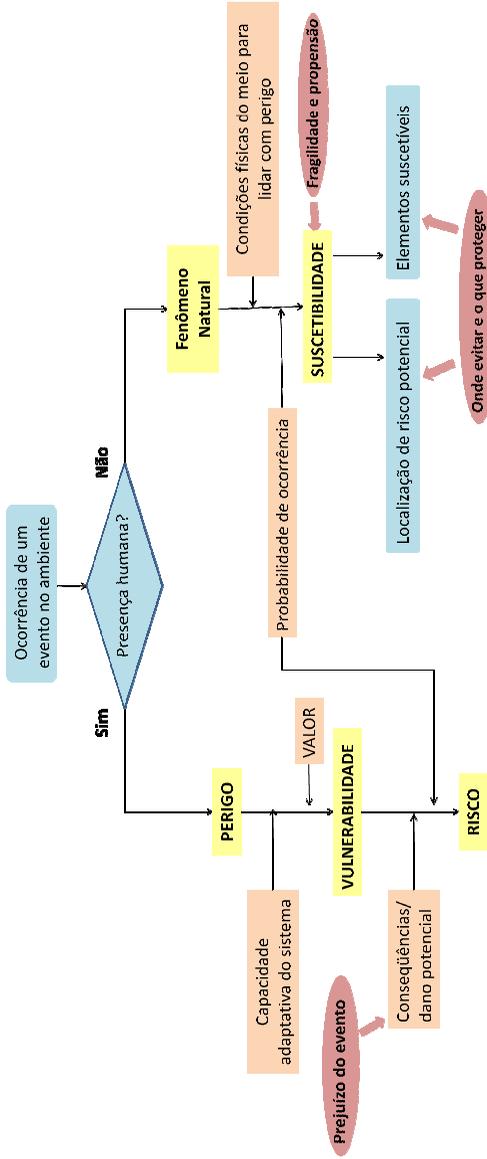


Figura 1. Esquema explicativo dos termos e conceitos utilizados neste trabalho. Adaptado de ANPC (2010).

## 2.2. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE COSTEIRA

O CVI (*Coastal Vulnerability Index*) é uma técnica que permite a classificação de setores da costa tendo por base critérios relacionados à resistência relativa à erosão, à tendência de erosão/acresção e à suscetibilidade à inundação, tais como: características geomorfológicas, taxa de variação da linha de costa e declividade da costa. Esse índice multicritério também considera variáveis relacionadas a processos físicos, como altura da onda, amplitude de maré e variação no nível do mar (PENDLETON et al., 2004).

Considerando que os descritores contêm dados qualitativos e quantitativos em diferentes escalas e unidades é atribuída uma classificação hierárquica em intervalos numéricos pré-definidos para cada variável de cada segmento da costa, sendo que habitualmente o valor mais baixo representa vulnerabilidade muito baixa e o valor mais alto muito alta.

O índice é calculado numericamente a partir de uma fórmula que inclui esses valores e o número de variáveis consideradas, permitindo a determinação de graus de vulnerabilidade dos trechos analisados. Na proposta original de Gornitz (1991) foi empregada a equação abaixo, sendo que o valor do índice pode variar entre 1 e 5 (5-vulnerabilidade muito alta, 4-alta, 3-média, 2-baixa e 1-muito baixa):

$$CVI = \sqrt{\frac{a \times b \times c \times d \times e \times f}{n}}$$

onde:

a → geomorfologia da costa

b → declividade da costa

c → taxa de aumento relativo do nível do mar

d → taxa de erosão/acresção da linha de costa

e → média de amplitude da maré

f → média da altura de onda

n → número de variáveis

No Quadro 1 são apresentados os intervalos originalmente propostos para a classificação das variáveis empregadas no cálculo do CVI de acordo com seu comportamento em relação ao aumento do nível do mar e/ou erosão costeira.

Quadro 1. Variáveis de entrada do CVI para a determinação de classes de vulnerabilidade costeira (GORNITZ, 1991).

Variáveis	Classes				
	Muito Baixa 1	Baixa 2	Moderada 3	Alta 4	Muito Alta 5
Relevo (altitude) (metros)	$\geq 30,1$	20,1 – 30,0	10,1 – 20,0	5,1 – 10,0	0 – 5,0
Geologia – tipo de rocha (resistência relativa à erosão)	Plutônicas, vulcânicas, metamórficas dos graus médio e alto	Metamórficas (baixo grau) arenitos e conglomerados (bem cimentados)	Rochas sedimentares	Seixos, e/ou sedimentos pouco selecionados e inconsolidados	Sedimentos inconsolidados finos, cinzas vulcânicas
Tipo de ambiente costeiro	Costões rochosos, falésias, fiordes	Falésias “médias”,	Baixas falésias, <i>Drift</i> glacial, manguezais, recifes de coral, marismas	Praias, (seixos) estuários, lagoas, planícies aluviais	Cordões litorâneos, praias (areia), planícies lamosas, deltas
Movimento vertical (subida do nível do mar) (mm/ano)	$\leq -1,1$ soerguimento	-1,0 – 0,99 ↓	-2,0 devido ao aumento eustático	2,1 – 4,0 subsidência	$\geq 4,1$ ↑

Continuação Quadro 1.

Variáveis	Classes				
	Muito Baixa 1	Baixa 2	Moderada 3	Alta 4	Muito Alta 5
Deslocamento da linha de costa (m/ano)	$\geq 2,1$ Acreção	$2,0 - 1,0$ ↓	$1,0 - -1,0$ Estabilidade	$-1,1 - -2,0$ ↑	$\leq -2,0$ Erosão
Amplitude de maré (média) (metros)	$\leq 0,99$ Micromaré	$1,0 - 1,9$ ↓	$2,0 - 4,0$ Mesomaré	$4,1 - 6,0$ ↑	$\geq 6,1$ Macromaré
Altura de onda (máx.) (metros)	$0 - 2,9$	$3,0 - 4,9$	$5,0 - 5,9$	$6,0 - 6,9$	$\geq 7,0$

Apesar da autora deste método reconhecer a importância da inserção na análise de dados relativos à população em perigo, o CVI não considera fatores socioeconômicos. Segundo Gornitz (1991), a omissão de fatores demográficos no índice limita a avaliação de áreas vulneráveis, citando o exemplo da região sul da Flórida, que estaria classificada na categoria das de mais alto risco se critérios relativos à população tivessem sido considerados no mapeamento realizado.

Vale ressaltar, ainda, que esse método foi aplicado inicialmente para avaliações de suscetibilidade em escala nacional para a costa dos Estados Unidos. Como aqui ele é proposto em escala local foram necessárias adaptações na seleção e categorização das variáveis, que serão discutidas no capítulo Materiais e Métodos.

A avaliação da vulnerabilidade costeira foi viabilizada pelo uso de geotecnologias, representadas em especial pelo Sistema de Informação Geográfica (SIG) e Sensoriamento Remoto. Essas geotecnologias apresentam uma série de facilidades na geração e processamento de dados para o estudo de fenômenos espaciais, podendo produzir resultados em pouco tempo e com baixo custo através do cruzamento de dados de diferentes fontes. Com isso, tornou-se mais ágil a análise das interações existentes entre as variáveis de expressão espacial.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a vulnerabilidade costeira à erosão e à inundação, resultantes da ação de marés meteorológicas associadas a ondas de tempestade nas praias Ingleses, Barra da Lagoa/Moçambique e Armação (Florianópolis, SC), tendo por base o desenvolvimento e aplicação de um índice multicritério.

#### 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Sugerir um índice de avaliação de vulnerabilidade costeira baseado no “*Coastal Vulnerability Index*” - CVI (GORNITZ, 1991) adaptado à escala local.
- Delimitar uma área em perigo para cada praia de estudo, considerando a taxa (decadal) de variação da linha de costa, valores (aproximados) do *run up* e a elevação média do nível do mar.
- Desenvolver uma alternativa para a representação integrada da exposição às ondas no índice de vulnerabilidade final considerando um clima de ondas multispectral.
- Desenvolver uma metodologia que possibilite de forma mais precisa a integração de fatores relacionados à ocupação populacional na zona costeira a índices de vulnerabilidade.
- Analisar conjuntamente dados observacionais da morfodinâmica das praias (OLIVEIRA, 2009) e resultados obtidos na avaliação da vulnerabilidade costeira obtidos do índice sugerido.



## 4 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende três praias da face oceânica da Ilha de Santa Catarina. São elas: Ingleses, Barra da Lagoa/Moçambique e Armação (Figura 2).

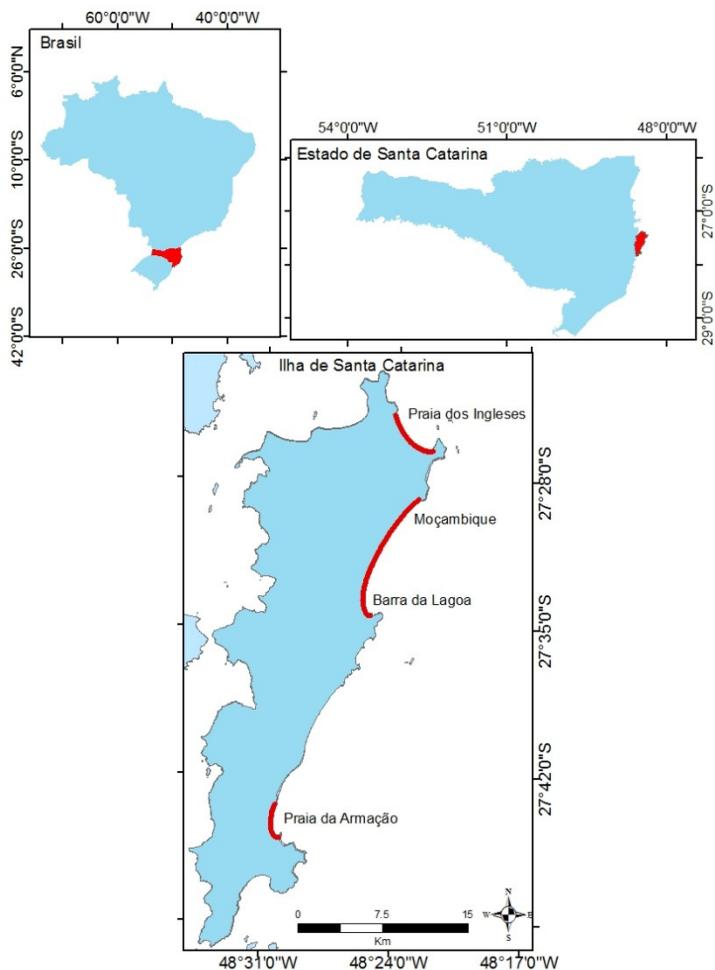


Figura 2. Localização das praias em estudo.

A Ilha de Santa Catarina está localizada no Litoral Central do estado de Santa Catarina e apresenta forma alongada, na direção Nordeste – Sudoeste. Possui uma orla bastante diversificada quanto às características físico-naturais, apresentando diversidade de ecossistemas costeiros. Dentre eles, pode-se destacar praias arenosas, dunas, lagoas, lagunas, estuários restingas e costões rochosos, além de manguezais e marismas (HORN FILHO et al., 2006).

Esta ilha abriga a maior parte do município de Florianópolis, a capital do estado, que apresenta um acelerado processo de urbanização devido à expansão imobiliária impulsionada pelo turismo e pela migração de contingentes rurais e não rurais. Contudo, este crescimento urbano tem ocorrido de forma desordenada caracterizada por ocupações instaladas em locais inadequados como encostas de morros, manguezais, dunas e praias (HORN FILHO et al., 2006).

#### 4.1. PRAIAS DA ÁREA DE ESTUDO

##### 4.1.1. Praia dos Ingleses

A praia dos Ingleses está localizada no nordeste na Ilha de Santa Catarina, tem aproximadamente 5080 metros de extensão e é delimitada por dois costões rochosos: o Morro dos Ingleses (composto por rochas do grupo Granitóide Paulo Lopes) a sudeste e o Morro das Feiticeiras (Granito Ilha) a nordeste (RUDORFF, 2005), tendo à sua frente as ilhas Mata-Fome e Moleques do Norte.

A planície costeira é caracterizada por cordões litorâneos, pelo campo de dunas das Aranhas e por cordões de dunas pequenas nos extremos sudeste e nordeste da praia (RUDORFF, 2005).

É uma praia bastante urbanizada, com construções à beira-mar e onde se encontra um dos núcleos pesqueiros tradicionais da Ilha. A urbanização se iniciou nos anos de 1980, junto do processo de expansão urbana para os balneários do norte, mas foi a partir da década de 1990, com a duplicação da SC-401 para o norte da Ilha de Santa Catarina, que essa expansão ocorreu efetivamente (OLIVEIRA, 2009).

No segmento sudeste da praia dos Ingleses, a eliminação das dunas e de parte da vegetação nativa devido às construções também colaboraram para diminuir a proteção aos impactos erosivos, tornando-a mais suscetível, segundo Cruz (1998).

Em estudo realizado entre os anos 2000 e 2001, Faraco (2003) julgou fragilizado o setor sudeste da Praia dos Ingleses, visto que é um trecho de urbanização intensa e que a dinâmica sedimentar da área acumula sedimentos na parte noroeste e na antepraia do sudeste,

deixando esse setor (entremarés) com déficit de sedimentos, segundo autora supracitada e Cruz (1998).

#### **4.1.2. Sistema praial Barra da Lagoa/Moçambique**

O Sistema praial Barra da Lagoa/Moçambique tem aproximadamente 12 quilômetros de extensão no sentido Nordeste-Sudoeste e é delimitado pelo Costão das Aranhas e o molhe do canal da Lagoa da Conceição. Barra da Lagoa é o nome dado ao trecho sul e Moçambique ao trecho centro-norte.

Principalmente devido à sua extensão e mudança de orientação da linha de costa, essa praia apresenta expressivas variações morfológicas, como: largura de praia, grau de exposição à energia de ondas de diferentes quadrantes, tipo morfodinâmico de praia, tipo de duna (cordão único de dunas frontal, dunas parabólicas e campo de dunas transgressivo) e outras (MIOT DA SILVA, 2006).

A rodovia SC-406, implantada em 1975, melhorou de maneira significativa o acesso à comunidade da Barra da Lagoa, redefinindo a ocupação urbana local. Portanto, neste trecho ao sul do arco praial Barra da Lagoa/Moçambique é onde existe de forma mais intensa a presença humana e onde são encontrados problemas como ocupação irregular, falta de saneamento, alteração do curso natural do canal, descaracterização da barra arenosa que existia ali, ocupação da duna frontal e mesmo sobre a pós-praia (especialmente no trecho mais a sul) e, também, problemas erosivos localizados (LEAL e HORN FILHO, 2004).

Miot da Silva (2006), utilizando um método baseado na construção de diagrama de refração de ondas, estimou a energia de onda no arco praial Barra da Lagoa/Moçambique e concluiu que, com incidência de ondas de sul, a energia de onda aumenta da parte sul para norte da praia.

No ano de 2010, uma sequência de tempestades ocorridas entre os meses março e maio provocou a destruição de casas e bares/quiosques, evidenciando ainda mais esse problema de erosão praial. Figura 3.



**Figura 3.** Efeitos de uma sequência de tempestades ocorridas entre abril e junho de 2010: destruição do posto salvavidas(1) e de bares e restaurantes(2) na Barra da Lagoa. Fotografias de Mariela Muler.

Diferentemente da Barra da Lagoa, o setor conhecido como Praia de Moçambique encontra-se preservado da ocupação humana principalmente devido à criação do Parque Estadual do Rio Vermelho que ocorreu no ano de 1962 e se estende desde a Ponta das Aranhas até as proximidades da praia da Barra da Lagoa.

#### **4.1.3. Praia da Armação**

A praia da Armação é um arco praial parabólico que se localiza no sudeste da Ilha de Santa Catarina, com orientação próxima a Norte-Sul e aproximadamente 3500 metros de extensão (ABREU DE CASTILHOS, 1997). É limitada ao norte pelo promontório rochoso do Morro das Pedras, ao sul pelo tómbolo formado com a Ilha das Campanhas (Ponta da Armação) e a oeste pela Lagoa do Peri.

Também apresenta variações morfológicas importantes ao longo do seu arco, enquadrando-se em estágio reflexivo ao norte e dissipativo ao sul. Apresenta urbanização ao sul e ocupação quase ausente ao norte (ABREU DE CASTILHOS, 1997; MAZZER et al., 2008).

Sua planície costeira faz limites com o Parque Municipal da Lagoa do Peri. Alguns trechos ao centro da praia vêm sendo irregularmente ocupados, com casas sendo construídas nas áreas de vegetação de restinga. Ao sul há um núcleo pesqueiro tradicional e ocupação consolidada, inclusive já apresentando prejuízos devido à erosão praial (OLIVEIRA, 2009).

No ano de 2010, entre abril e maio esta praia sofreu enormes prejuízos devido à erosão praial, causada por uma sequência de marés de tempestade. Segundo a Defesa Civil do município, nestes eventos 31 construções foram danificadas, dentre elas algumas foram integralmente destruídas. Como medida de proteção emergencial, foi realizada uma barreira de enrocamento, ao longo de 1,6 km de praia, iniciando-se na extremidade sul.

#### **4.2. BREVE CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO**

Este item foi desenvolvido com base na publicação de Cruz (1998) e traz apenas alguns aspectos referentes à morfologia costeira da Ilha de Santa Catarina. A Ilha apresenta uma dorsal central acompanhada de maciços, morros isolados e ilhas menores vizinhas, a podendo ser sub-dividida em dois setores: Centro-norte e Sul.

As enseadas de formação pleistocênica foram fechadas por cordões, flechas ou pontais e ilhas barreiras mais recentes. Este processo isolou depressões alagadas e lagoas e contribuiu no fornecimento de areia para a formação de novas dunas à beira-mar sobre as anteriores.

Há presença de dunas nas três praias que compõem a área de estudo. Na Praia dos Ingleses elas se localizam mais ao sul, na Armação ao norte e na Barra da Lagoa/Moçambique, ao norte do arco praial, onde ocorrem os terraços arenosos mais elevados e as dunas mais altas da Ilha, com direção NNE.

As planícies e praias são mais longas na face leste (face oceânica) da Ilha, se comparadas com as do oeste (face voltada para o continente). A planície da praia da Armação fecha a lagoa do Peri e apresenta um tómbolo ligando a ponta da Armação à praia de mesmo nome e à praia do Matadeiro.

A lagoa da Conceição é fechada pela praia Barra da Lagoa/Moçambique. Estas praias alongam-se na mesma direção da dorsal central e são formadas sobretudo por terraços, em parte recobertos pelos lençóis de dunas.

#### 4.3. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

O clima é influenciado por fatores estáticos tais como o relevo, a latitude, a continentalidade ou maritimidade (o que inclui as correntes marítimas) e por fatores dinâmicos como os sistemas regionais de circulação atmosférica (NIMER, 1989).

Por estar localizada em latitudes médias, a Região Sul do Brasil e, por conseguinte a Ilha de Santa Catarina, é atingida por centros de ação tanto de latitudes baixas quanto os originários das latitudes elevadas. Um deles é o Anticilone do Atlântico Sul, que influencia no clima da Região Sul e é fonte das principais massas de ar tropicais marítimas que atingem essa região. Como centro de alta pressão e, portanto, dispersor de ventos, é responsável pelos ventos de SE a NE, que transportam umidade do oceano para o litoral (MONTEIRO e MENDONÇA, 2006).

Em geral, os ventos predominantes na Ilha de Santa Catarina são de N/NE. Monteiro e Furtado (1995) apresentaram dados de ventos para Florianópolis para o período de 1975 a 1990 e constataram direção predominante NE e intensidade média de 20,3 km/h. Ventos de S e SE sobre o território brasileiro são causados principalmente por anticiclones polares que periodicamente invadem o continente sul-americano, vindo da zona depressionária (baixa) subantártica (NIMER, 1989).

Os eventos meteorológicos apresentam influência direta nos processos morfodinâmicos da linha de costa, por sua contribuição na geração de ondas marinhas, ventos e, também, das marés meteorológicas. Como exemplo, Truccolo e Franco (2000) identificaram uma resposta do nível do mar altamente influenciada por passagens frontais, na plataforma catarinense. Os principais causadores dessa

influência na costa são três mecanismos: os sistemas frontais, os ciclones extratropicais e a atuação semi-permanente do sistema de alta pressão Anticiclone do Atlântico Sul.

As frentes frias são bastante comuns na área de estudo, segundo Rodrigues et al. (2004), de 3 a 4 frentes frias atingem a costa de Santa Catarina, na média, mensalmente, com duração de 3 dias aproximadamente.

O próximo item será dedicado aos ciclones extratropicais devido à sua importância na formação das marés meteorológicas.

#### **4.3.1. Eventos meteorológicos extremos (ciclones extratropicais)**

Ciclones são sistemas de tempo com movimento circulatório associados a áreas de baixa pressão na superfície (PETTERSSSEN, 1956 apud REBOITA, 2008). Os chamados ciclones extratropicais são os formados “fora” dos trópicos, diferente dos ciclones tropicais que se formam na região entre os trópicos. O processo de formação ou intensificação desses sistemas é denominado ciclogênese.

Os ciclones extratropicais são maiores, mas menos intensos que os tropicais; se movem lentamente, frequentemente duram diversos dias e podem gerar ondas tão altas quanto as geradas por furacões. Essas ondas constituem uma das principais causas dos processos erosivos nas praias arenosas (DOLAN e DAVIS, 1992).

De acordo com Reboita (2008), os primeiros estudos relacionados à estrutura dos ciclones extratropicais datam do final do século XIX, em que foi observado que a formação dos ciclones estava ligada à zona de interação de massas de ar com propriedades distintas, por exemplo, uma de origem polar e outra de origem subtropical.

Outro trabalho bastante citado relacionado à sazonalidade de ciclogêneses na América do Sul é o de Gan e Rao (1991), que analisaram cartas sinóticas do período 1979 a 1988 e obtiveram como resultados que a máxima frequência sazonal ocorre no inverno e a mínima no verão; concluíram ainda que há uma variabilidade interanual das ciclogêneses com maior número de ocorrência nos anos de El Niño.

Os mesmos autores identificaram duas regiões de ciclogêneses na América do Sul. Uma na Argentina e outra no Uruguai. No entanto, Reboita et al. (2010) identificaram uma terceira região no sul e sudeste brasileiros (entre 20° e 35°S).

No estado de Santa Catarina é mais comum a formação de ventos intensos que favorecem o fenômeno das marés meteorológicas associadas a ondas de tempestade no inverno. Esses ventos são formados a partir do forte gradiente de pressão entre o Anticiclone Polar

e o ciclone extratropical. Os ciclones extratropicais mais severos na região geralmente apresentam ventos com intensidade que variam entre 89 a 117 km/h (MARCELINO e MARCELINO, 2006).

No ano de 2001, um ciclone extratropical no litoral da Região Sul do Brasil provocou ventos fortes e gerou grandes ondas (maré de tempestade); causou graves prejuízos a diversas cidades litorâneas do estado de Santa Catarina, deixando 6 municípios em situação de emergência e 1 em estado de calamidade pública (HERMANN, 2006).

No entanto, ainda são poucos os estudos que trazem informações do clima ou de frequências e intensidades de ciclones extratropicais para a Ilha de Santa Catarina. Geralmente estudos nesses temas têm áreas de abrangência maior (MONTEIRO e FURTADO, 1995; CAMARGO et al., 2004; RODRIGUES et al., 2004; RUDORFF et al., 2004, BEU e AMBRIZZI, 2006; REBOITA, 2008; MACHADO et al., 2010; REBOITA et al., 2010).

#### **4.3.2 Marés meteorológicas associadas a ondas de tempestade**

De acordo com dados de marégrafo instalado na Baía Norte durante o período 1930-1962, as marés de Florianópolis são semidiurnas e não chegam a atingir 2 metros de amplitude média de sizígia, podendo ser classificadas, como do tipo micromarés (CRUZ, 1998).

O principal perigo considerado neste trabalho é a maré de tempestade (*storm surge*), que é uma variação temporária do nível do mar provocada por eventos meteorológicos extremos (PUGH, 2004), geralmente decorrentes da passagem de frentes frias e ciclones extratropicais (MACHADO et al., 2010) e regularmente associadas a ondas de tempestade. Essa variação se dá devido principalmente à interação do vento com a água do mar, quando ocorre uma transferência de energia e momento das massas de ar em movimento para as massas líquidas sobre as quais sopra; mas também devido a variações da pressão atmosférica.

Em eventos meteorológicos extremos, por exemplo na “combinação” de um centro de alta pressão (anticiclone) e um de baixa pressão (ciclone), ou seja, quando estes se estabelecem em posições latitudinais particulares, a circulação de ventos que é gerada pode intensificar o fluxo e aumentar a superfície de atuação do vento ao longo da costa, resultando em significativas marés meteorológicas (ou de tempestade), positivas ou negativas.

A maré meteorológica é positiva quando eleva o nível do mar e negativa quando o diminui. Esse novo e temporário nível do mar, quando positivo, pode inundar áreas planas próximas à costa

habitualmente resguardadas, possibilitando que ondas ataquem áreas mais internas ao continente (EISMA, 1995) colocando em perigo a população e suas construções costeiras.; já quando negativo, pode prejudicar a navegação (WEISSE e STORCH, 2010).

Essas sobre-elevações excepcionais podem ser agravadas se ocorrerem associadas a marés de sizígia. Nessas situações, a elevação do nível do mar causada pela maré de tempestade, somada às elevadas amplitudes das marés de sizígia e, muitas vezes, acompanhada por ventos fortes e chuvas intensas, pode causar inundações severas nas comunidades costeiras. Embora esses efeitos sejam restritos para uma faixa estreita próxima à linha de costa, eles têm potencial para causar mortes e graves danos às propriedades, principalmente em áreas densamente povoadas (WHITEHOUSE e BURTON, 1999). Além disso, o empilhamento da água na costa dificulta o escoamento das águas fluviais, intensificando as inundações a montante durante eventos pluviais intensos (RUDORFF et al., 2006).

No período de 1997 a 2003 foram identificados 26 registros de marés de tempestade que causaram danos significativos nos municípios da costa catarinense (RUDORFF et al., 2006). Mais recentemente, no outono de 2010, a ocorrência em sequência de eventos de tempestade associadas à sobrelevação do nível do mar causou danos às construções costeiras das praias da Armação e Barra da Lagoa, destruindo casas, posto de bombeiros, muros etc.



## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliação da vulnerabilidade aos perigos costeiros relacionados a erosão e inundação costeiras nas praias da Ilha de Santa Catarina foi desenvolvido um índice baseado no “*Coastal Vulnerability Index*” (Índice de Vulnerabilidade Costeira) – CVI (GORNITZ, 1991), tendo o mesmo sido comparado com dados observacionais de morfodinâmica disponíveis.

### 5.1. DEFINIÇÃO E OBTENÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA NO CVI

Com a intenção de adequar a avaliação da vulnerabilidade às características locais e à escala desta pesquisa, não foram utilizadas para o cálculo do CVI as mesmas variáveis propostas originalmente por Gornitz (1991). Deste modo, essa escolha de variáveis de entrada se baseou em trabalhos anteriores relacionados ao tema, compilados no Quadro 2.

**Quadro 2. Compilação de alguns trabalhos relacionados ao tema e que serviram de base para a escolha das variáveis de entrada no CVI. As adotadas nesta pesquisa aparecem destacadas em células de cor cinza.**

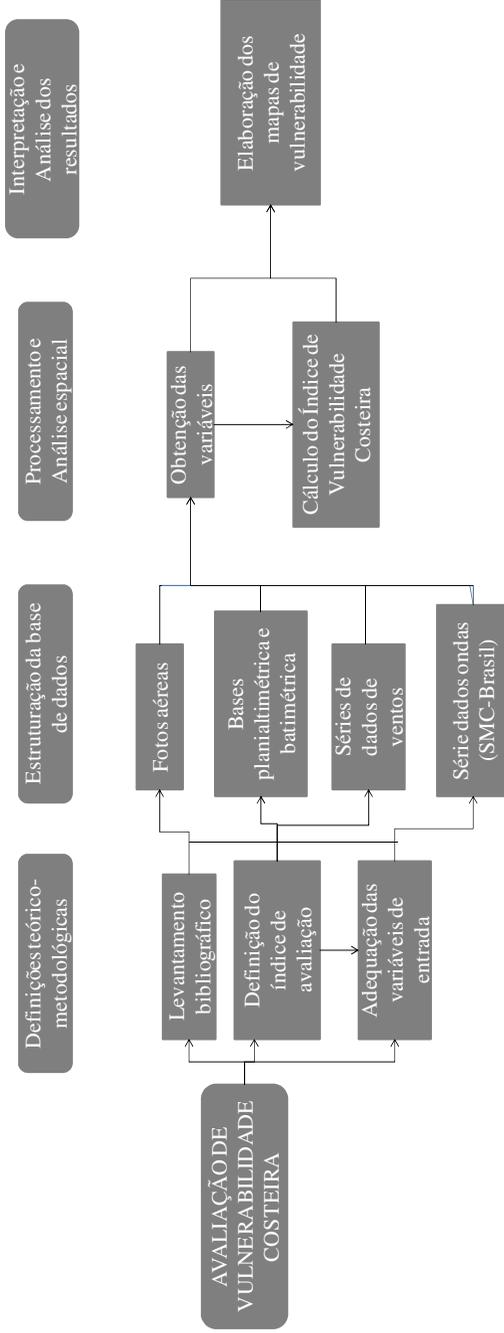
Trabalhos	Carter (1990) *	Gornitz (1991)	Shaw (1998) *	Abuodha (2009)	Benedet et al. (2003)	Forbes et al. (2003) *	Souza; Suguio (2003)	Rudorff (2005)	Hedge; Reju (2007)	Mazzer et al. (2008)	Thieler et al. (2009)	Nicolodi e Petermann (2010)	Lins-de-Barros (2010)	Menezes (2002)
Variáveis														
Declividade da costa	X	X		X		X			X	X	X		X	
Relevo (altitude)		X	X			X				X		X		
Geomorfologia	X	X	X	X		X			X		X		X	
População (em perigo)					X				X			X		
Taxa de retração ou progradação		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Aumento relativo do nível do mar		X	X	X		X					X			
Altura média de onda		X		X						X	X			
Amplitude de maré		X	X	X		X					X			
Tipo de rocha (geologia)			X			X					X			
Exposição às ondas				X		X							X	
Energia da onda			X			X		X					X	X





Considerando a disponibilidade dos dados além de sua relevância local, as variáveis adotadas para o cálculo do CVI foram: tipo de *backshore* (retropraia), altitude do *backshore* (retropraia), exposição às ondas, variação da linha de costa e população em perigo. Esta última variável foi incluída tendo por objetivo a efetiva determinação da vulnerabilidade, que deve levar em conta a exposição humana ao perigo, conforme a definição proposta no Capítulo 2.

Na análise espacial, para fins operacionais de processamento de dados, cada variável foi projetada para a linha de costa que definiu a geometria de base para a pesquisa. Desta forma, o índice foi aplicado a partir de operações de cruzamento entre segmentos com limites distintos para as diferentes variáveis. A Figura 4 apresenta um roteiro metodológico da aplicação do CVI.



**Figura 4. Roteiro metodológico da aplicação do CVI.**

### **5.1.1. Variação da linha de costa**

A variável “Variação da linha costa” é apresentada antes da definição da área em perigo pois a mesma é utilizada na definição desta última.

A posição da linha de costa praial se modifica continuamente ao longo do tempo devido à dinâmica inerente ao sistema costeiro. As fotografias aéreas, todavia, disponibilizam dados de uma linha de costa estática, isto é, sua posição no momento em que a fotografia foi obtida. Nesta pesquisa têm-se consciência de que a linha de costa obtida a partir de uma aerofoto é instantânea e que não representa as condições médias (ou habituais) de um determinado local. Ainda assim, a interpretação visual a partir de fotografias aéreas apresenta aproximações válidas e permitem um resgate histórico que, na maioria das vezes, não está disponível em outro formato (BOAK e TURNER, 2005). Por ser uma técnica comumente utilizada para a obtenção da variação da linha de costa, mesmo sabendo que se trata de uma abordagem que apresenta fontes de erro, este método foi adotado nesta pesquisa.

A Figura 5 traz a sequência de etapas para a classificação final da variável “Variação da linha de costa”, detalhada em seguida.

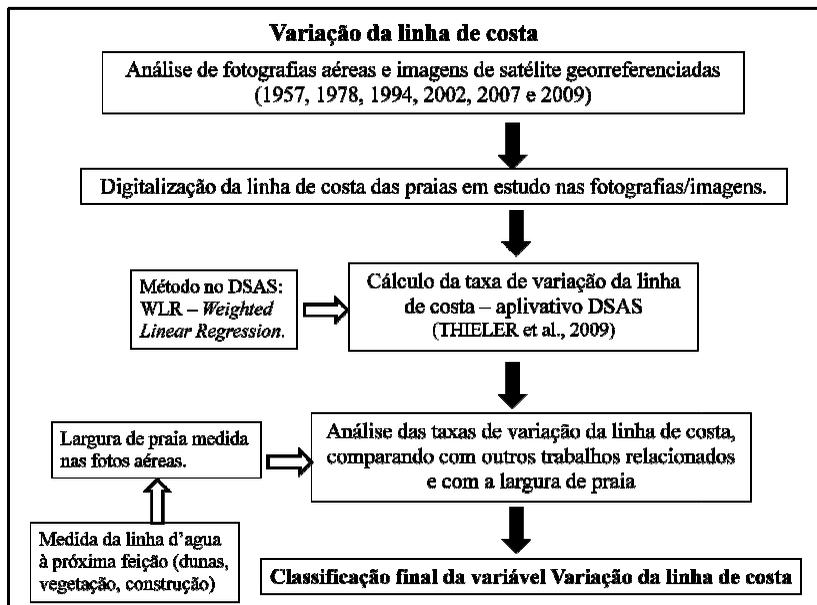


Figura 5. Sequência de etapas para a classificação final da variável **Varição da linha de costa**.

Para o estudo da variação da linha de costa foi realizada a comparação entre fotografias aéreas e imagens de satélite de datas distintas com ajuda da extensão DSAS – *Digital Shoreline Analysis System*, desenvolvida pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (THIELER et al., 2009, <http://pubs.usgs.gov/of/2008/1278/>) integrada ao Sistema de Informação Geográfica ArcGIS 9.3.1.

O Quadro 3 mostra a origem dos dados e as escalas das fotografias aéreas utilizadas.

**Quadro 3. Origem, data e escala das fotografias aéreas utilizadas, escaneadas na resolução de 600 DPI.**

Data da fotografia	Escala	Origem dos dados
1957	1:25.000	Secretária de Planejamento do Estado
1978	1:25.000	DNPM*
1994	1:8.000	IPUF**
2002	1:8.000	IPUF**

<b>2007</b>	<b>1:8.000</b>	<b>IPUF**</b>
<b>2009</b>	<b>x-x-x</b>	<b>Google Earth</b>

\* Departamento Nacional de Produção Mineral.

\*\*Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis.

Apesar de existirem fotografias aéreas para a área de estudo obtidas em 1938, as mesmas não apresentam qualidade suficiente para a obtenção de uma linha de costa confiável. Assim, não foram incorporadas a esta pesquisa.

Para o cálculo da representatividade espacial do pixel a escala da fotografia foi multiplicada pela constante  $2,54 \times 10^{-2}$  e o resultado dividido pela resolução com que a imagem foi digitalizada (em DPI) (Araujo et al. 2008). Assim, foram obtidos valores de 1,06m para as fotografias de 1978 e 0,33m para as demais, estando, portanto, dentro do intervalo de precisão sugerido por Araujo et al. (2008) (aproximadamente 1 metro). A imagem de satélite foi obtida pelo satélite Quickbird, cuja resolução nominal é de 61 cm no modo pancromático e 2,4 metros no modo multiespectral (a Google Earth não informa a composição que é apresentada, mas acredita-se tratar de uma fusão entre bandas com geometria conferida pela banca pancromática).

As fotografias de 1957, 1978, 1994, 2007 e as imagens de 2009 precisaram ser georreferenciadas. Para isso, utilizou-se a ferramenta *Georreferenciag* do ArcGIS e, como base cartográfica, utilizou-se as fotografias de 2002 que foram fornecidas pelo IPUF já georreferenciadas.

Essas fotografias de 2002 foram utilizadas na seleção dos pontos de controle necessários ao processo de correção geométrica das demais fotografias. Esses pontos são feições bem definidas e facilmente reconhecíveis, que podem ser precisamente localizados tanto na base quanto na fotografia a ser georreferenciada. Para este trabalho foram identificados 20 pontos de controle para cada foto/imagem, buscando-se uma boa distribuição espacial dos mesmos. Algumas das feições utilizadas foram esquinas e piscinas (nas fotografias mais recentes).

Nesse processo de correção geométrica é importante ainda avaliar o erro quadrático médio (RMS, *Root Mean Square*) do georreferenciamento, que é automaticamente calculado pelo ArcGIS. Esse erro é a média dos valores obtidos pela diferença entre a posição estimada e a posição real elevada ao quadrado, ou seja, o RMS exprime o erro posicional inerente ao modelo criado no registro entre uma imagem e outra.

Para controlar a precisão do georreferenciamento deve-se multiplicar o RMS pela constante 1,7308, a fim de se obter um nível de confiança de 95% em relação à posição verdadeira dos pontos na base cartográfica, segundo o Comitê Norte-Americano de Padronização de Dados Geográficos (FGDC-STD, 1998). O erro referente ao georreferenciamento foi multiplicado por essa constante e os valores obtidos foram utilizados como valor de incerteza para o cálculo de variação da linha de costa. A Tabela 2 mostra os erros para cada conjunto georreferenciado para cada praia. Na última coluna, o erro corrigido é dividido pelo período de anos relativo a fotografia em questão e a utilizada para o georreferenciamento (2002).

**Tabela 2. Cálculo da incerteza referente ao georreferenciamento das fotografias aéreas, utilizando como base as do IPUF de 2002.**

<b>Fotos/Imagens (Datas)</b>	<b>Praia</b>	<b>Erro Corrigido 95% confiança</b>	<b>Incerteza (m/ano)</b>
<b>1957</b>	Inglese	$2,24 \times 1,7308 = 3,87$	$3,87/45 = 0,086$
	Barra da Lagoa Moçambique	$5,08 \times 1,7308 = 8,79$	$8,79/45 = 0,19$
	Armação	$4,83 \times 1,7308 = 8,35$	$8,35/45 = 0,18$
<b>1978</b>	Inglese	$1,876 \times 1,7308 = 3,24$	$3,24/24 = 0,13$
	Barra da Lagoa Moçambique	$5,59 \times 1,7308 = 9,67$	$9,67/24 = 0,40$
	Armação	$4,00 \times 1,7308 = 6,92$	$6,92/24 = 0,28$
<b>1994</b>	Inglese	$1,82 \times 1,7308 = 3,15$	$3,15/8 = 0,39$
	Barra da Lagoa Moçambique	$1,82 \times 1,7308 = 3,15$	$3,15/8 = 0,39$
	Armação	$1,83 \times 1,7308 = 3,16$	$3,16/8 = 0,39$
<b>2007</b>	Inglese	$1,02 \times 1,7308 = 1,76$	$1,76/5 = 0,35$
	Barra da Lagoa Moçambique	$1,02 \times 1,7308 = 1,76$	$1,76/5 = 0,35$
	Armação	$0,76 \times 1,7308 = 1,31$	$1,31/5 = 0,26$
<b>2009</b>	Inglese	$1,72 \times 1,7308 = 2,97$	$2,97/7 = 0,42$

Fotos/Imagens (Datas)	Praia	Erro Corrigido 95% confiança	Incerteza (m/ano)
	Barra da Lagoa Moçambique	$1,63 \times 1,7308 = 2,8$	$2,8/7 = 0,40$
	Armação	$1,55 \times 1,7308 = 2,68$	$2,68/7 = 0,38$

Após esse passo, foram traçadas visualmente as linhas de costa (para cada uma das datas) usando como referência a linha que separa a areia úmida da areia seca (Figura 6), conforme proposto por Boak e Turner (2005).



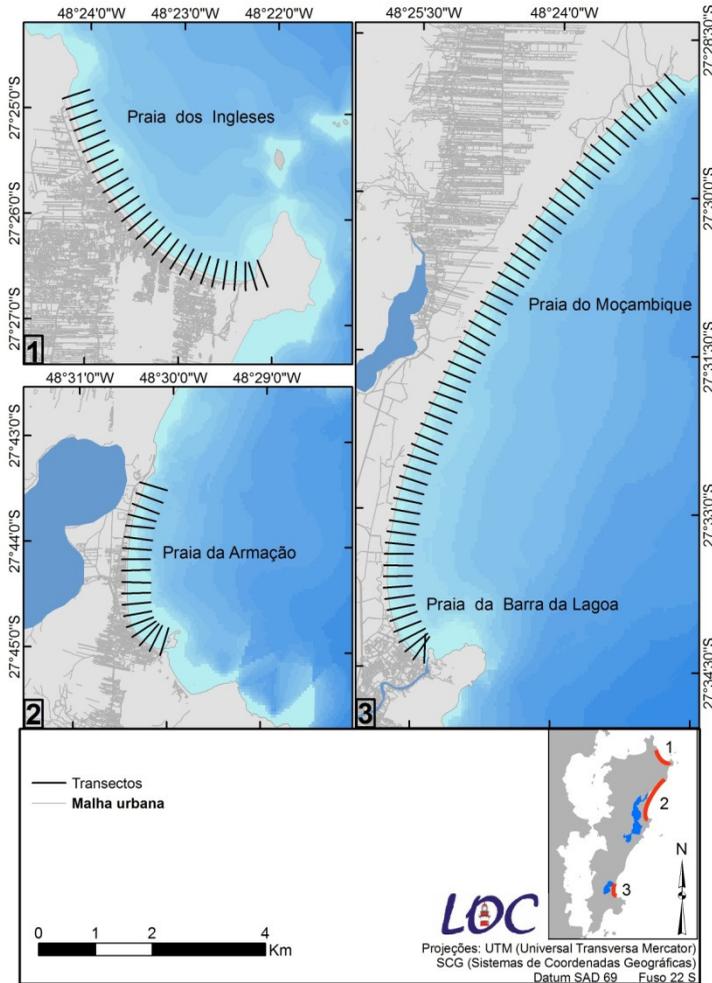
**Figura 6. Exemplo de identificação da fronteira areia seca/areia úmida (Praia dos Ingleses).**

Para melhor identificar visualmente essa fronteira, algumas das imagens tiveram seu contraste alterado. Isso foi feito no ArcGIS, em *Properties* → *Symbology*, alterando o histograma.

Em seguida, utilizou-se o aplicativo livre DSAS – *Digital Shoreline Analysis System 4.2* para calcular a variação da linha de costa. Para esse cálculo o aplicativo solicita um valor de incerteza para cada linha. Esses campos foram preenchidos com as incertezas referentes ao georreferenciamento, apresentadas anteriormente. Para a fotografia de 2002 fornecida já georreferenciada pelo IPUF atribuiu-se a incerteza de 0,01, já que o aplicativo não permite que esse campo seja 0 (zero).

Para o traçado dos transectos necessitou-se de uma linha base (*baseline*) obtida a partir da linha de costa mais recente, utilizando a ferramenta *buffer* do SIG ArcGIS, reproduzindo esta linha a uma distância determinada (neste caso, aproximadamente 150 metros da linha de costa de 2009).

Os transectos perpendiculares às linhas de costa foram feitos com comprimento de 500 metros (a partir da *baseline*), de norte para sul, distanciados em 200 metros. Com isso, foram traçados ao todo 27 transectos para a Praia dos Ingleses, 62 para o Sistema Praiaal Barra da Lagoa/Moçambique e 18 para a Praia da Armação (Figura 7).



**Figura 7.** Posição dos transectos traçados pelo aplicativo DSAS (500m de comprimento e 200m entre eles).

Neste trabalho, para fins de teste e seleção do resultado a ser adotado, foram calculadas as taxas de variação da linha de costa para as praias em estudo empregando-se os quatro métodos disponíveis pelo DSAS. O primeiro método foi o *EPR – End Point Rate*, que consiste em dividir a distância entre a linha de costa mais antiga e a mais recente (neste caso, 1957 e 2009) pelo número de anos do período. A maior desvantagem desse método é que as informações trazidas pelas outras linhas de costa (das outras datas) são perdidas, ou seja, não entram no cálculo. O segundo método foi o *LRR – Linear Regression*, que faz uma regressão linear, isto é, busca estimar o comportamento de uma variável dependente ( $y$  – posição da linha de costa em relação a *baseline*) em relação a uma outra variável (data) por meio de uma função linear. Sua vantagem é que todos os dados entram no cálculo. O terceiro método também é uma regressão linear: *WLR – Weighted Linear Regression*. Neste caso, para o cálculo da taxa de variação da linha de costa é atribuído maior peso às linhas de costa que têm incertezas menores, ou seja, o peso é função da incerteza. Desta forma, apresenta duas vantagens a de considerar todos os dados disponíveis atribuindo maior importância aos de menor incerteza.

Para o *LRR* e o *WLR*, o aplicativo computa os parâmetros *LCI* e *WCI*, respectivamente relativos à incerteza da taxa de variação calculada com intervalo de confiança escolhido pelo usuário (nesse caso 95%) e *LR2* e *WR2* que são parâmetros relativos à porcentagem da variância dos dados explicada pela regressão linear (equiparado ao coeficiente de determinação).

O quarto método é o *LMS – Least Mean Square* que também trabalha com regressão linear, mas utiliza a mediana do quadrado dos resíduos (diferença da distância entre os valores conhecidos de  $y$  e os valores preditos), e não a média, tentando minimizar o efeito de dados anômalos no cálculo da taxa de variação da linha de costa.

Maiores informações a respeito desses métodos podem ser obtidas em Thieler et al. (2009).

Esses métodos forneceram taxas de variação da linha de costa diferentes. Com a intenção de embasar a justificativa de escolha do método empregado neste trabalho e buscando não subestimar a variação da linha de costa (já que em análise de risco trabalha-se sempre com o pior cenário), foi feita a comparação dos resultados desses métodos por meio do teste estatístico não-paramétrico *Kruskal-Wallis*. Este teste é apropriado para dados que não apresentam distribuição normal e para comparar as distribuições de duas ou mais variáveis em amostras

independentes (LANDIM, 2003), ou seja, verificar se as taxas de variação da linha de costa são (ou não) idênticas nos quatro métodos do DSAS.

Este teste foi realizado no *software* Statística 7.0, tendo como variáveis dependentes as taxas de variação da linha de costa obtidas para cada transecto de cada praia e como fatores os quatro métodos do DSAS.

Para auxiliar na classificação da suscetibilidade quanto à taxa de variação de linha de costa foi aplicado também o teste estatístico escalonamento multidimensional (MDS) que, como técnica exploratória, permite que o pesquisador identifique estruturas nos dados em estudo. O MDS pode ser usado com dados que não apresentam distribuição normal e representa, em distâncias, as medidas de similaridade (ou dissimilaridade) entre pares de objetos. Assim, quanto menor a distância entre um par de objetos, mais correlacionados eles são (BORG e GROENEN, 2005). Esse teste foi realizado também no Statística 7.0, tendo como variáveis os quatro métodos (EPR, WLR, LRR e LMS) e como casos as taxas de variação da linha de costa dos transectos de cada praia.

A partir da análise dos agrupamentos gerados pelo MDS, a classificação da suscetibilidade para a variação da linha de costa pôde ser proposta, isto é, foram analisadas as taxas de variação agrupadas pelo método e, assim, delimitadas as classes (Quadro 4), considerando também os quartis nessa classificação.

**Quadro 4. Classes de suscetibilidade para a variável taxa de variação da linha de costa.**

Classe de suscetibilidade	Valores (metros/ano)
Muito baixa	$\geq 0$ (progradação)
Baixa	Entre 0 a -0,1
Moderada	Entre -0,1 a -0,4
Alta	Entre -0,4 a -0,7
Muito Alta	$\leq -0,7$

Como exemplo, para comparação, é apresentado o Quadro 5 com as taxas de erosão encontradas por outros autores e suas respectivas classificações quanto à suscetibilidade. Outros trabalhos relacionados ao

tema, já mencionados no Quadro 2, também incluem taxas de variação de linha de costa na avaliação de suscetibilidade costeira mas, no entanto, não especificam essas classes em suas publicações.

Deste modo, considerou-se que se em 50 anos forem inundados pelo mar 20 metros de faixa de areia (valor mínimo da classe alta) os prejuízos (ecológicos e econômicos) serão significativos, visto que a média da largura faixa de areia para as praias de estudo é de 51 metros. Essa medida foi realizada por meio das fotografias aéreas e imagem de satélite considerando como largura de praia a distância da linha d'água até a próxima feição de porte (duna, construções ou vegetação).

**Quadro 5. Outras classificações de suscetibilidade de taxas de variação da linha de costa.**

Muito baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito alta	Classes ←
Taxa de variação da linha de costa (m/ano)					Autores
$\geq 2,1$	Entre 1,0 e 2,0	Entre -1,0 e 1,0	Entre -1,1 e -2,0	$\leq - 2,1$	1
$\geq 0$	Entre 0 e -0,5	Entre -0,5e -1,0	Entre -1,0 e -1,5	$< -1,5$	2
$> 0$ Progradação		= 0 estável	$< 0$		3
$> 0$ Progradação		= 0	$\leq 0$ Erosão severa	$\leq 0$ Erosão severa	4
$> 1,0$	$> 1,0$	Entre 1,0 e -1,0	$< -1,0$	$< -1,0$	5
1	Gornitz (1991) e Abuodha e Woodroffe (2006)				
2	Hedge e Reju (2007)				
3	Bush et al. (1999)				
4	Rudorff (2005)				
5	Pendleton et al. (2004)				

### 5.1.2. Definição da área em perigo

A “área em perigo”, para fins de desenvolvimento da pesquisa, foi definida considerando principalmente o processo morfodinâmico atual. Em teoria, as taxas de variação da linha de costa, se obtidas para

séries temporais amplas, expressam uma tendência decadal da dinâmica local.

Esta área será importante para a definição das variáveis de entrada no índice: altitude da retropraia (*backshore*) e população em risco.

A Figura 8 mostra a sequência de etapas adotadas para obtenção da área em perigo, com sua descrição detalhada apresentada em seguida.

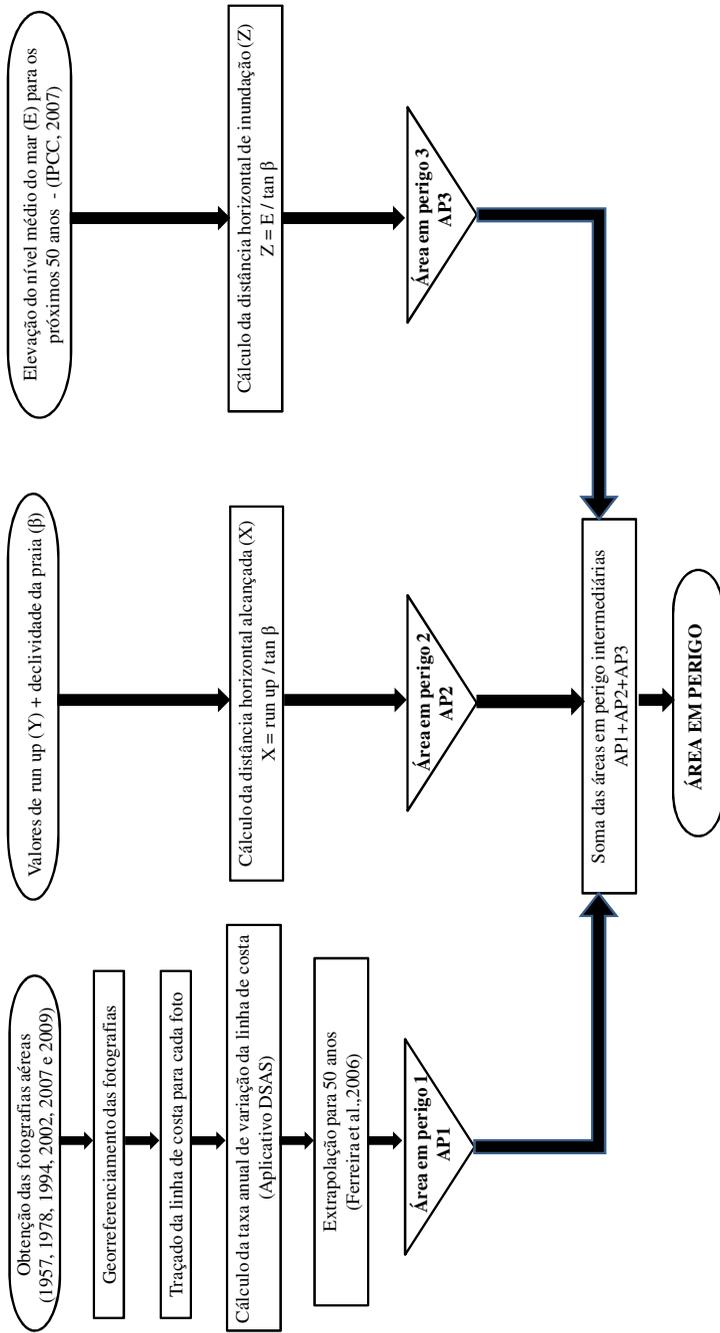


Figura 8. Sequência de etapas para definição da área em perigo.

A área em perigo foi determinada em três etapas. A primeira teve como base a metodologia proposta por Ferreira et al. (2006). Estes autores propõem obter-se a taxa anual de variação da linha de costa por meio de análise de fotografias aéreas e projetá-la para o futuro (50 anos, por exemplo), considerando que a tendência de movimentação da linha de costa será mantida. Assim, as taxas anuais de variação da linha de costa encontradas para as praias da área em estudo foram multiplicadas por 50 anos, que segundo Ferreira et al. (2006) é um período adequado para a definição de ações de gerenciamento costeiro. Com isso obteve-se uma distância que teoricamente reflete a posição que a linha de costa poderá atingir em 50 anos.

A segunda etapa se deu considerando o *run up* que é a distância vertical máxima de alcance de onda. Ele é responsável por inundações instantâneas e contribui significativamente para a erosão de praias (SILVA, 2012). Para isso foram considerados os dados de ondas obtidos por Araujo et al. (2003) para as proximidades da Ilha de Santa Catarina.

Os cálculos foram feitos baseados em Nielsen e Hanslow (1991), utilizando-se a maior altura significativa (2m) e o maior período de onda (12s) encontrados por Araujo et al. (2003). A equação empregada para determinação do *run up* foi:

$$Z_m = H \times \left( \frac{L}{H} \right)^{0.5} \times \tan \beta$$

onde,

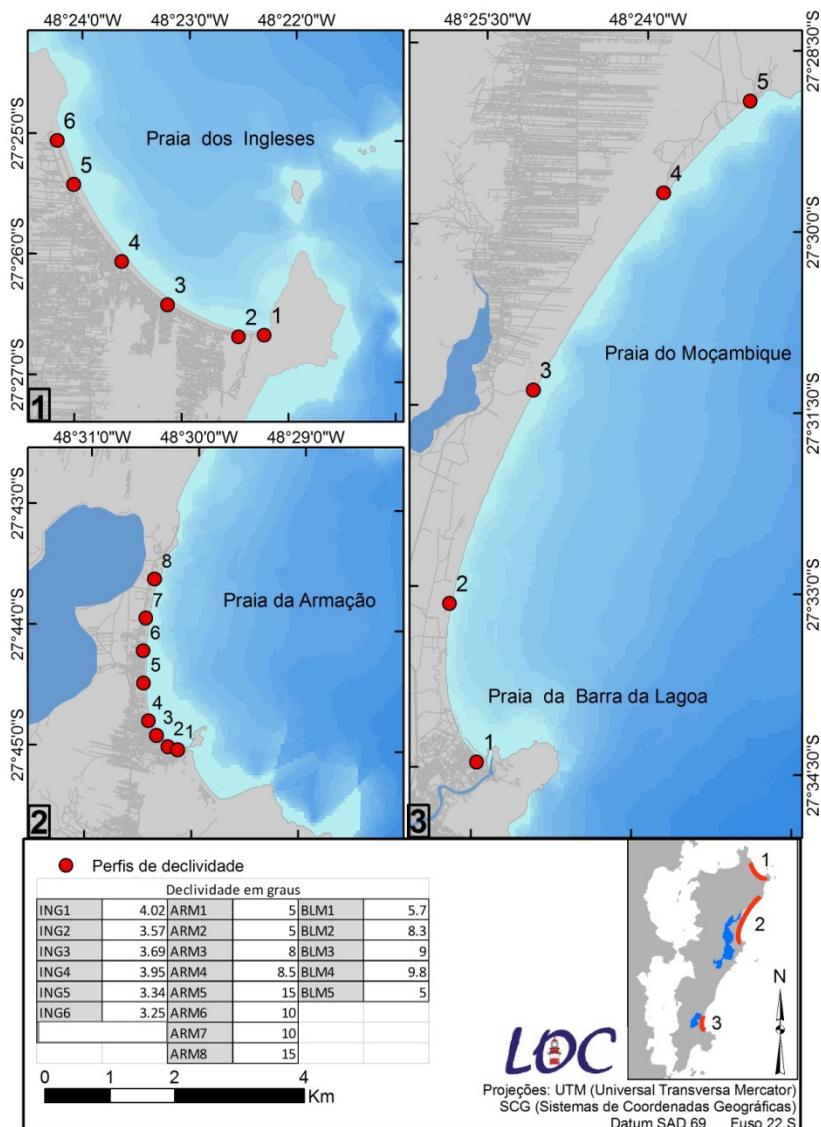
$Z_m$  é a distância vertical do nível d'água até o limite do *run up*;

$H$  é a altura significativa de onda

$L$  é o comprimento de onda (calculado por meio do período de onda, considerando  $L=(g \times T^2)/(2 \times \pi)$ ; onde  $g$  é a aceleração da gravidade, igual a  $9.81 \text{m/s}^2$  e  $T$  é o período de onda); e  $\tan \beta$  é a tangente da declividade da praia.

Nielsen e Hanslow (1991) apresentam também variações desta fórmula mais adequadas para diferentes declividades de praia que não serão abordadas nesta pesquisa.

Os dados de declividade utilizados foram médias de declividade de cerca de um ano de medições compilados por Oliveira (2009). A Figura 9 apresenta a localização dos perfis de declividade e seus valores em graus.



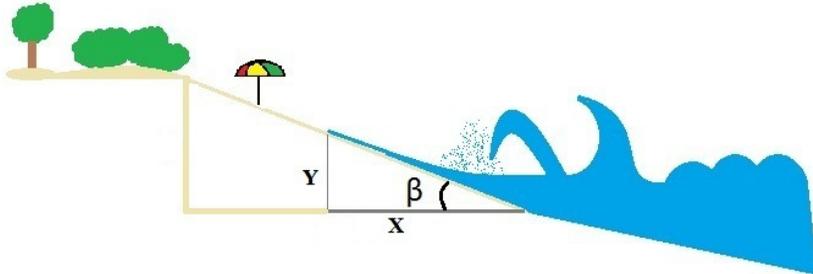
**Figura 9. Pontos de declividade e seus valores em graus.**

A partir do *run up* calculou-se, de forma simplificada, a distância horizontal alcançada pela onda com a seguinte fórmula:

$$X = Y / \tan \beta$$

Onde,  $Y = \textit{run up}$ ;  $X =$  distância horizontal de alcance da onda e  $\beta =$  declividade da praia.

A Figura 10 traz uma ilustração explicativa desta estimativa adotada.



**Figura 10.** Figura ilustrativa da estimativa do cálculo da distância horizontal alcançada pelas maiores ondas encontradas por Araujo et al. (2003).

A terceira etapa para a obtenção da área em perigo considerou a elevação do nível médio do mar sugerida pelo IPCC (2007), que é de até 0,59 metros até o final deste século (pior cenário). Deste modo, calculou-se a distância horizontal, a partir da linha de costa, suscetível à inundação por esse novo nível do mar para os próximos 50 anos por meio da fórmula:

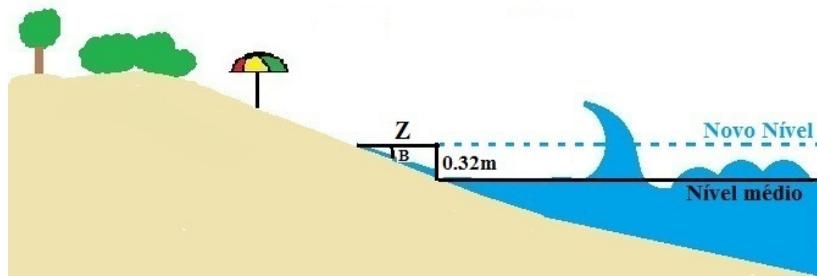
$$Z = \frac{0,32}{\tan \beta}$$

$Z =$  distância horizontal

$\beta =$  declividade da praia

0,32 metros = aumento do nível médio do mar para os próximos 50 anos.

A Figura 11 ilustra o cálculo desta distância horizontal de alcance das águas.



**Figura 11. Distância horizontal alcançada pelo mar devido à elevação do nível do mar sugerida pelo IPCC (2007) para os próximos 50 anos.**

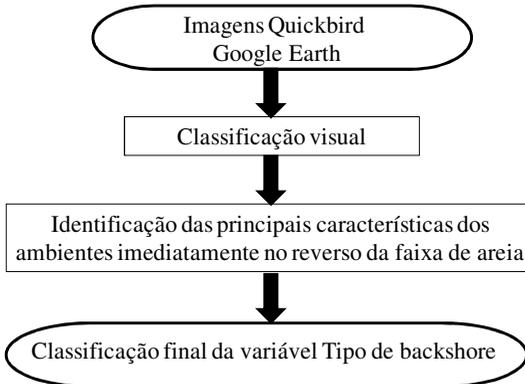
Esta retração horizontal da linha de costa pode ser calculada de forma mais precisa empregando-se a Regra de Brunn (1962), como realizado por Freitas et al. (2010). Nesta pesquisa, entretanto, não se pôde efetuar os cálculos desta maneira devido à falta de dados relativos à largura do perfil, profundidade de fechamento e altura da berma, por isso, optou-se por adotar a simplificação apresentada. Essa simplificação não considera também a previsão de aceleração da taxa de aumento do nível do mar prevista também pelo IPCC.

Para cálculo final da “Área em perigo” somou-se as três distâncias obtidas. A largura desta área variou ao longo das praias devido às diferentes taxas de variação da linha de costa obtidas. Esta área é apresentada nos resultados. Entretanto, para a determinação da “Altitude do *backshore* (retropraia)” e para o cálculo da “População em perigo”, utilizou-se o maior recuo da linha de costa encontrado em cada praia, ou seja, considerou-se o pior cenário, em que a praia toda estaria sofrendo retração da linha de costa com a maior taxa anual de variação encontrada, com o maior alcance das ondas devido ao *run up* e inundação provocada pela elevação do nível médio do mar para os próximos 50 anos.

### **6.1.3. Tipo do *backshore* (retropraia)**

O *backshore* (ou retropraia em Português, termo este menos usual), para fins operacionais pode ser definido como a zona da costa que se estende para o interior até uma distância de referência, partindo da zona entremarés, além da marca da maré alta (*High Water Mark*) (SHARPLES, 2006). A zona de *backshore* (retropraia) inclui áreas influenciadas diretamente por processos costeiros e ocasionalmente pela sobrelavagem (*overwash*) causada por marés meteorológicas.

A Figura 12 apresenta a sequência de etapas seguidas até a classificação final da variável Tipo de *backshore* (retropraia), detalhada a seguir.



**Figura 12. Sequência de etapas para a classificação final da variável Tipo de backshore.**

Neste trabalho, o Tipo de *backshore* (retropraia) foi determinado por meio de classificação visual a partir de imagens do Quickbird de 2009 disponíveis no Google Earth (com resolução espacial de 2,4 metros no modo multiespectral), buscando-se considerar, na avaliação da suscetibilidade, as principais características de uso do solo e cobertura vegetal dos trechos imediatamente no reverso da faixa de areia.

Para essa variável, áreas com dunas, devido à sua função de estoque de sedimentos e capacidade de proteger sua retaguarda (dificultando a transposição das ondas) receberam grau de suscetibilidade baixo e as dunas vegetadas foram consideradas como suscetibilidade muito baixa, considerando também que a vegetação é indício de maior estabilidade da duna e de fixação do substrato (CARTER, 1988). Os trechos de vegetação com construções/ocupação dispersas receberam grau moderado e os trechos de ocupação com construções presentes na linha de costa receberam grau de suscetibilidade muito alto, considerando que a ocupação bloqueia o transporte transversal de sedimentos natural da praia, impedindo que o equilíbrio dinâmico possa se restabelecer após um evento. Além disso, essa ocupação por estar logo no reverso da praia está suscetível aos eventos extremos (Quadro 6).

**Quadro 6. Classificação de suscetibilidade da variável tipo de *backshore* (retropraia).**

<b>Tipo de <i>backshore</i></b>	<b>Classificação da suscetibilidade</b>
Duna vegetada	Muito Baixa
Duna ativa	Baixa
Vegetação com ocupação dispersa	Moderada
Ocupação / construções	Muito Alta

#### **5.1.4. Altitude do *backshore* (retropraia)**

A segunda variável relativa ao *backshore* (retropraia) é a altitude. A Figura 13 apresenta a sequência de etapas para a classificação final dessa variável, detalhada em seguida.

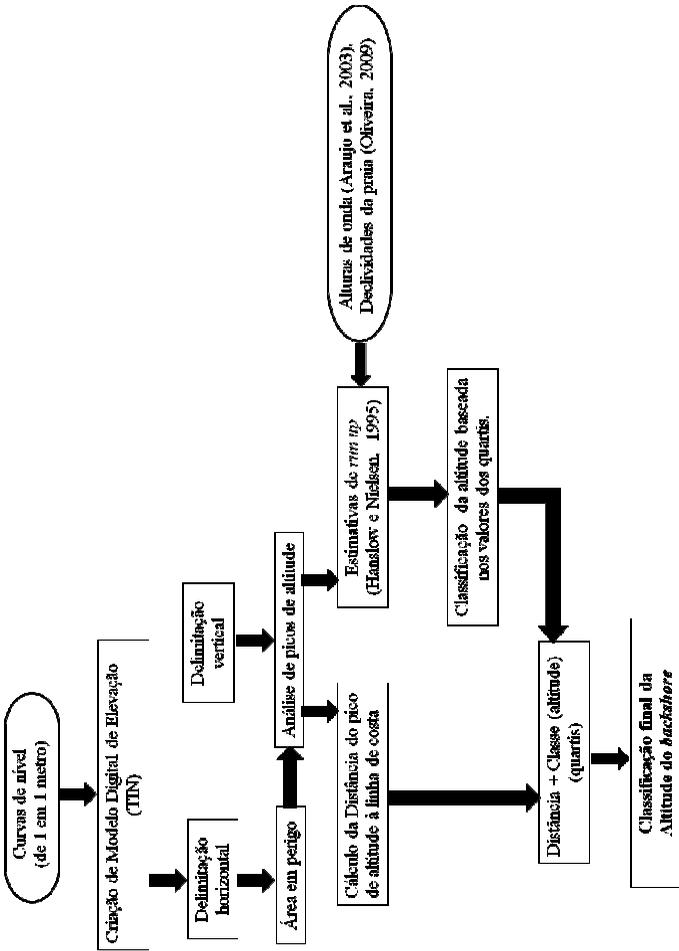


Figura 13. Sequência de etapas para a classificação final da variável Altitude do backshore.

A altitude do *backshore* (retropraia) foi obtida tendo por base curvas de nível espaçadas de 1 em 1 metro, tratadas no ArcGIS. Esses dados, disponibilizados pelo IPUF, foram derivados de pontos cotados restituídos de aerofotos em escala 1:5.000 obtidas no ano de 2007 (IPUF – Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis).

O *shapefile* (formato de dado espacial do tipo vetorial do ArcGIS) com as curvas de nível foi transformado em um arquivo de pontos (ferramenta *Feature to point*). Em seguida, a partir da linha de costa traçada com base na imagem de 2009 (mais recente) foi gerado um *buffer* de 1000 metros em direção ao interior (valor adotado buscando-se ter uma maior área disponível para a geração do Modelo Digital de Elevação, MDE) e excluídos os pontos cotados fora desse limite. Este conjunto de pontos serviu para a geração do MDE, obtendo-se uma superfície contínua com dados de altimetria. O método utilizado foi o TIN (*triangular irregular network*) por apresentar alta correlação com dados cartográficos originais (SALGADO et al., 2011) e por seu resultado satisfazer o objetivo deste trabalho.

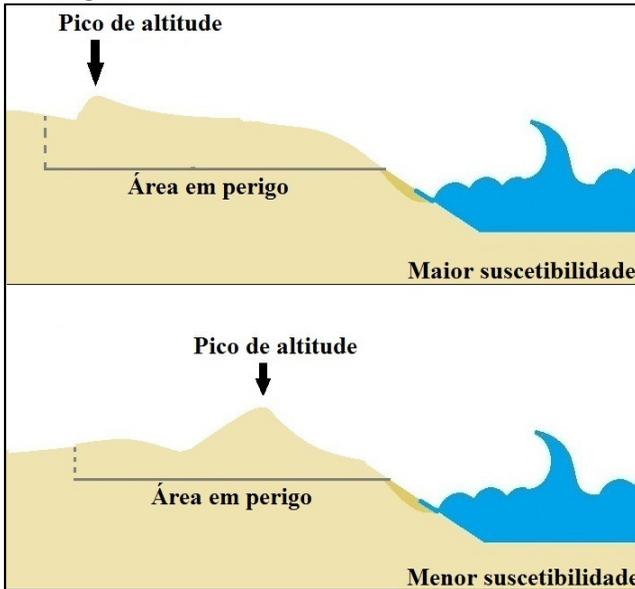
Para a definição do limite horizontal até onde a altitude do *backshore* (retropraia) seria considerada, julgou-se insuficiente adotar a extensão dos terrenos de marinha, isto é, os 33 metros medidos em direção à retroterra a partir da baixa-mar de sizígia de 1831 (Decreto-Lei Nº 9.760/1946). Isto porque além de ser de difícil determinação, esse limite frequentemente não ultrapassa a largura da berma de praias mais largas (MUEHE, 2001).

Assim, essas distâncias de referência foram determinadas com base na definição de *backshore* (retropraia) de Sharples (2006) apresentada anteriormente e, principalmente, na área em perigo, considerando sempre o pior cenário.

Para acompanhamento da variação da altitude do *backshore* (retropraia) ao longo do arco praiial foram utilizados os mesmos transectos (perfis perpendiculares à linha de costa) traçados para o cálculo da variação da linha de costa. Em alguns casos os transectos foram alongados para alcançar a distância necessária para a análise na área emersa. O perfil de altitude de cada transecto pôde ser observado no gráfico gerado no ArcGIS pela ferramenta *Create Profile Graph* em *3D Analyst tools* a partir da superfície contínua do modelo TIN.

Áreas planas mais próximas ao mar são mais suscetíveis à inundação, portanto, considerou-se também a distância do primeiro pico de altitude do transecto (valor de maior altitude à menor distância da

linha de costa, dentro da área em perigo) até a linha de costa. Quanto menor este pico e mais distante da linha d'água, maior a suscetibilidade deste ponto (Figura 14).



**Figura 14. Figura ilustrativa da variação da suscetibilidade quanto à altitude e a distância da linha de costa.**

A classificação quanto à altitude levou em conta estimativas derivadas de cálculos de *run up* (apresentadas no subitem da Área em perigo, 5.1.2.), buscando considerar o maior alcance vertical das ondas. As classes foram definidas a partir dos quartis dos valores obtidos na estimativa do *run up*. O segundo quartil limitou a maior classe de suscetibilidade, ou seja, valores menores que o do segundo quartil foram classificados na classe “muito alta”; e o quarto quartil limitou a classe “muito baixa”.

A classificação dessa variável foi baseada na ideia de que a suscetibilidade é inversamente proporcional à altura do pico de altitude e diretamente proporcional à distância deste à linha de costa. Após a classificação dos pontos com relação à altitude, a classificação final desta variável foi definida da seguinte forma:

$$\text{Suscetibilidade final} = \text{classe (altitude)} + \text{distância}$$

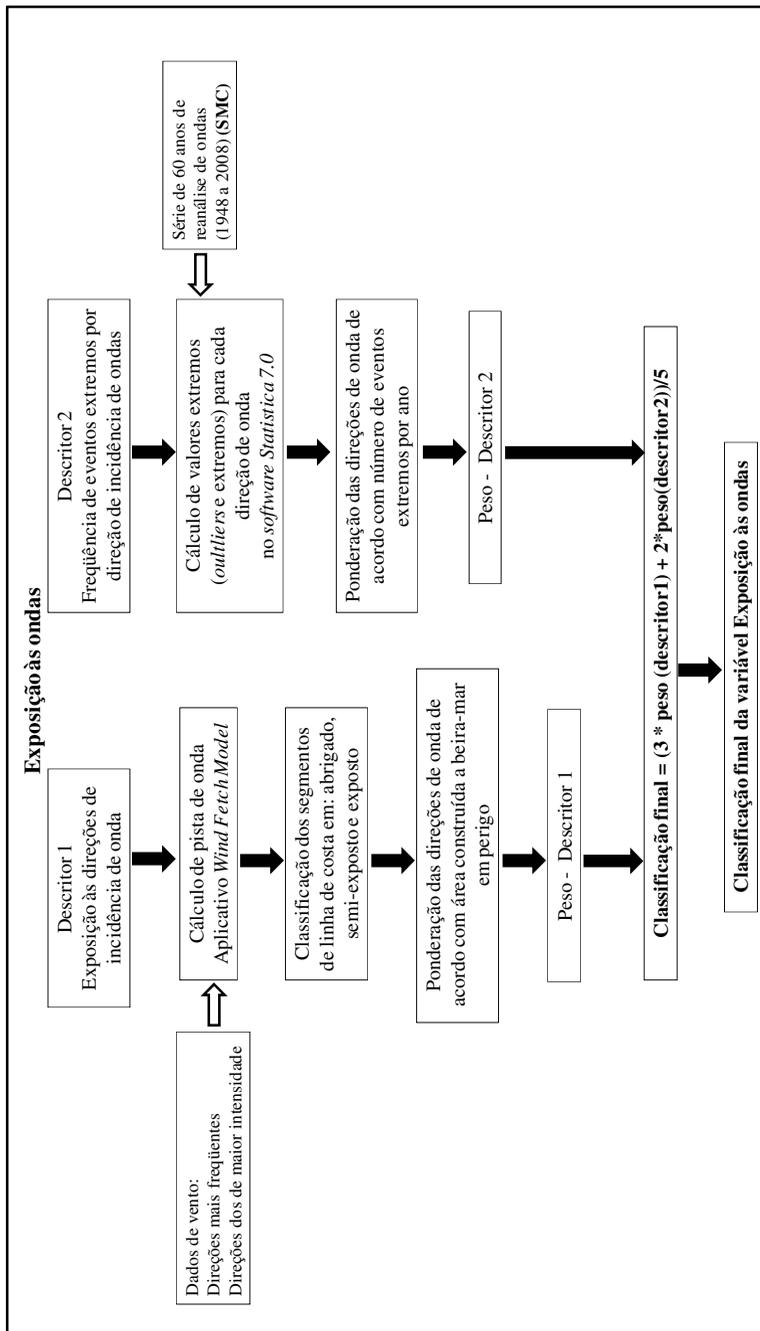
Onde “classe (altitude)” = classificação da altura do pico de altitude realizada com base nos cálculos de *run up*; e “distância” = distância do primeiro pico de altitude à linha de costa.

As classes finais de suscetibilidade da altitude do backshore foram definidas também a partir da divisão em percentis.

### **5.1.5. Exposição às ondas**

Para essa variável analisou-se principalmente a orientação da linha de costa em relação à direção de incidência de onda e o número de eventos extremos registrados para cada uma dessas direções.

A Figura 15 traz uma sequência de etapas para a classificação dessa variável.



**Figura 15. Sequência de etapas para a classificação final da variável Exposição às ondas.**

Para obter a exposição da linha de costa às diferentes direções de incidência de onda utilizou-se a extensão *Wind Fetch Model* (FINLAYSON, 2005), desenvolvida pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos, que calcula a pista de vento e é adicionada como uma caixa de ferramentas (*toolbox*) ao ArcGIS.

Pista de vento é considerada a distância (livre de “obstruções”) que o vento pode percorrer acima d’água em uma direção constante. Assim, considerando a geração de ondas pela troca de energia (vento/água), quanto maior a pista mais exposto à agitação do mar por ação de ondas é aquele segmento da costa. Desta forma, a utilização desse aplicativo teve como principal objetivo a classificação dos segmentos da linha de costa em: exposto, semi-exposto e abrigado.

Para calcular a pista de vento com o *Wind Fetch Model* foi necessário criar um arquivo *raster* (formato matricial de dado espacial), onde o oceano recebeu atributo 0 e as áreas emersas receberam atributo 1 (Figura 16). Para águas abertas a pista de vento é revelada com um valor negativo, indicando que foi calculada a partir do limite do arquivo *raster* criado. Para este trabalho o arquivo raster teve limite de aproximadamente 100 quilômetros de distância da Ilha de Santa Catarina. Os dados de vento são inseridos em um arquivo do tipo *.txt* (bloco de notas).



**Figura 16. Arquivo raster. Continente e ilha com atributo 1 (cor verde); oceano com atributo 0 (cor preto).**

Essa abordagem tem como limitação o fato de não considerar outros processos de propagação de ondas em águas rasas (como refração, difração, empinamento etc.). Sabendo da importância destes, foi feita uma análise crítica dos cenários de exposição às ondas fornecidos pelo *Wind Fetch Model* tendo como apoio os cenários obtidos pelo modelo de propagação de ondas SWAN (*Simulating Waves*

*Nearshore*), que resolve adequadamente os processos de refração e empinamento e resolve de forma aproximada o processo de difração de ondas (HOLTHUIJSEN, 2007).

O SWAN é um modelo que estima a propagação de ondas a partir de dados de direção de vento, altura significativa, período de onda e configuração batimétrica do local.

Essa análise crítica, efetuada por meio de comparação visual, buscou verificar se as áreas apontadas pelo *Wind Fetch Model* como áreas de sombra (abrigadas da ação das ondas) coincidiam com as áreas apontadas pelo SWAN como áreas que recebem ondas de baixa energia.

As direções de vento (entrada para os dois modelos) foram obtidas da análise de dados de três fontes distintas (Quadro 7) advindos de duas estações meteorológicas próximas à Ilha de Santa Catarina (Figura 17). Os cenários foram construídos utilizando-se as direções de ventos mais frequentes e de ventos de maior intensidade (velocidade). Por fim, para completar a análise do clima de ondas para a Ilha de Santa Catarina essas direções foram comparadas com as principais direções de onda obtidas por Araujo et al. (2003) e com o clima de ondas fornecido pelo Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil) (MMA, 2012).

O SMC-Brasil é uma ferramenta que inclui um conjunto de metodologias e modelos numéricos que permitem estudar os processos costeiros e possui bases de dados de dinâmica marinha do país (ondas e nível do mar). Neste trabalho, será utilizada a base referente às ondas, que é provinda de reanálise de ondas GOW - *Global Ocean Waves* já calibrada e abrangendo o período entre fevereiro de 1948 e dezembro de 2008, efetuada pelo IH Cantabria (Instituto de Hidráulica Ambiental da Universidade de Cantábria). O modelo numérico para a simulação da reanálise de ondas foi *Wave Watch III* da NOAA/NCEP (TOLMAN, 1997, 1999). A forçante introduzida no modelo foi uma base de dados de velocidade de ventos a 10 metros de altura pertencente à reanálise atmosférica global NCEP/NCAR). É necessário mencionar que estes dados de onda estão sendo validados (MMA, 2012).

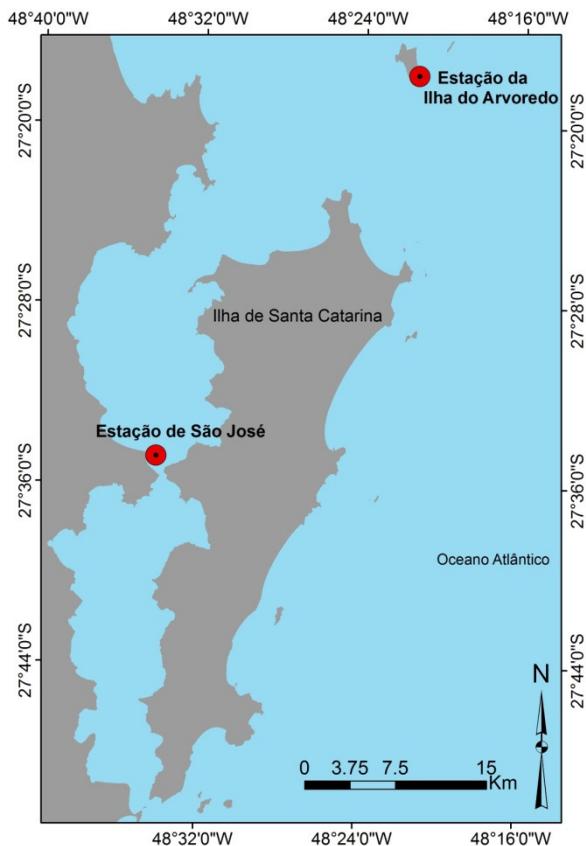
**Quadro 7. Séries e fonte de obtenção dos dados de direção e intensidade dos ventos para a Ilha de Santa Catarina.**

Série	Local da Estação (UTM)	Fonte
88 anos (1911 a 1999)	739885,0; 6946965,6 São José	PLDM (SEAP, 2008)
34 anos (1959 a 1998)	761679; 6978059 Iha do Arvoredo	Marinha do Brasil* Epagri**

Série	Local da Estação (UTM)	Fonte
1 ano (2004 a 2005)		

\*dados disponibilizados pela Marinha do Brasil, através do Banco Nacional de Dados Oceanográficos, cedidos por Miot da Silva (2006)

\*\*dados fornecidos pela EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, cedidos por Miot da Silva (2006).



**Figura 17. Localização das estações meteorológicas utilizadas.**

O Quadro 8 traz os dados de entrada utilizados para dois modelos.

**Quadro 8. Dados de entrada dos modelos comparados.**

<b>Dados de entrada</b>	<b>Wind Fetch Model</b>	<b>SWAN</b>
<b>Direção do vento</b>	S, SE, L, NE	S, SE, L, NE
<b>Altura de onda</b>	Não requer	2 metros*
<b>Período de onda</b>	Não requer	12 segundos*
<b>Batimetria</b>	Não requer	(SEAP, 2008)**

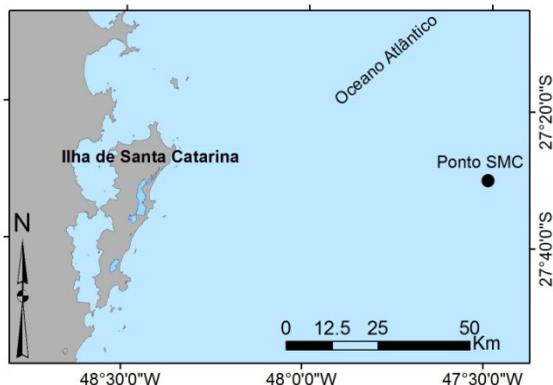
\* Araujo et al. (2003).

\*\* dados de batimetria obtidos a partir da digitalização de Cartas Náuticas da DHN fornecidos pelo Projeto Planos Locais de Desenvolvimento da Maricultura - PLDM's de Santa Catarina (SEAP, 2008).

Após obtidas as exposições às direções de incidência de ondas pelo *Wind Fetch Model* as mesmas foram ponderadas segundo a densidade de construções à beira-mar, ou seja, edificações diretamente expostas à ação das ondas. Um segmento de costa com alta densidade de construções no seu reverso que seja exposto às ondulações de leste atribui a essa direção maior peso que a de sul, por exemplo, se esta gerar perigo a uma retropraia menos densa quanto às construções.

Desta forma, os pesos de cada direção foram definidos como a soma da porcentagem de área exposta à de área semi-exposta para cada direção de incidência de ondas. Áreas expostas foram consideradas as pertencentes à classe de maior pista de onda calculada pelo aplicativo, ou seja, áreas sem bloqueios na pista de vento, enquanto áreas semi-expostas se caracterizaram por pistas reduzidas por alguma interferência ao longo trajetória do vento, diminuindo o valor da pista, no entanto sem reduzi-la severamente, neste caso classificou-se como abrigadas.

O outro descritor da variável exposição às ondas foi a ocorrência de eventos extremos, baseando-se nas alturas de onda associadas às diferentes direções calculadas para a profundidade aproximada de 135 metros na posição 47W 29' 53" , 27S 30' 12" (SMC-Brasil) (Figura 18). Esse parâmetro auxilia na estimativa da energia que atinge a costa, isto é, a energia capaz de remobilizar os sedimentos. Nessa abordagem, foram considerados os valores extremos (maiores alturas de onda), ou seja, ondas de maior energia e maior alcance.



**Figura 18. Localização do ponto de onde foram calculadas alturas de onda - SMC-Brasil.**

Os valores extremos e *outliers* são valores distantes da porção central da distribuição (neste caso a mediana). Eles foram definidos a partir das fórmulas apresentadas abaixo, utilizando os quartis 25% e 75% e um coeficiente padrão (EMERSON e STRENIO, 1983; TUKEY et al., 1986). Esse procedimento foi realizado no *software Statistica 7.0* (*Graphs* → *means w/Error plots*).

$$\begin{aligned} \textit{outlier} &= P(75) + C * (P(75) - P(25)) \\ \textit{extremo} &= P(75) + 2 * C * (P(75) - P(25)) \end{aligned}$$

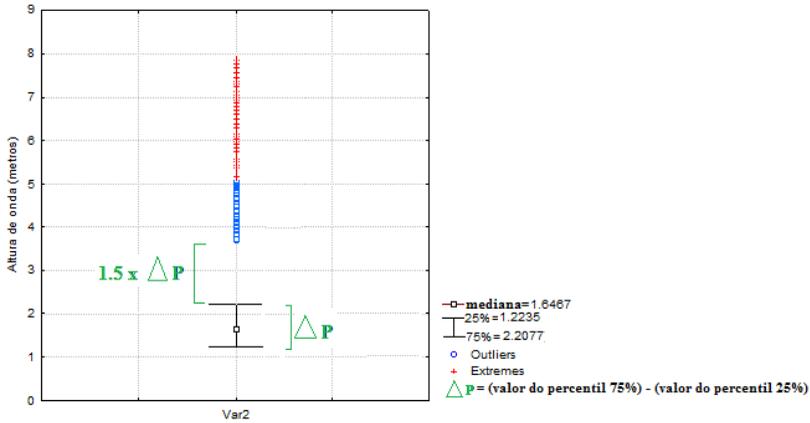
onde,

P(75) = valor do percentil 75%

P(25) = valor do percentil 25%

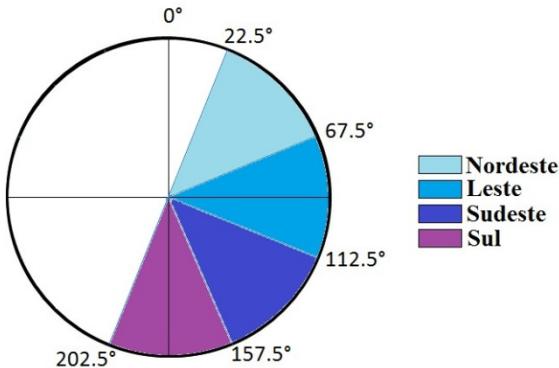
C = valor do coeficiente (padrão = 1,5)

Na Figura 19, que representa um exemplo de distribuição de dados, os *outliers* e os valores extremos, o valor do percentil 75% é o limite superior da caixa (box do gráfico) e valor do percentil 25% é o limite inferior da caixa (box do gráfico).



**Figura 19.** Exemplo de gráfico do tipo *boxplot* com exibição dos valores extremos e outliers.

A série de 534.000 dados de alturas de onda, referentes aos 60 anos de reanálise, foi dividida em quatro direções (nordeste, leste, sudeste, sul) para análise de *outliers* e de valores extremos em cada uma separadamente. A Figura 20 traz o intervalo de graus adotado para cada direção (0° representando a direção norte).



**Figura 20.** Intervalos de graus adotados para cada direção de onda.

A partir da análise desses valores, pôde-se calcular quantos eventos extremos por ano e por direção de incidência de ondas ocorreram durante o período da série de dados (60 anos, de 1948 a 2008). O peso de cada direção de onda foi definido a partir do valor de *outliers*/ano e de eventos extremos/ano:

$$\text{Peso}_{\text{direção}} = \frac{2 * \left(\frac{\text{outliers}}{\text{ano}}\right) + 3 * \left(\frac{\text{extremos}}{\text{ano}}\right)}{5}$$

Julgou-se a exposição às ondas mais relevante para a suscetibilidade da praia do que as alturas de onda, considerando que uma praia abrigada da direção de ondas de maior energia é menos suscetível do que uma praia exposta a ondas de baixa energia. Desta forma, a definição da suscetibilidade de cada segmento de praia foi feita atribuindo-se maior peso a exposição às ondas, sendo calculada da seguinte maneira:

1º. cálculo dos pesos das duas abordagens para cada direção de ondas obtendo-se um peso final (Pf):

$$Pf = \frac{2 * (\text{descriptor2}) + 3 * (\text{descriptor1})}{5}$$

onde descriptor 1 é a exposição às direções de incidência de ondas e descriptor 2 é a ocorrência de eventos extremos para cada direção.

2º. segmentação da linha de costa a cada mudança de classificação (exposto, semi-exposto, abrigado, resultados do *Wind Fetch Model*)

3º. definição da classe de suscetibilidade quanto à exposição às ondas dos novos segmentos com base no seguinte cálculo:

$$\text{classe final} = Pf(\text{leste}) \times Vcl + Pf(\text{nordeste}) \times Vcl + Pf(\text{sul}) \times Vcl + Pf(\text{sudeste}) \times Vcl, \text{ onde:}$$

Pf = peso final

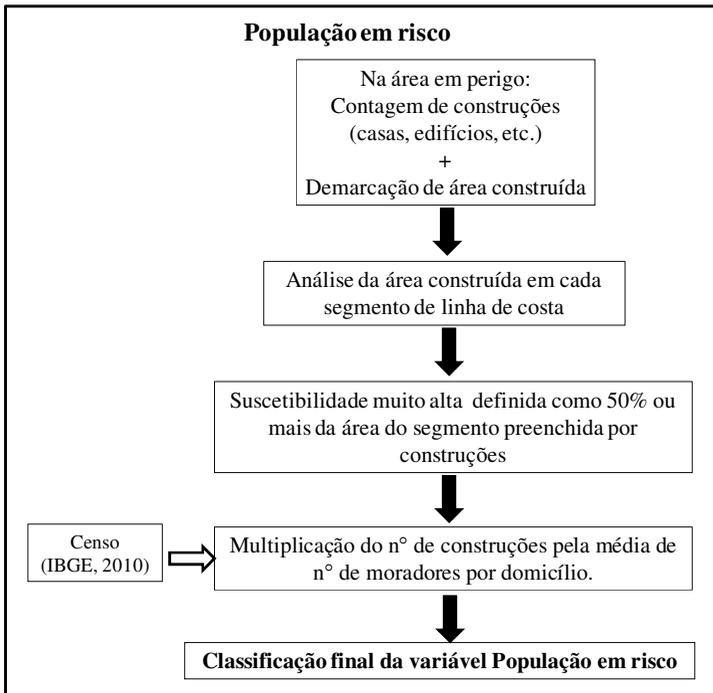
Vcl = valor da classificação (exposto = 4, semi-exposto = 2 e abrigado = 1; obtida nos resultados do *Wind Fetch Model*)

Estes valores foram divididos em percentis para a classificação em muito alta, alta, moderada, baixa e muito baixa.

### 5.1.6. Variável População em risco

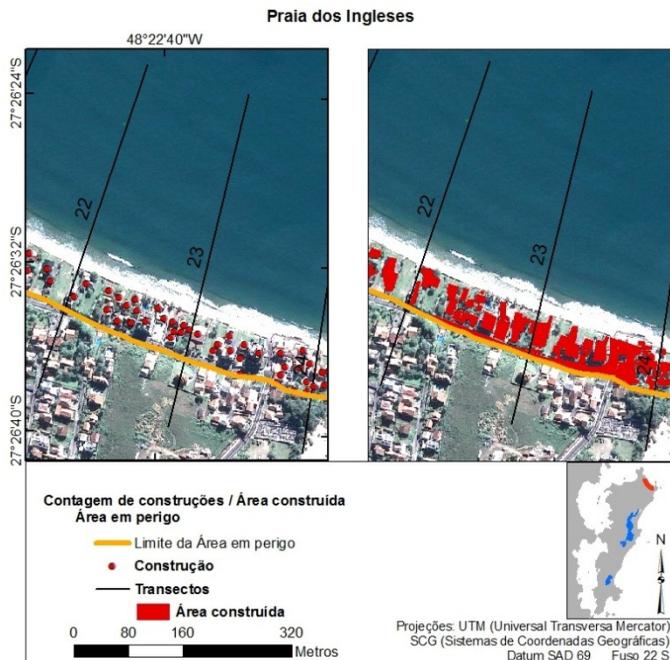
Considerou-se a disponibilidade e/ou facilidade de coleta/obtenção de dados em formato adequado, para a definição da variável referente à população em risco e, portanto, foram inseridos dados relativos à população habitante da zona costeira (concentração demográfica) e sua distância à linha de costa.

A Figura 21 traz a seqüência de etapas para a classificação final da variável “População em risco”, detalhadas no texto subsequente.



**Figura 21. Sequência de etapas para a classificação final da variável População em risco.**

Para obtenção dessa variável inicialmente foram realizadas, com base em imagens Quickbird de 2009 disponíveis no Google Earth, a contagem de construções (casas, edifícios etc.), criando-se um arquivo de pontos, para a contabilização da população em risco. Em seguida demarcou-se a área construída (arquivo de polígonos) dentro da área em perigo, utilizando-se os mesmos transectos do cálculo de variação da linha de costa como limites dos segmentos (Figura 22). A área construída serviu para contabilização dos possíveis danos provocados por marés de tempestade, uma avaliação do patrimônio em risco. Por fim, essas informações foram rebatidas para a linha de costa e foram propostas as classes de susceptibilidade para essa variável.



**Figura 22. Ilustração da contagem de construções e área construída, Praia dos Ingleses.**

A presença das construções na área em perigo já as torna vulneráveis e também contribui para um aumento da suscetibilidade natural da costa (interferências no transporte/estoque de sedimentos). A classificação dessa variável quanto à suscetibilidade se baseou na observação da área do segmento limitado pela linha de costa (em direção ao mar), pela distância limite da área em perigo de cada praia (em direção ao interior) e pelos transectos traçados para o cálculo da variação da linha de costa (limites laterais). Nesse sentido, construções ocupando 50% dessa área ou mais representaram a classe mais alta e, a partir dessa, pôde-se definir as outras classes (Tabela 3). Vale lembrar que a distância foi medida a partir da linha de costa definida na fronteira da areia seca/úmida, portanto, existe uma pequena área referente ao pós-praia, que geralmente não é ocupada.

**Tabela 3. Classes de vulnerabilidade da variável relativa a população em risco.**

<b>Porcentagem de área construída por segmento</b>	<b>Classe de vulnerabilidade</b>
<b>≤ 10 %</b>	Muito baixo
<b>entre 10 e 20 %</b>	Baixo
<b>entre 20 e 30 %</b>	Moderado
<b>entre 30 e 40 %</b>	Alto
<b>≥50 %</b>	Muito Alto

A demarcação da área construída identificada em cada fotografia aérea da série histórica foi também efetuada para realizar uma estimativa do aumento da urbanização nas áreas em perigo das praias em estudo ao longo do período analisado (1957 a 2009).

Para o cálculo da população em risco, foram consultados os dados referentes aos setores censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE do ano de 2010.

Estes setores são a menor unidade censitária do país, criada para fins de controle cadastral de coleta, e seu tamanho equivale à área percorrida por cada agente censitário (IBGE, 2000). A informação utilizada foi o número médio de moradores por domicílio. A classificação da vulnerabilidade se deu baseada na divisão em quartis do número de moradores dos setores censitários costeiros das praias em estudo, considerando vulnerabilidade muito baixa a ausência de moradores.

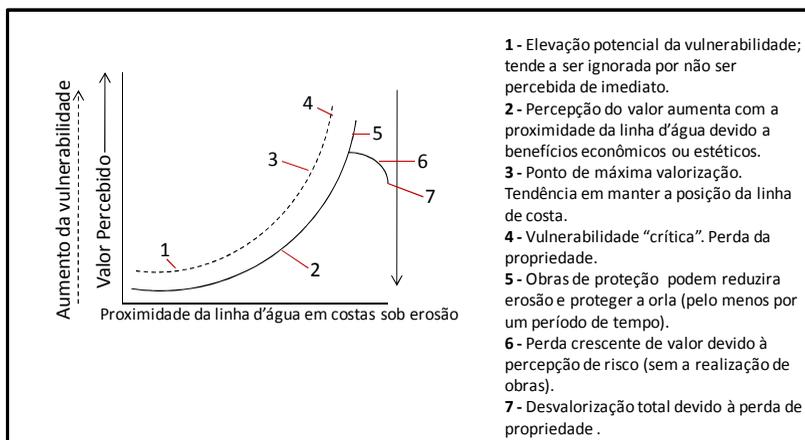
Sabe-se que, muitas vezes, a ocupação próxima ao mar pode ser constituída também por segundas residências, isto é, casas vinculadas ao turismo de fins de semana e de temporadas de férias, não estando ocupadas durante o ano todo. Pode-se pensar que este fato indica uma superestimativa dos moradores em risco, no entanto, neste trabalho, considera-se que, mesmo uma segunda residência, se destruída ou danificada pela ação de ondas de tempestade, trará prejuízos aos seus proprietários. Portanto, trata-se de moradores que poderão ser afetados, ou seja, moradores em risco.

Esta análise pode ser ampliada em trabalhos futuros haja vista que o censo de 2010 traz também dados relativos a “Domicílios Particulares Permanentes não Ocupados - uso ocasional” e “Domicílios Particulares Permanentes não Ocupados – vago”.

Complementando a avaliação da vulnerabilidade, em uma aproximação da análise de risco, foi utilizado o CUBm (Custo Unitário

Básico médio) para estimar os prejuízos relativos à erosão e destruição de construções à beira-mar. O CUBm é uma estimativa parcial para o valor do metro quadrado de obra construída e leva em conta a variação mensal dos custos de construção imobiliária com materiais, equipamentos e mão-de-obra. Este valor serve como parâmetro na determinação dos custos de imóveis e é processado e analisado no SINDUSCON/FLORIANÓPOLIS (acompanhado pela Diretoria de Economia e Estatística) (SINDUSCON, s/d), normatizado pela NBR 12721:1999 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

Para o período de agosto de 2010 a agosto de 2011, o valor médio do CUB de Florianópolis foi de R\$1059,17. Multiplicando este valor pela área construída em perigo, obteve-se uma estimativa do prejuízo que pode ser causado pela erosão nos próximos 50 anos, considerando o pior cenário de retração da linha de costa. Vale lembrar, ainda, que não são estimados aqui os valores relativos à perda da qualidade recreativa dessas praias e à desvalorização imobiliária e turística dessas áreas, responsáveis por significativos faturamentos ligados a zona costeira. Quando a erosão costeira atinge casas e/ou estruturas, aumentando drasticamente a percepção do risco, há uma natural desvalorização dessas construções a beira-mar. Isso pode ser visto resumidamente na análise apresentada por McLaughlin et al. (2002), na Figura 23.



**Figura 23. Processo de valorização / desvalorização das propriedades litorâneas em função da proximidade do mar e da percepção do risco à erosão costeira. Adaptado de Lins-de-Barros (2010), fonte original: McLaughlin et al. (2002)**

## 5.2. CÁLCULO DO CVI

Para o cálculo do Índice de Vulnerabilidade Costeira (CVI) foram consideradas ao todo 5 variáveis, classificadas quanto à suscetibilidade costeira de acordo com as pesquisas relacionadas ao tema e com características relativas à escala local e adequadas ao contexto da área em estudo. Estas variáveis e a classificação adotada estão resumidas na Tabela 4.

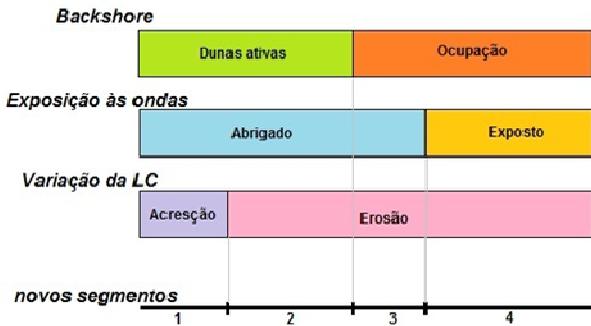
Tabela 4. Tabela resumo das variáveis de entrada no CVI e classificação da suscetibilidade adotada nesta pesquisa.

Variáveis	Classes de suscetibilidade				
	Muito Baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
<b>Tipo de backshore</b>	Duna vegetada	Duna ativa	Vegetação com ocupação dispersa	-	Ocupação / construções
<b>Altitude do backshore (metros)</b>	$\geq 6,0$	4,5 a 6,0	3,5 a 4,5	2,0 a 3,5	$\leq 2$
<b>Exposição às ondas</b>	Abrigado	-	-	Semi-exposto	Exposto
<b>Varição da linha de costa: taxa anual (metros/ano)</b>	$\geq 0$ (progradação)	0 a -0,1	-0,1 a -0,4	-0,4 a -0,7	$\leq -0,7$
<b>População em risco:</b> Porcentagem de superfície construída na área em perigo	$\leq 10\%$	10 e 20%	20 e 30%	30 e 40%	$\geq 50\%$
<b>População em risco:</b> Número de moradores por segmento de linha de costa	0 a 5	5 a 10	10 a 15	15 a 20	$>20$

A variável população em risco aparece de duas formas na

Tabela 4 pois pode ser abordada de duas maneiras: tratando de perdas matérias (superfície construída na área em perigo) ou de pessoas afetadas pelo perigo (número de moradores).

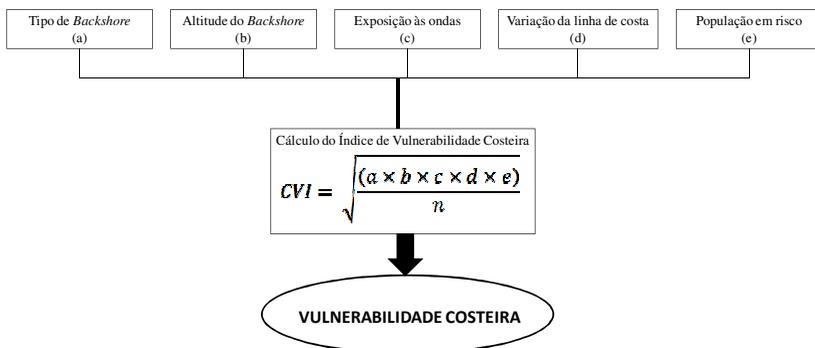
Obtidas as variáveis de entrada no CVI e sua classificação de suscetibilidade, o passo seguinte foi re-segmentar a linha de costa, cada vez que uma dessas variáveis mudava de classe, como ilustrado na Figura 24.



**Figura 24. Re-segmentação da linha de costa a partir das variáveis de entrada no índice.**

Tal procedimento foi realizado no ArcGIS, primeiro demarcando-se os pontos iniciais e finais de cada segmento na opção da tabela de atributos *calculate geometry* → *X coordinate of line start/end* e *Y coordinate of line start/end* ou *Feature Vertices to Point*. Em seguida, re-segmentou-se a linha de costa em cada um desses pontos (*split tool*), preservando os atributos de cada variável para a nova linha segmentada.

O cálculo do CVI foi baseado na fórmula proposta por Gornitz (1991), estando o cálculo esquematizado na Figura 25.



**Figura 25. Esquema do cálculo do CVI.**

Gornitz (1992) apresentou outras fórmulas que combinavam as variáveis relativas à suscetibilidade costeira. Considerou as consequências relativas à subestimação da vulnerabilidade nos casos de falta de dados referentes a, no máximo, três das sete variáveis de entrada que utilizou e verificou a sensibilidade dos índices à variação da classe de sensibilidade de uma, duas ou três variáveis.

A fórmula adotada neste trabalho ( $CVI = \sqrt{\frac{(a \times b \times c \times d \times e)}{n}}$ ) se mostrou mais sensível a alterações de mais de uma variável. Nas suas análises, a autora considerou satisfatórios os resultados obtidos por esta fórmula, que foi empregada na análise de suscetibilidade da Costa Leste dos Estados Unidos (GORNITZ, 1991 e 1992). No entanto, Gornitz afirma que em estudos futuros a fórmula que inclui pesos diferentes às variáveis de entrada (apresentada em seguida) pode ser preferível. Esta fórmula minimiza os efeitos de alteração de uma variável, enquanto permanece sensível a variações significativas nos valores de suscetibilidade de cada variável.

$$CVI = (4 \times a) + (4 \times b) + 2 \times (c + d) + (4 \times e) + 2 \times (f + g)$$

Onde: a = elevação média do nível do mar, b = tendência local de subsidência, c = geologia, d = geomorfologia, e = variação média da linha de costa, f = altura máxima de onda e g = média da amplitude de maré.

O cálculo do CVI foi realizado no ArcGIS utilizando-se a calculadora da tabela de atributos (*Field calculator*), gerando uma nova coluna com os valores indicativos da vulnerabilidade costeira para cada segmento da linha de costa.

### 5.3 REANÁLISE DE DADOS OBSERVACIONAIS – COMPARAÇÃO COM CVI.

As análises foram realizadas a partir das seguintes variáveis observacionais disponíveis:

- Diâmetro médio do grão na face praial
- Grau de selecionamento do grão na face praial
- Velocidade de sedimentação das partículas sedimentares
- Declividade da face praial
- Altura de arrebentação de onda
- Período da onda na arrebentação
- Variação da largura da praia
- Variação de volume subaéreo da praia

Estes dados foram obtidos por diversos autores, coletados em períodos diferentes, cobrindo aproximadamente 12 meses e compilados por Oliveira (2009).

A morfologia da praia é função das características dos sedimentos, do clima de ondas imediato e antecedente, das condições de vento e da maré e do estado morfodinâmico precedente da praia. No entanto, em longo prazo a praia apresenta um estado modal (WRIGHT e SHORT, 1984). Tendo-se isso como correto, os dados observacionais foram analisados e comparados considerando que praias arenosas acabam por apresentar condições predominantes, mesmo que haja alguma variabilidade. O Quadro 9 apresenta um resumo da variável, de sua definição e de como foi obtida.

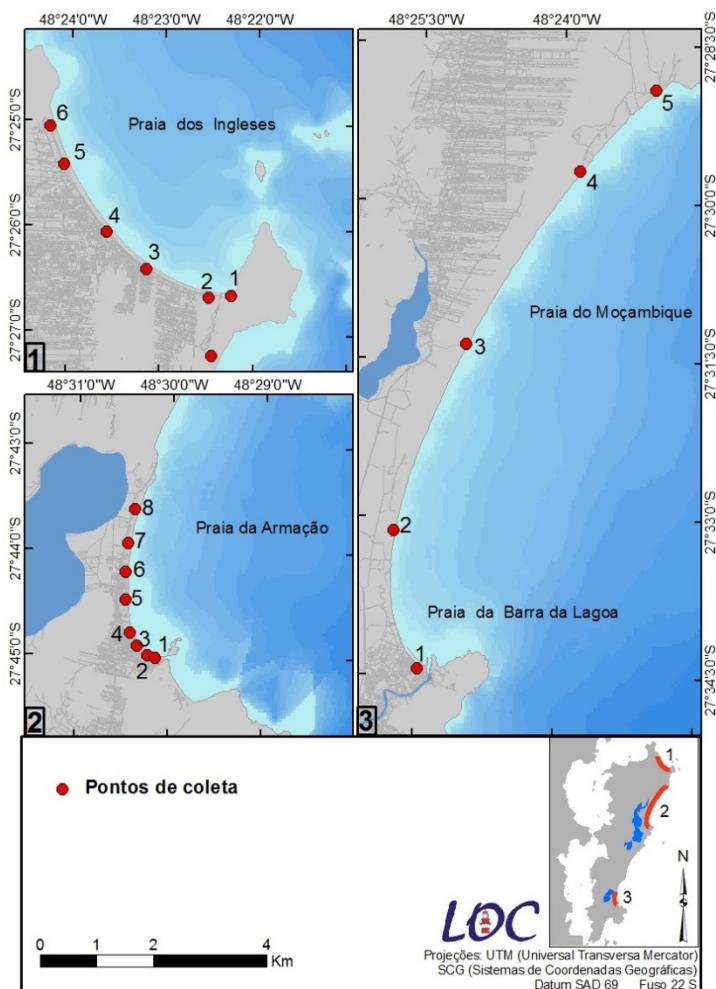
**Quadro 9. Variáveis observacionais disponíveis para análise de mobilidade praial, fonte: Oliveira (2009).**

<b>Variável</b>	<b>Definição</b>	<b>Método</b>
<b>Diâmetro médio do grão na face praial (Mz)</b>	Estatisticamente calculado pela média aritmética dos percentis 16, 50 e 84.	Coleta na face da praia. Utilizada escala granulométrica de Wentworth (1922)*; parâmetros calculados propostos por Folk & Ward (1957)*.
<b>Grau de selecionamento do grão na face praial (Dp/Mz)</b>	Varição central do tamanho dos grãos a partir da média aritmética.	
<b>Velocidade de sedimentação das partículas sedimentares (Ws)</b>	Velocidade com que as partículas sedimentam.	Calculado a partir do diâmetro médio do grão, utilizando-se a equação proposta por Gibbs et al. (1971) *para esferas perfeitas.
<b>Declividade da face praial (Decliv)</b>	Inclinação da face da praia em graus.	Método de nivelamento expedito com nível e estadia descrito por Birkmeier (1981)* e Birkmeier (1985)*. Calculada por trigonometria.
<b>Altura de arrebenção de onda (Hb)</b>	Altura da onda na arrebenção expressa em metros.	Estimada empiricamente segundo a metodologia proposta por Melo Filho (1991)* - média de 1/3 das maiores ondas durante o período de medição dos perfis.
<b>Período de pico de onda na arrebenção (T)</b>	Período da onda, tempo em segundos decorrido desde a passagem de uma cava ou crista	Estimado empiricamente segundo a metodologia proposta por Melo Filho (1991).

<b>Variável</b>	<b>Definição</b>	<b>Método</b>
	até a próxima mesma feição (cava ou crista).	
<b>Varição da largura da praia (DpYb)</b>	Representa o valor referente ao desvio padrão da posição média da linha de costa.	Obtida a partir da variação da largura média da praia. Esta é a medida da distância, em metros, do limite das dunas frontais até o mínimo de espraiamento.
<b>Varição de volume subaéreo da praia (Vv)</b>	Varição da parte subaérea, expressos em m <sup>3</sup> /m.	Calculado a partir da área da seção transversal multiplicada por unidade de largura (1 metro).

\*apud Oliveira (2009).

A Figura 26 apresenta a localização dos pontos de coleta e observação.



**Figura 26. Localização dos pontos de coleta e observação. Dados obtidos em Oliveira (2009).**

Com a intenção de avaliar os resultados da variação de vulnerabilidade obtida pelo CVI proposto, inicialmente foi realizada uma re-análise dos dados considerando a morfologia da praia para, em seguida, ser realizada uma comparação da classificação gerada pelas

variáveis do CVI com o comportamento morfodinâmico das praias em estudo (obtido dessas variáveis coletadas).

Utilizou-se a técnica estatística escalonamento multidimensional (MDS) para estas análises, novamente no Statistica 7.0. Os dados secundários utilizados estão representados no

Quadro

10.

**Quadro 10. Variáveis coletadas para as praias em estudo (compilado de Oliveira, 2009). As siglas correspondem às do Quadro 9.**

Perfil	latitude (S)	longitude (O)	Mz (phi)	DpMz	Ws (cm/s)	Dp/b	Deciv (°)	Vv (m <sup>3</sup> /m)	Hb (m)	T(s)
Armação 1	27° 45' 00,99"	48° 30' 08,95"	2,78	0,33	1,42	3,75	5	1,48	0,5	11,9
Armação 2	27° 44' 59,52"	48° 30' 14,36"	2,69	0,33	1,42	12	5	4,35	0,66	12,5
Armação 3	27° 44' 54,11"	48° 30' 20,92"	1,69	0,52	3,91	11	8	3,31	0,73	12,07
Armação 4	27° 44' 46,89"	48° 30' 25,52"	-0,25	0,44	13,62	10	8,5	3,32	0,91	11,5
Armação 5	27° 44' 28,17"	48° 30' 28,72"	0,42	0,47	8,72	7	15	11,2	0,93	11,9
Armação 6	27° 44' 12,14"	48° 30' 29,27"	0,3	0,31	10,19	7,5	10	11,5	1,01	11,6
Armação 7	27° 43' 55,87"	48° 30' 28,15"	0,23	0,5	10,19	7,5	10	12,2	1,04	11,7
Armação 8	27° 43' 36,39"	48° 30' 23,75"	0,2	0,38	10,19	10	15	27,1	1,31	12,00
BLM 1	27° 34' 24,5"	48° 25' 24,8"	2,21	0,54	1,86	10,74	5,7	1,17	0,4	11,27
BLM 2	27° 33' 08,5"	48° 25' 43,5"	1,23	0,67	5,17	25,58	8,3	3,98	0,9	11,8
BLM 3	27° 31' 21,5"	48° 24' 59,6"	0,69	0,64	7,63	21,02	9	2,27	1	12,01
BLM 4	27° 29' 42"	48° 23' 49,4"	1,36	0,62	5,91	11,32	9,8	2,52	0,95	11,78
BLM 5	27° 28' 55,4"	48° 23' 01,9"	2,34	0,39	2,09	9,32	5	2,4	0,85	12
Inglêses 1	27° 26' 37"	48° 22' 16"	2,47	0,33	1,9	3,69	4,02	4,79	0,26	7,34
Inglêses 2	27° 26' 38"	48° 22' 27"	2,37	0,33	2,12	5,35	3,57	5,87	0,35	8,01
Inglêses 3	27° 26' 22"	48° 23' 07"	2,4	0,32	2,05	8,89	3,69	6,65	0,34	7,81
Inglêses 4	27° 26' 01"	48° 23' 32"	2,3	0,36	2,28	11,6	3,95	8,05	0,46	8,25
Inglêses 5	27° 25' 24"	48° 24' 00"	2,29	0,31	2,3	10,58	3,25	12,65	0,75	10,33
Inglêses 6	27° 25' 02"	48° 24' 10"	2,23	0,29	2,45	11,11	2,88	14,1	0,76	10,32

Esta técnica estatística foi escolhida devido a não-normalidade dos dados e ao pequeno número de casos disponível. Buscou-se verificar, através dela, se as classes de pontos de praia agrupadas pelo MDS a partir de dados de perfis coletados coincidiam com as classes agrupadas pelo MDS a partir dos dados da avaliação de vulnerabilidade do CVI proposto.

Assim, a primeira aplicação do MDS foi feita com dados dos perfis de Oliveira (2009) e a segunda para os dados das variáveis de entrada no CVI de cada segmento final da linha de costa que coincidissem espacialmente com os perfis. Portanto, na primeira etapa as variáveis foram: diâmetro médio do grão na face praial, grau de selecionamento do grão na face praial, velocidade de sedimentação das partículas sedimentares, declividade da face praial, altura de arrebentação de onda, período da onda na arrebentação, variação da largura da praia e variação de volume subaéreo da praia (que precisaram ser padronizadas: *Statistica* → *Data* → *Standardize*) e os casos foram os perfis (Ingleses - ING 1 a 6, Barra da Lagoa / Moçambique - BLM 1 a 5 e Armação – ARM 1 a 8).

Na segunda aplicação do MDS foram empregados os dados obtidos na avaliação de vulnerabilidade pelo CVI (Tabela 5). Os dados não precisaram ser padronizados, pois estavam categorizados (nas cinco classes de suscetibilidade, valores 1 a 5). As variáveis foram as de entrada no CVI: tipo de *backshore* (retropraia), altitude de *backshore* (retropraia), exposição às ondas, variação da linha de costa e população em risco; e os casos foram os segmentos que coincidiam espacialmente com os pontos dos perfis da Figura 26, recebendo os mesmos nomes: Ingleses - ING 1 a 6, Barra da Lagoa / Moçambique - BLM 1 a 5 e Armação – ARM 1 a 8.

**Tabela 5. Tabela de dados de entrada do MDS relativos ao CVI. Colunas são as variáveis e linhas os casos.**

Ponto Perfil	Tipo de Backshore	Altitude Backshore	Variação da LC	Exposição às ondas	População em risco
ING 1	3	4	5	3	2
ING 2	2	3	5	3	1
ING 3	5	3	5	3	4
ING 4	5	5	4	5	2
ING 5	3	3	4	5	1
ING 6	3	1	3	4	1
BLM 1	5	5	5	5	2

<b>Ponto Perfil</b>	<b>Tipo de Backshore</b>	<b>Altitude Backshore</b>	<b>Variação da LC</b>	<b>Exposição às ondas</b>	<b>População em risco</b>
<b>BLM2</b>	1	4	1	2	1
<b>BLM 3</b>	1	1	2	2	1
<b>BLM 4</b>	1	2	1	1	1
<b>BLM 5</b>	1	5	5	1	1
<b>ARM 1</b>	5	2	4	5	4
<b>ARM 2</b>	5	4	5	5	3
<b>ARM 3</b>	5	3	5	5	4
<b>ARM 4</b>	5	3	3	4	1
<b>ARM 5</b>	3	3	4	3	1
<b>ARM 6</b>	1	1	4	3	2
<b>ARM 7</b>	1	2	3	2	1
<b>ARM 8</b>	1	2	1	2	1

Uma terceira aplicação do MDS foi feita com os dados referentes aos segmentos finais do cálculo do CVI, que diferiu da anterior, pois foram utilizados todos os segmentos das praias em estudo, não apenas os que coincidiam espacialmente com os perfis coletados de Oliveira (2009). Essa aplicação teve a intenção de analisar a similaridade entre os dados, comparando-os com as classes de vulnerabilidade propostas no CVI.



## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. VARIÁVEIS DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE COSTEIRA

#### 6.1.1. Variação da linha de costa

Foram calculadas, para as praias estudadas, as taxas de variação da linha de costa no período de 1957 a 2009 empregando-se os quatro métodos disponíveis no aplicativo DSAS (Apêndice 1). Os resultados obtidos condizem com Genz et al. (2007) que afirmaram que praias não erodem ou crescem de maneira constante, isto é, que a variação da linha de costa na escala temporal (algumas décadas) não é linear.

São apresentadas aqui as médias de taxa de variação da linha de costa geradas pelos quatro métodos. Valores negativos representam erosão (reco) e positivos representam progradação. Considerando a análise do pior cenário, subtraiu-se a incerteza (referente ao georreferenciamento) das médias das taxas de variação da linha de costa. A Tabela 6 mostra esses resultados. Vale lembrar que essas taxas são diferentes ao longo dos arcos praias.

**Tabela 6. Médias das taxas de variação da linha de costa (em metros por ano) para as praias da área de estudo, considerando incerteza referente ao georreferenciamento.**

Praias	Métodos	EPR	WLR	LRR	LMS
	<b>Médias</b>				
<b>Ingleses</b>	Média	-0,46	-0,73	-0,59	-1,0
	Média - erro	-0,59	-1,52	-1,30	-1,12
<b>Barra / Moçambique Armação</b>	Média	-0,47	-0,35	-0,47	-0,47
	Média - erro	-0,69	-2,35	-1,25	-0,65
	Média	-0,37	-0,18	-0,31	-0,22
	Média - erro	-0,58	-1,50	-0,75	-0,42

A fim de comparar esses resultados entre si, foi aplicado o teste Kruskal-Wallis a partir do qual constatou-se que estatisticamente as taxas de variação da linha de costa não são diferentes entre os quatro métodos. O principal resultado do teste pode ser observado na Tabela 7.

**Tabela 7. Resultados da análise de variância pelo método Kruskal-Wallis.  $P > 0,05$ , indicando que as técnicas não são estatisticamente diferentes.**

Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks; Var2 (ANOVA)			
Independent (grouping) variable: Var1			
Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 428) =1.382980 $p = .7095$			
Depend.: Var2	Code	Valid N	Sum of Ranks
EPR	101	107	24002.50
WLR	102	107	22974.50
LRR	103	107	22954.00
LMS	104	107	21875.00

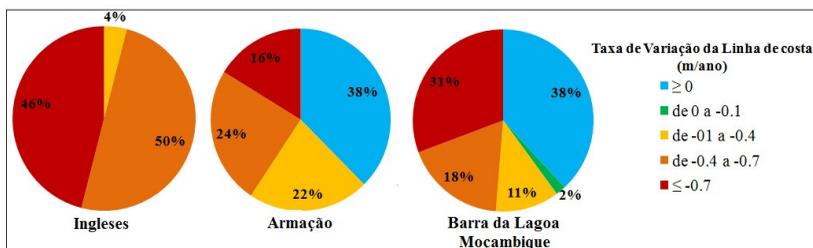
Com isso, para a definição da área em perigo e como variável de entrada no índice de vulnerabilidade optou-se por utilizar as taxas de erosão encontradas pelo método WLR, já que este método considera para o cálculo todas as linhas de costa (de todas as datas) disponíveis, atribui menor peso à linha de costa de maior incerteza e, ainda, foi o que gerou os maiores valores de erosão (considerando a incerteza referente ao georreferenciamento) para as praias em estudo, constituindo o “pior cenário” dentre os quatro métodos aplicados. Além disso, trabalhar com a maior taxa de erosão encontrada para as praias é uma alternativa eficiente, considerando o elevado grau de incerteza relativo às tendências climáticas, que preveem aumento de frequência e intensidade de eventos extremos para os próximos anos, além da elevação do nível do mar (IPCC, 2007; ISDR, 2004).

Para o período de 1957 a 2009, pôde-se observar que as linhas de costa das três praias da área de estudo sofreram retração, com taxas médias de 1,52m/ano para a Praia dos Ingleses, 2,35m/ano para o Sistema Praial Barra da Lagoa/Moçambique e 1,50m/ano para a Praia da Armação, todas classificadas como de suscetibilidade muito alta, segundo este critério. Vale ressaltar que estes valores apresentados são médias da praia toda e que a variação da linha de costa não é constante em todo o arco praial, assim, alguns trechos tiveram severas taxas de erosão enquanto outros chegaram a apresentar taxas de progradação. Essa variação pode ser melhor visualizada no subitem seguinte, referente a área em perigo.

A Figura 27 apresenta a porcentagem de linha de costa de cada praia nas classes de suscetibilidade (Tabela 8) propostas. Os segmentos dessa variável estão apresentados na Figura 28.

**Tabela 8. Classificação da suscetibilidade das taxas de variação de linha de costa.**

Taxa de variação da LC (m/ano)	Classes de suscetibilidade
$\geq 0$ (progradação)	Muito Baixa
de 0 a -0,1	Baixa
de -0,1 a -0,4	Moderada
de -0,4 a -0,7	Alta
$\leq -0,7$	Muito Alta



**Figura 27. Porcentagem de linha de costa de cada praia para cada classe de suscetibilidade referente à variável taxa de variação da linha de costa.**

Em geral, para as três praias em estudo os segmentos de linha de costa que apresentam suscetibilidade muito alta coincidem com os trechos de maior urbanização, mesmo estando, na maior parte do tempo, abrigados da ação direta das ondas predominantes (de sul e de leste), segundo Araujo et al., (2003). A Praia dos Ingleses está sofrendo retração severa em praticamente toda a sua linha de costa, isto é, com taxa maior que 0,4m/ano (suscetibilidade alta e muito alta), apresentando apenas um trecho pequeno de suscetibilidade baixa na extremidade norte. Esses resultados concordam com Faraco (2003) e Cruz (1998) que sugeriram uma maior acumulação de sedimentos no norte da praia e apontaram o setor sudeste como o mais frágil em relação à erosão. A Praia da Armação tem trechos de suscetibilidade alta e muito alta ao sul e no centro (lembrando que a ocupação antrópica está concentrada predominantemente no sul) e a suscetibilidade baixa está presente principalmente ao norte da praia. Por último, o sistema praiial Barra da Lagoa/Moçambique apresenta trecho de suscetibilidade alta e muito alta no setor sul (Barra da Lagoa, onde há ocupação antrópica). Esses resultados estão de acordo com o histórico de erosão apresentado na descrição da área em estudo e com o encontrado por Mazzer e

Dillenburg (2009). Estes autores obtiveram taxas de retração de aproximadamente 1,34m/ano (0,52m/ano + desvio padrão de 0,38m/ano) para a Praia da Armação, após análises de fotografias aéreas do período de 1938 a 2002.

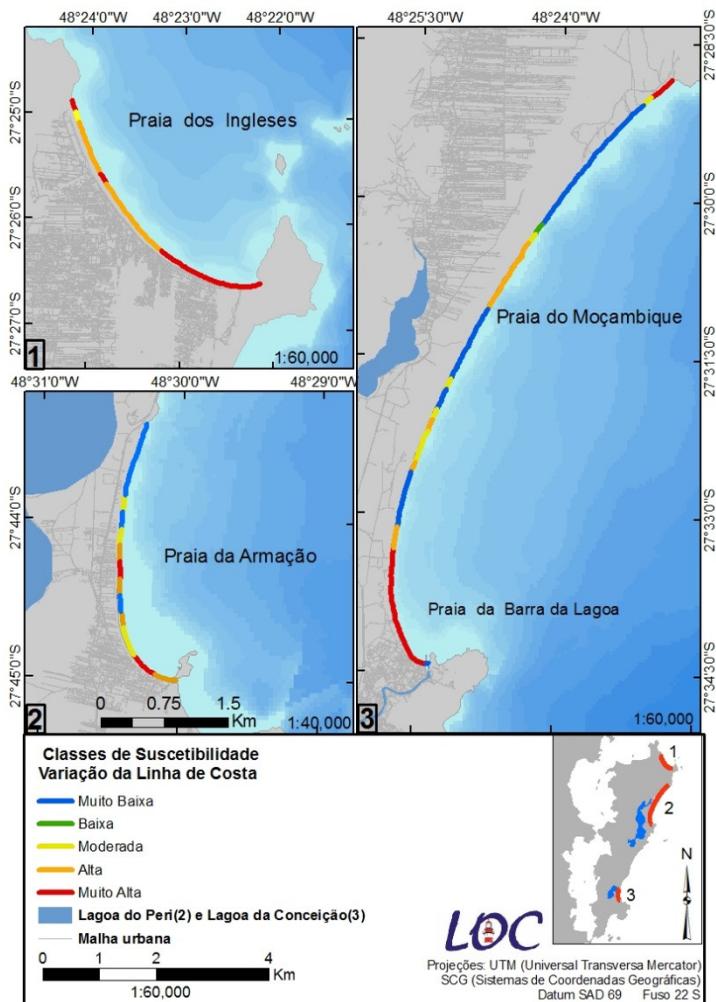
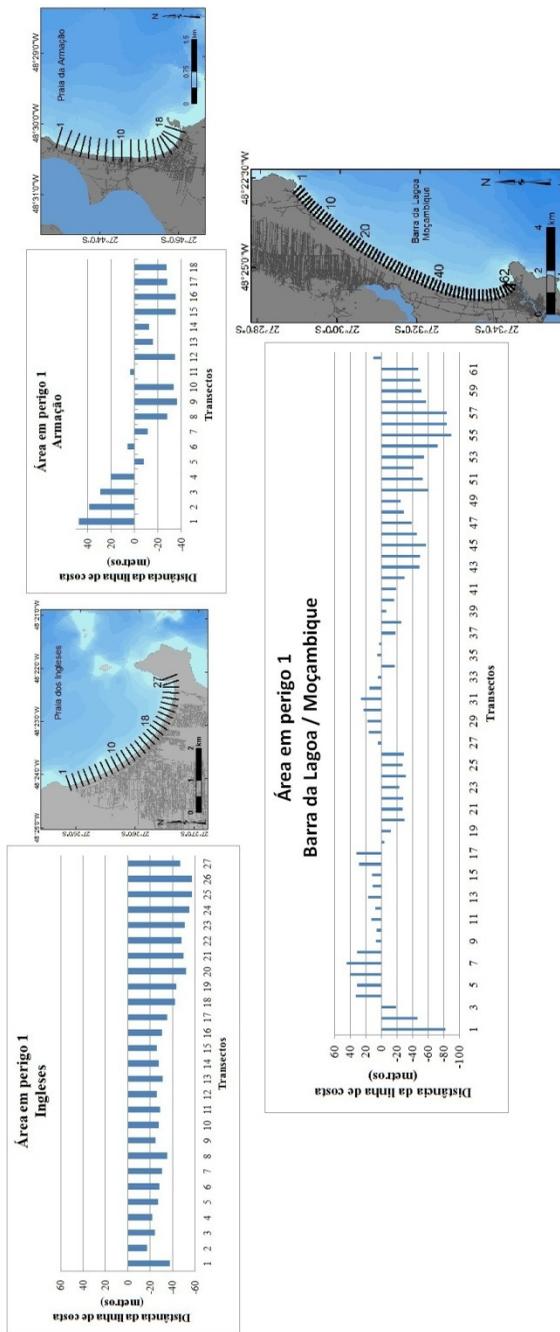


Figura 28. Classes de suscetibilidade para a variação da linha de costa.

### **6.1.2. Definição da área em perigo**

Na primeira etapa para obtenção da área em perigo foram calculadas as distâncias a partir das taxas anuais de variação da linha de costa. Estes resultados estão apresentados na Figura 29. Os transectos se iniciam no norte de cada praia e os valores do eixo y indicam a distância obtida a partir da multiplicação da taxa anual de variação da linha de costa pelo período de 50 anos, indicando indiretamente a área em perigo 1 (1 representa a primeira etapa para obtenção da área em perigo). Valores negativos indicam recuo e positivos indicam progradação.

Pode-se notar que a Praia dos Ingleses tem área em perigo contínua em todo seu arco praial, isto quer dizer que esta praia apresentou somente retração no período analisado (1957 a 2009). A Praia da Armação apresentou as maiores larguras de área em perigo nos setores central e sul, no norte as taxas foram de progradação e, portanto, a área em perigo seria inexistente. O arco praial Barra da Lagoa/Moçambique tem uma alternância de larguras maiores e menores da área em perigo, com trechos de retração intercalados com trechos de progradação da linha de costa. O setor sul apresenta a maior área em perigo.



**Figura 29. Representação indireta da área em perigo (1) para as praias em estudo. O eixo y mostra a distância da linha de costa obtida (valores negativos indicam erosão) e o eixo x mostra os transectos perpendiculares a praia, distanciados 200 metros um do outro.**

Na segunda etapa da obtenção da área em perigo, para estimar as distâncias verticais máximas de alcance de onda foi calculado o *run up*. Os valores calculados para o *run up* ( $Z_m$ ) para cada praia são apresentados na Tabela 9. Estes resultados serão analisados em maiores detalhes no subitem da variável Altitude do *backshore* (retropraia) (6.1.4.)

**Tabela 9. Valores calculados de *run up* (em metros) para cada perfil de praia.**

Ingleses	$Z_m$ (metros)	Armação	$Z_m$ (metros)	BLM	$Z_m$ (metros)
ING1	1,49	ARM1	1,85	BLM1	2,12
ING2	1,32	ARM2	1,85	BLM2	3,09
ING3	1,37	ARM3	2,98	BLM3	3,36
ING4	1,46	ARM4	3,17	BLM4	3,66
ING5	1,24	ARM5	5,68	BLM5	1,85
ING6	1,20	ARM6	3,74		
		ARM7	3,74		
		ARM8	5,68		

Estes valores entraram na fórmula simplificada adotada para o cálculo da distância horizontal alcançada ( $X$ ) pelas ondas de maiores alturas e maiores períodos encontradas por Araujo et al. (2003) para as proximidades da Ilha de Santa Catarina.

Na terceira etapa da obtenção da área em perigo, calculou-se a distância horizontal ( $Z$ ) passível de inundação pelo aumento do nível do mar sugerido pelo IPCC (2007) para os próximos 50 anos (de até 0,59 metros até o final deste século). Estes resultados são apresentados Tabela 10.

**Tabela 10. Distância horizontal alcançada pelas ondas (*run up*) (X) e distância horizontal passível de inundação devido à elevação do nível do mar (Z).**

Perfis	<i>Run up</i> (metros)	Declividade (graus)	Distância horizontal (metros)	Distância horizontal (metros)
	Y	B	X	Z
ING1	1,49	4,02	0,10	4,98
ING2	1,32	3,57	0,08	5,61
ING3	1,37	3,69	0,09	5,43
ING4	1,46	3,95	0,10	5,07
ING5	1,20	3,25	0,07	6,16
ING6	1,07	2,88	0,05	6,96
BLM1	2,12	5,7	0,21	3,51
BLM2	3,09	8,3	0,45	2,40
BLM3	3,36	9	0,53	2,21
BLM4	3,66	9,8	0,63	2,03
BLM5	1,85	5	0,16	4,00
ARM1	1,85	5	0,16	4,00
ARM2	1,85	5	0,16	4,00
ARM3	2,98	8	0,42	2,49
ARM4	3,17	8,5	0,47	2,34
ARM5	5,68	15	1,52	1,31
ARM6	3,74	10	0,66	1,98
ARM7	3,74	10	0,66	1,98
ARM8	5,68	15	1,52	1,31

Por fim, esses valores foram somados obtendo-se a área em perigo final, sendo apresentados na Tabela 11 e espacializados na Figura 30.

**Tabela 11. Cálculo final da área em perigo para um intervalo de 50 anos.**

Perfis	Run up (metros)	Declividade (graus)	Distância horizontal (metros)	Distância horizontal (metros)
	Y		X	Z
ING1	1,49	4,02	0,10	4,98
ING2	1,32	3,57	0,08	5,61
ING3	1,37	3,69	0,09	5,43
ING4	1,46	3,95	0,10	5,07
ING5	1,20	3,25	0,07	6,16
ING6	1,07	2,88	0,05	6,96
BLM1	2,12	5,7	0,21	3,51
BLM2	3,09	8,3	0,45	2,40
BLM3	3,36	9	0,53	2,21
BLM4	3,66	9,8	0,63	2,03
BLM5	1,85	5	0,16	4,00
ARM1	1,85	5	0,16	4,00
ARM2	1,85	5	0,16	4,00
ARM3	2,98	8	0,42	2,49
ARM4	3,17	8,5	0,47	2,34
ARM5	5,68	15	1,52	1,31
ARM6	3,74	10	0,66	1,98
ARM7	3,74	10	0,66	1,98
ARM8	5,68	15	1,52	1,31

Nota-se que as maiores larguras da área em perigo estão na Praia dos Ingleses. A Praia da Armação tem os maiores valores no centro e norte, com seu perfil 1(extremo sul) apresentando uma distância positiva (indicando previsão de progradação da linha de costa). A Praia da Barra da Lagoa/Moçambique não apresenta área em perigo nos perfis sul (1 e 2), podendo-se dizer que apresenta estabilidade na variação da linha de costa nestes pontos pois as taxas de progradação são próximas de 0. As maiores larguras de área em perigo estão no centro e norte da praia. Este resultado é informação interessante para o planejamento urbano porque indica o recuo da linha de costa para os próximos 50 anos, isto quer dizer, indica trechos das praias mais ou menos seguros para construções.

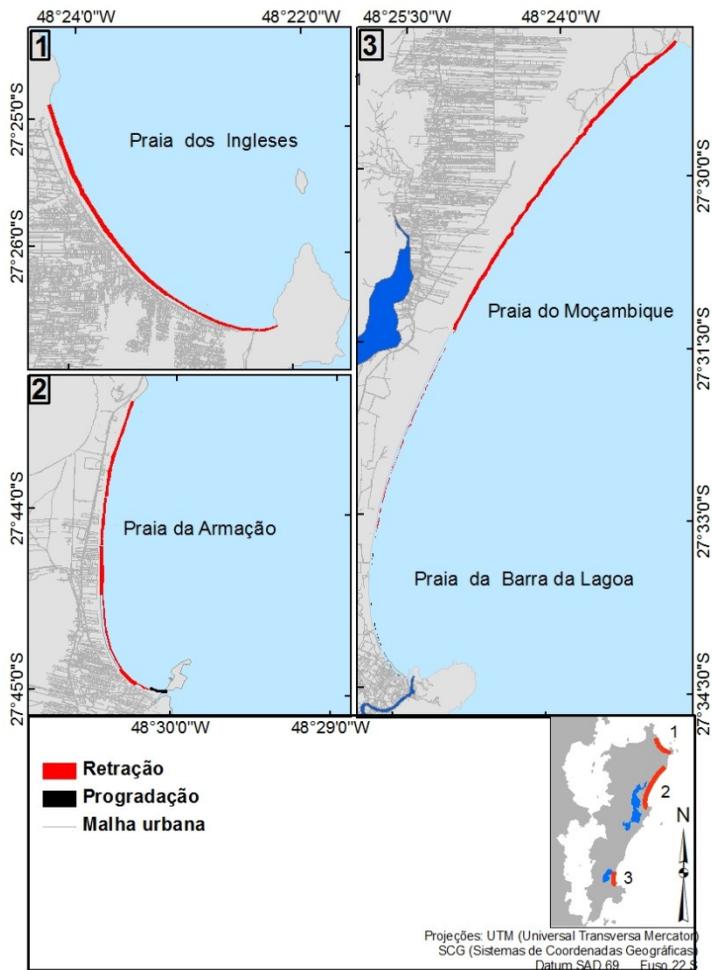
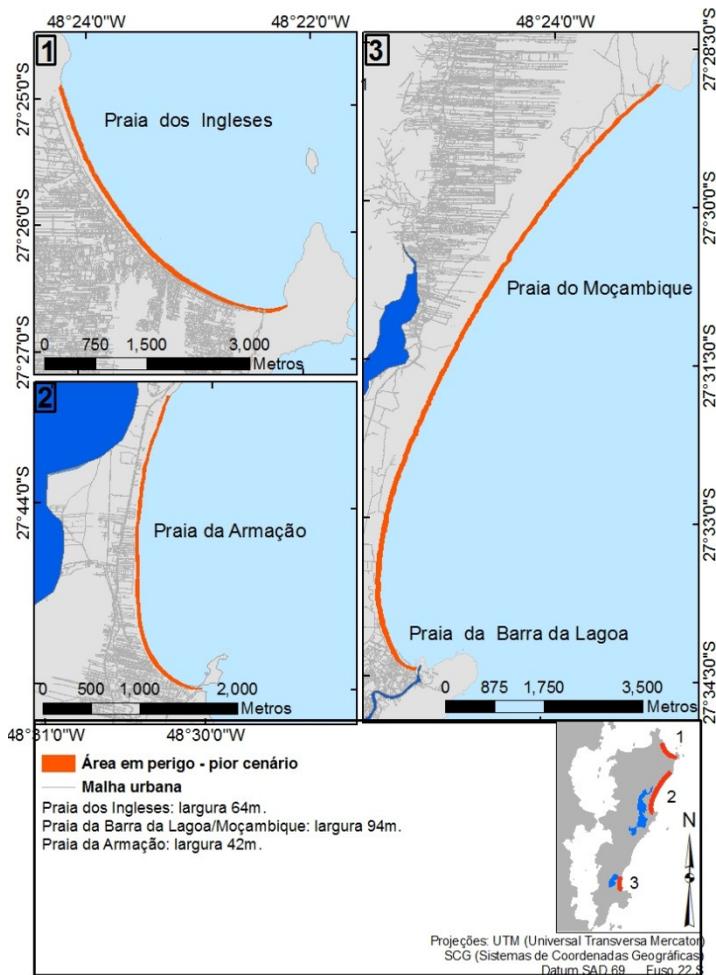


Figura 30. Largura da área em perigo para as praias em estudo.

Para obtenção das variáveis Altitude do *backshore* (retropraia) e População em risco, foram adotadas as maiores taxas de retração buscando-se trabalhar com o pior cenário das praias. A largura da área em perigo utilizada nas próximas etapas desta pesquisa está apresentada na Tabela 12 e espacializada na Figura 31.

**Tabela 12. Área em perigo utilizada para obtenção das variáveis de entrada no CVI.**

<b>Pior cenário – Área em perigo</b>				
<b>Praias</b>	<b>Taxa de variação</b>	<i>Run up</i>	<b>Elevação do nível do mar</b>	<b>Distância total</b>
	(metros)	(metros)	(metros)	(metros)
Ingleses	-57,5	-0,1	-6,96	<b>-64,56</b>
Barra Moçambique	-89,5	-0,63	-4	<b>-94,13</b>
Armação	-36,5	-1,52	-4	<b>-42,02</b>



**Figura 31. Área em perigo utilizada nas próximas etapas deste trabalho.**

A título de exemplo a Figura 32 apresenta alguns trechos em maior detalhe das praias estudadas com a delimitação da área em perigo.

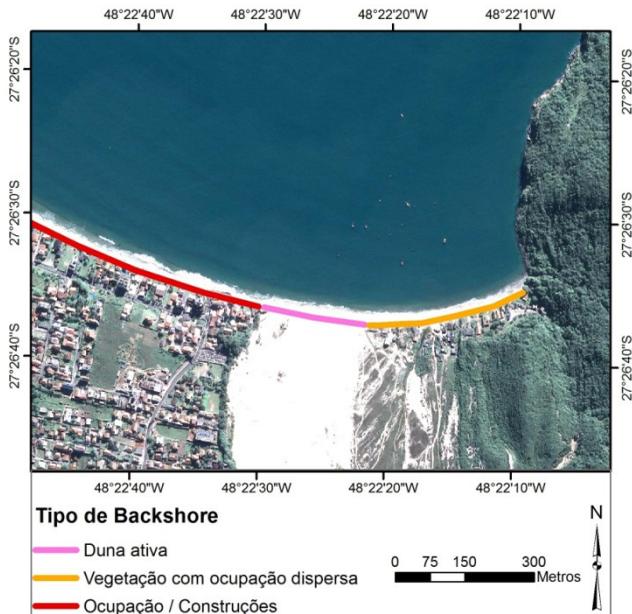


**Figura 32. Trechos das praias em estudo com a área em perigo em maior detalhe.**

Comparando os valores médios encontrados para a área em perigo para cada praia com os valores limites sugeridos para a orla pelo Projeto Orla (MMA, 2002) (50 metros em áreas urbanizadas e 200 metros em áreas não urbanizadas), percebe-se que para o centro e norte da Praia Barra da Lagoa/Moçambique, onde não há urbanização, o valor sugerido pelo projeto citado sugere aproximadamente o dobro de área em perigo encontrada (200m e 94,13m respectivamente). No entanto, para as outras praias, onde já existe urbanização, a distância sugerida pelo Projeto Orla está em consonância com a área em perigo encontrada aqui, próximas a 50 metros. Essa comparação pode ser feita ainda trecho a trecho, considerando a variação da linha de costa e a ocupação da costa.

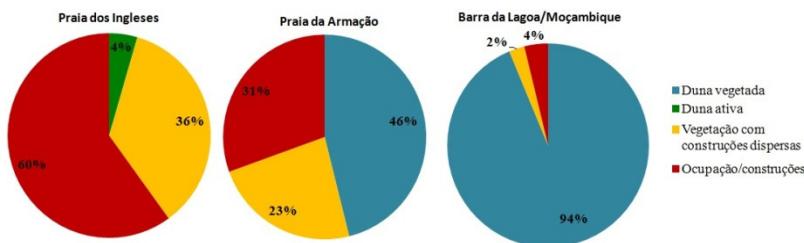
### 6.1.3. Tipo do *backshore* (retropraia)

A partir da análise visual da imagem do Google Earth (gerada em 2009) das praias em estudo, foram encontrados basicamente quatro tipos de *backshore* (retropraia). A Figura 33 traz um exemplo de um trecho da Praia dos Ingleses, onde estão presentes três dessas classes.



**Figura 33.** Exemplo de trecho sul da Praia dos Ingleses, onde podem ser vistos três tipos de *backshore*.

A seguir são apresentadas as porcentagens de linha de costa de cada um dos tipos de *backshore* (retropraia) para as diferentes praias (Figura 34) e a classificação de suscetibilidade obtida (Tabela 13).



**Figura 34. Porcentagem de linha de costa para cada tipo de backshore nas praias em estudo.**

**Tabela 13. Classificação de suscetibilidade para variável Tipo de backshore (retropraia).**

Tipo de backshore	Classes de suscetibilidade
Duna vegetada	Muito Baixa
Duna ativa	Baixa
Vegetação com construções dispersas	Moderada
Ocupação / construções	Muito Alta

O sistema praial Barra da Lagoa/Moçambique é o que apresenta o *backshore* (retropraia) mais conservado (duna vegetada) e, conseqüentemente, o menos suscetível a perigos costeiros. Isso se deve à presença do Parque Estadual do Rio Vermelho, presente desde 1962 como Estação Florestal e transformada em Parque Estadual em 2007 (Decreto nº 308 de 24 de 2007). Esta Unidade de Conservação se estende desde o distrito Barra da Lagoa (sul) até o distrito de São João do Rio Vermelho (norte), limitado pela praia (leste) e pela Lagoa da Conceição (oeste). Com isso, apenas 6% da linha de costa dessa praia sofreu alteração antrópica, se concentrando na extremidade sul.

A Praia da Armação apresenta trechos de construções intercaladas com áreas vegetadas e trechos de ocupação/construções em 54% de seu *backshore* (retropraia), sendo os 46% restantes dunas vegetadas (norte). Vale ressaltar que no reverso dessa feição de dunas está presente a Rodovia SC-406, a uma distância aproximada de 100 metros da linha de costa. Nesta praia, nota-se a urbanização avançando no sentido sul-norte. O maior trecho com ocupação/construções (suscetibilidade muito alta) é encontrado na extremidade sul, seguido pelo trecho de vegetação com construções dispersas (setor central;

suscetibilidade moderada), chegando-se ao norte com dunas vegetadas (suscetibilidade muito baixa).

A Praia dos Ingleses é a que apresenta a maior suscetibilidade quanto a essa variável, com 60% de seu *backshore* (retropraia) ocupado por construções (porção central) e 36% de construções intercaladas com áreas vegetadas (predominantemente ao norte). Apenas 4% da linha de costa apresenta a feição duna ativa, ocorrendo a mesma no setor sul. A classificação final dessa variável é apresentada na Figura 35.

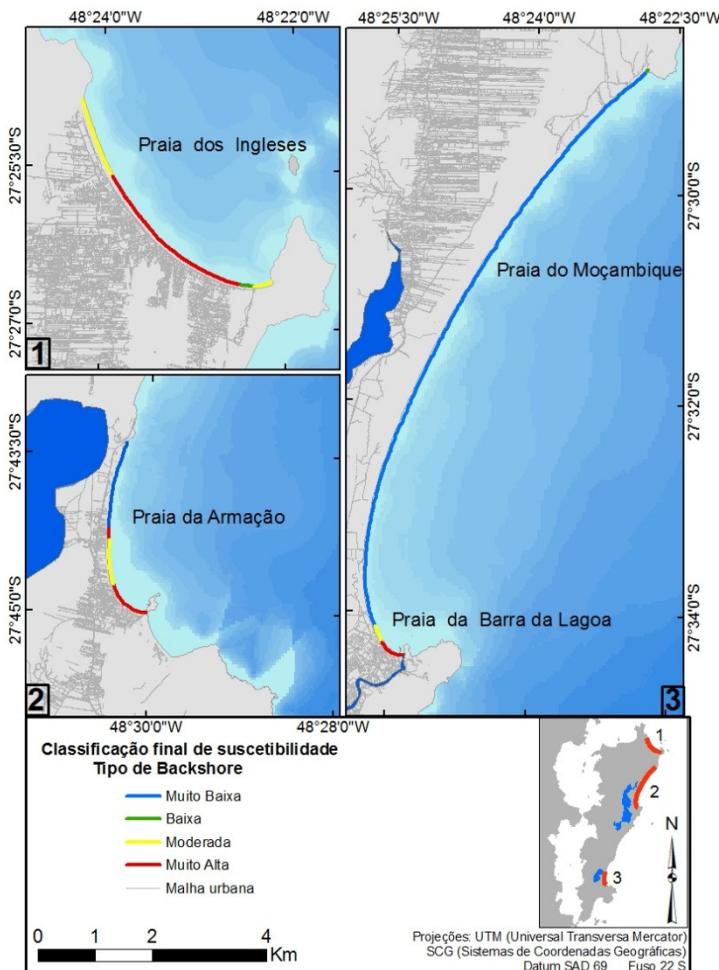


Figura 35. Tipo de backshore e classes de suscetibilidade.

#### 6.1.4. Altitude do *Backshore* (retropraia)

Apesar de simplificarem o processo, os cálculos de *run up* permitiram que se tivesse uma ideia do alcance de ondas para avaliação da suscetibilidade da variável altitude do *backshore* (retropraia). Considerou-se que além de áreas planas serem mais suscetíveis à elevação do nível do mar, são também mais suscetíveis à ocupação humana.

Os resultados da estimativa da distância vertical alcançada pelo *run up* (Zm) para cada praia são apresentados novamente na Tabela 14, a fim de se analisar esses resultados quanto à suscetibilidade do *backshore* (retropraia) às ondas de tempestade.

**Tabela 14. Valores calculados de *run up* (em metros) para cada perfil de praia.**

Inglêses	Zm (metros)	Armação	Zm (metros)	Barra / Moçambique	Zm (metros)
ING1	1,49	ARM1	1,85	BLM1	2,12
ING2	1,32	ARM2	1,85	BLM2	3,09
ING3	1,37	ARM3	2,98	BLM3	3,36
ING4	1,46	ARM4	3,17	BLM4	3,66
ING5	1,24	ARM5	5,68	BLM5	1,85
ING6	1,20	ARM6	3,74		
		ARM7	3,74		
		ARM8	5,68		

A Praia da Armação é a que apresenta os maiores valores de *run up* (com máximo de 5,68m), seguida pelo sistema Barra da Lagoa/Moçambique (máximo de 3,66m) e, com valores menores, a Praia dos Ingêses, com máximo de 1.46m. Essa análise possibilitou a definição das classes de suscetibilidade para essa variável. Tabela 15.

**Tabela 15. Classes de suscetibilidade para a variável altitude do *backshore*.**

Valores (metros)	Classe de suscetibilidade
≥ 6,0	Muito baixo
entre 4,5 e 6,0	Baixo
entre 3,5 e 4,5	Moderado
entre 2,0 e 3,5	Alto

Valores (metros)	Classe de suscetibilidade
$\leq 2$	Muito Alto

O Modelo Digital de Elevação utilizado para análise da altitude está apresentado na Figura 36.

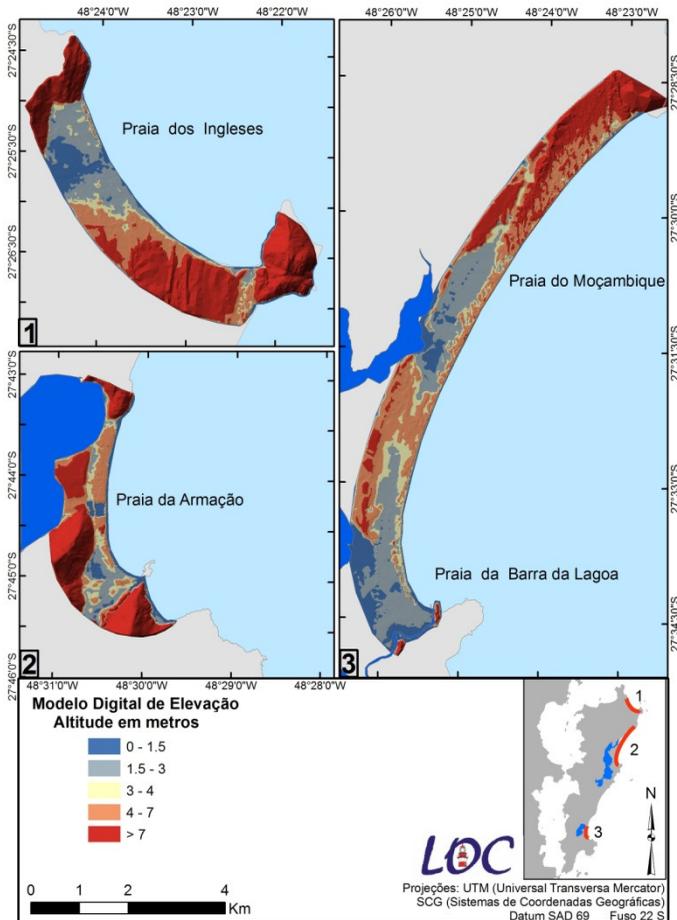
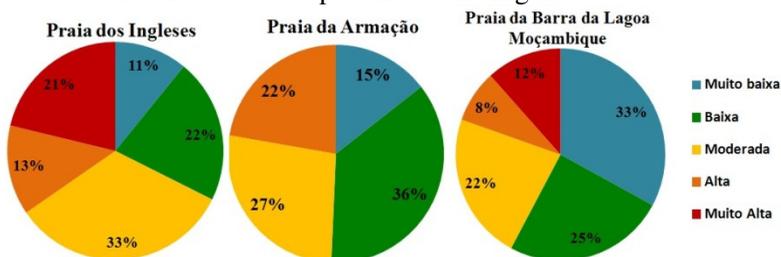


Figura 36. Modelos Digitais de Elevação das praias em estudo.

Os picos de altitude foram classificados também de acordo com a distância em que estavam da linha de costa. Estes valores complementaram a classificação final da altitude do *backshore*

(retropraia), por meio da fórmula já apresentada:  
 $Suscetibilidade\ final = classe\ (altitude) + dist\ancia.$

Os resultados estão apresentados na Figura 37.



**Figura 37. Porcentagem de linha de costa para classes de altitude do backshore nas praias em estudo.**

A Praia da Armação teve como classe predominante a baixa (36% de sua linha de costa) no trecho central da praia, 27% da linha de costa foi classificada como moderada e três segmentos de suscetibilidade alta totalizaram 22% da linha de costa, localizados no sul e norte. A praia mais suscetível é a dos Ingleses com 33% da sua linha de costa nas classes alta e muito alta (22% + 13%). O sistema praial Barra da Lagoa/Moçambique apresenta maiores altitudes na parte central de seu arco praial (58% de sua linha de costa nas classes de suscetibilidade baixa e muito baixa) e menores altitudes no extremo norte e extremo sul (12% muito alta). Figura 38.

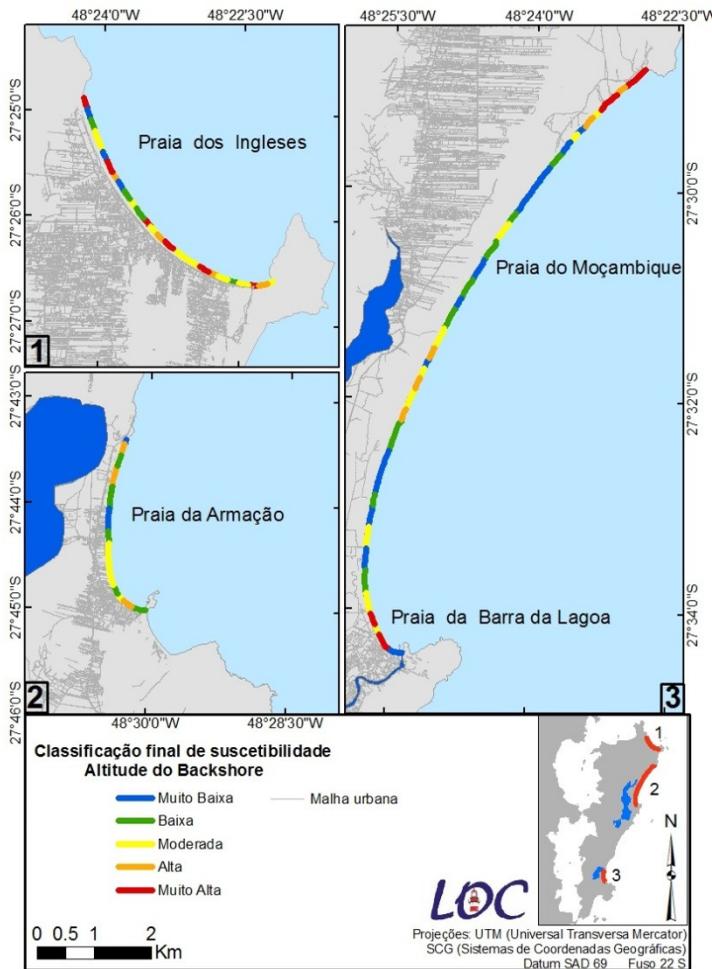


Figura 38. Altitude do backshore para as praias em estudo.

### 6.1.2. Exposição às ondas

Analisando as séries de dados constatou-se que os ventos de Norte, Nordeste, Sul e Sudeste são os mais frequentes e os dois últimos também os mais intensos. Araújo et al. (2003) encontraram ondas de leste e de sul como regime principal para as proximidades da Ilha de

Santa Catarina, sendo as ondas de sul as de maior altura. Assim, incluiu-se as direções sul e leste para a geração dos cenários.

O clima de ondas obtido a partir dos dados do SMC-Brasil foi comparável com as direções mais frequentes e médias de altura de onda encontradas por Araújo et al. (2003) para uma série temporal pouco superior a um ano de medições (Quadro 11), com exceção da frequência encontrada para a direção sul que foi de 40% para a série de Araújo et al. (2003) e de aproximadamente 20% para a do SMC-Brasil.

**Quadro 11. Comparação entre o clima de onda obtido por Araújo et al. (2003) e os dados modelados a partir do SMC-Brasil.**

Fontes:	Direções de onda e porcentagem de ocorrência	Média das alturas de onda (metros)	Média de períodos de onda (segundos)
Araújo et al, (2003)	Leste (26%)	1,25	8-9
	Sul 40(%)	2,0	12
Análise de dados SMC-Brasil	Leste (22%)	1,4	7,3
	Sul (20%)	2,3	9,6

Os resultados obtidos pelo *Wind Fetch Model* para as diferentes direções de ondas geradas pelo vento foram analisados e comparados com os resultados de propagação de ondas do SWAN (que mostram as alturas de onda que incidem na linha de costa).

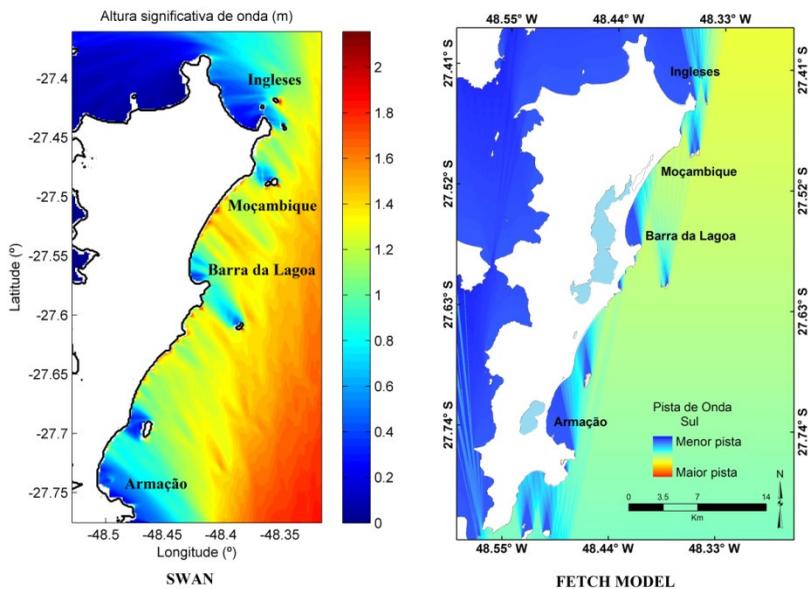
Para a direção sul (Figura 39), observa-se que a Praia dos Ingleses, a Praia da Barra da Lagoa e a da Armação são abrigadas. Nos resultados do *Wind Fetch Model* essas praias estão em áreas de sombra e no SWAN estão sendo atingidas por ondas de alturas menores que 0,5 metros. Já a Praia do Moçambique aparece exposta para os dois modelos.

Para a direção sudeste (Figura 40), observa-se que os setores ao sul das praias dos Ingleses e da Barra da Lagoa permanecem abrigados da ondulação, no *Wind Fetch Model* em áreas de sombra e no SWAN recebendo ondas menores que 0,5 metros. No norte de Ingleses há uma discordância entre os resultados, para o *Wind Fetch Model* a área é abrigada, mas para o SWAN, nesse setor, pode-se ter ondas de alturas próximas a 1 metro. A Praia do Moçambique está exposta a essa direção de ondas para os dois modelos. Por fim, a Praia da Armação tem seu setor sul caracterizado pelo *Wind Fetch Model* como abrigado e pelo SWAN como semi-abrigado, enquanto os setores centro e sul são indicados pelos dois modelos como semi-expostos.

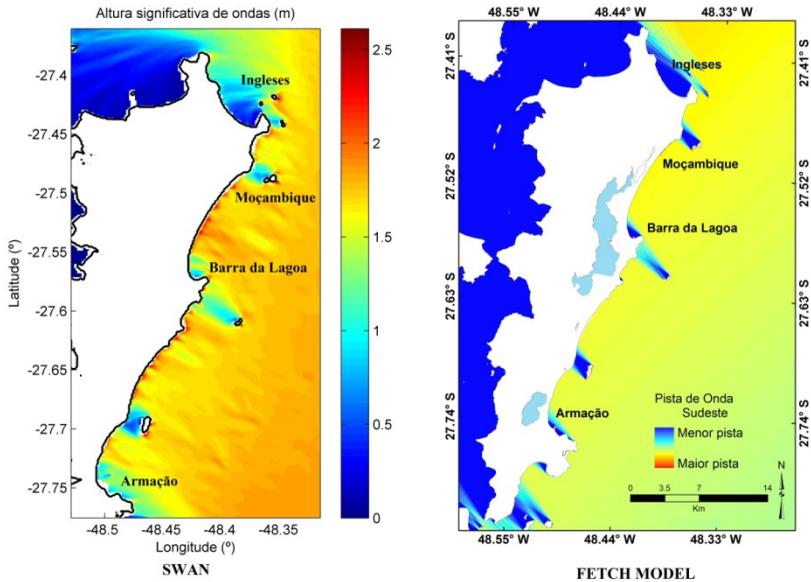
Para a direção leste (Figura 41), os dois modelos concordam para as três praias em estudo na indicação de exposição às ondas. Mostram o setor sul da Praia dos Ingleses como abrigado e a parte centro-norte desta praia como semi-exposta. O arco praial Barra da Lagoa/Moçambique e a Praia da Armação recebem ondas de leste, sendo apontados como expostos.

Por fim, para a direção nordeste (Figura 42) observa-se que o produto gerado pelo SWAN considera o sul da Praia dos Ingleses abrigado da ação das ondas, enquanto no *Wind Fetch Model* indica essa área abrigada possui menor extensão, ou seja, é restrita à extremidade sul da praia. O setor centro-norte desta praia aparece como exposto para os dois modelos. No arco praial Barra da Lagoa/Moçambique, os modelos concordam novamente, indicando uma pequena área semi-exposta localizada no norte da praia e o setor centro-sul exposto. Para a Praia da Armação esses modelos apontam uma área de influência da Ilha do Campeche (localizada ao norte da Armação) atenuando a incidência de ondas, já no setor centro-sul, a praia é exposta a essa direção.

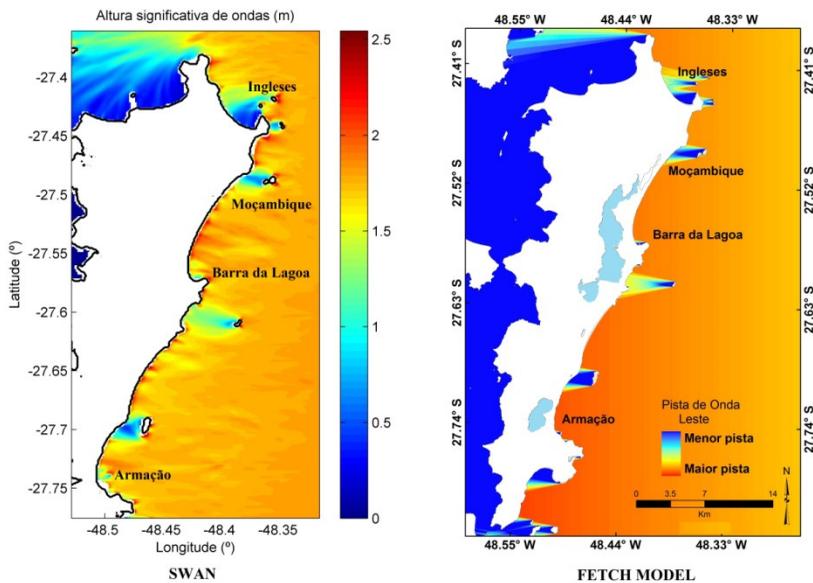
Como este trabalho busca, sobretudo, a replicabilidade em outras praias do índice de avaliação da vulnerabilidade proposto, optou-se por determinar a exposição dos segmentos da linha de costa à incidência das ondas com a utilização do aplicativo *Wind Fetch Model*, de aplicação mais simples e que necessita apenas de dados de direção de vento. Apesar deste modelo não incluir outros processos físicos na propagação da onda em águas rasas seus resultados foram considerados aceitáveis para o objetivo aqui proposto quando comparados (qualitativamente) a outro possível indicador de exposição às ondas (o modelo SWAN). Sugere-se trabalhar, sempre que possível, com modelos que mais se aproximem da realidade. No entanto, muitas vezes, devido à indisponibilidade de tempo, de recursos humanos especializados e/ou de dados isso não é possível e, assim, modelos mais simples podem ser também de grande utilidade como uma primeira aproximação.



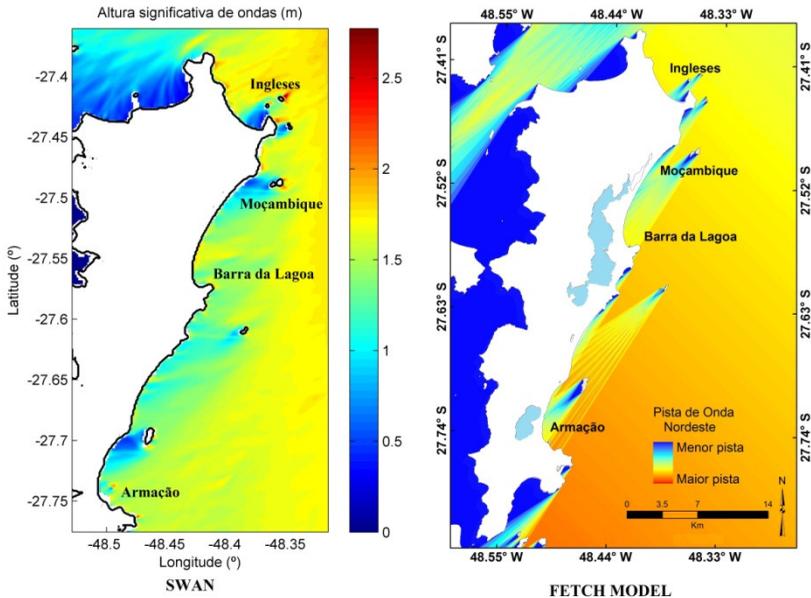
**Figura 39. Resultado de exposição obtido pelo Wind Fetch Model e campo propagado através do modelo SWAN para incidência de ondas de sul ( $180^\circ$ ).**



**Figura 40. Resultado de exposição obtido pelo Wind Fetch Model e campo propagado através do modelo SWAN para incidência de ondas de sudeste ( $135^\circ$ ).**



**Figura 41. Resultado de exposição obtido pelo Wind Fetch Model e campo propagado através do modelo SWAN para incidência de ondas de leste ( $90^\circ$ ).**



**Figura 42. Resultado de exposição obtido pelo Wind Fetch Model e campo propagado através do modelo SWAN para incidência de ondas de nordeste ( $45^\circ$ ).**

Os cenários obtidos pelo *Wind Fetch Model*, considerando as diferentes direções de vento e a segmentação da linha de costa de acordo com a exposição direta da ação das ondas, estão apresentados nas Figura 43, Figura 44, Figura 45 e Figura 46.

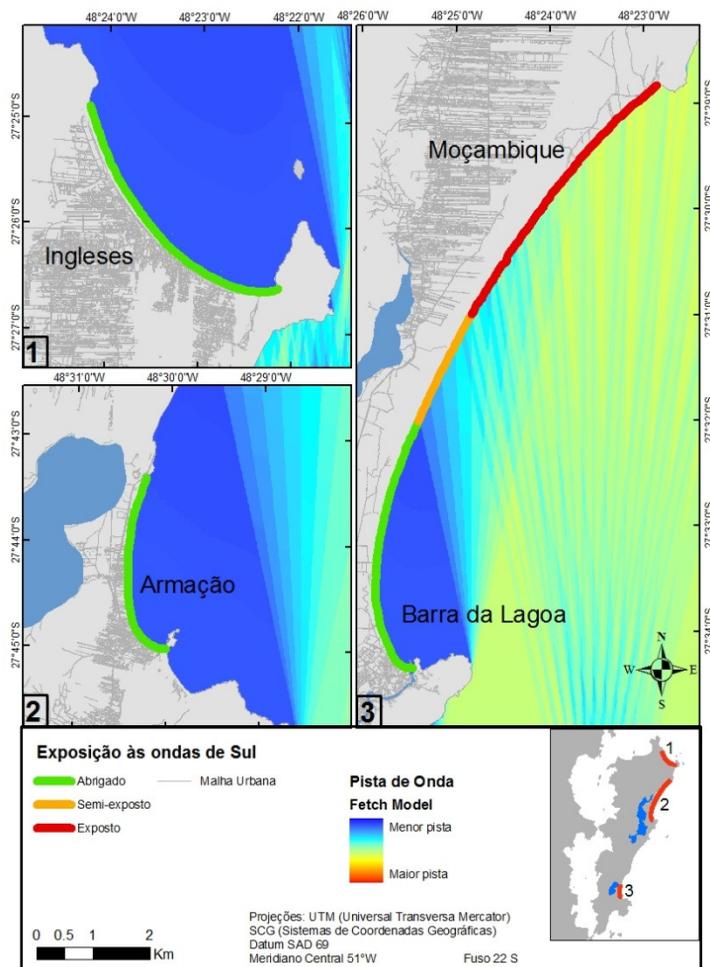


Figura 43. Classes de suscetibilidade à exposição às ondas de Sul.

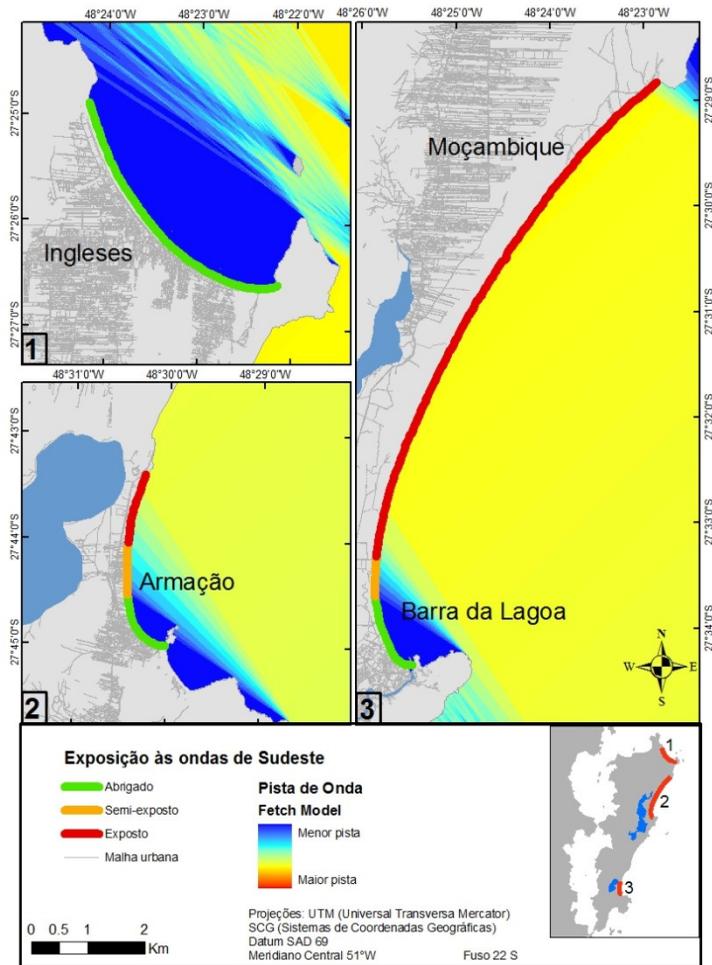


Figura 44. Classes de suscetibilidade à exposição às ondas de Sudeste.

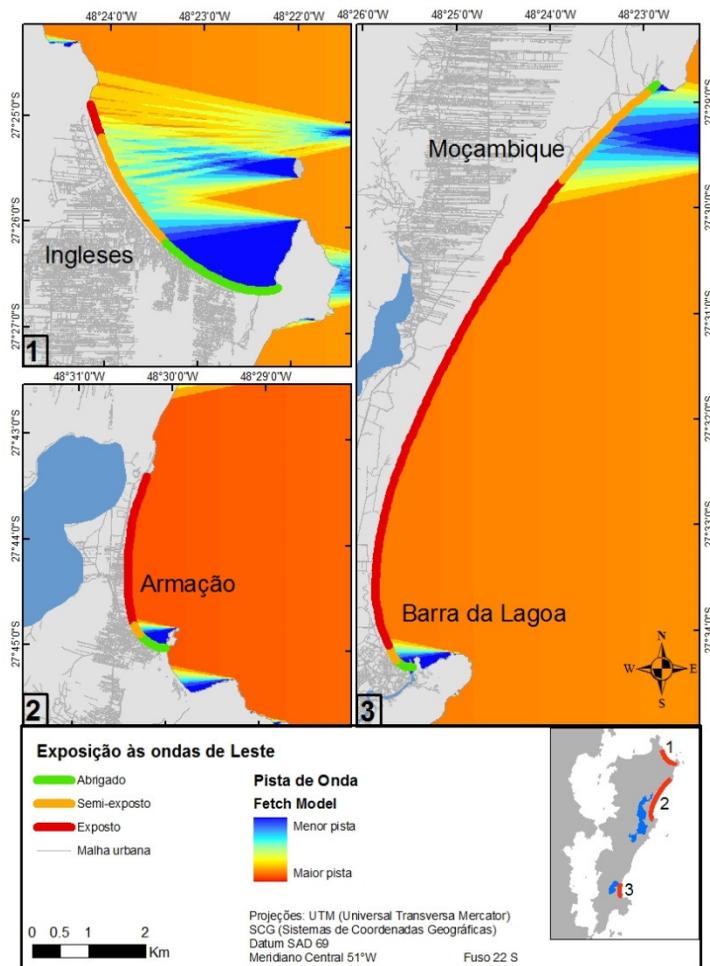
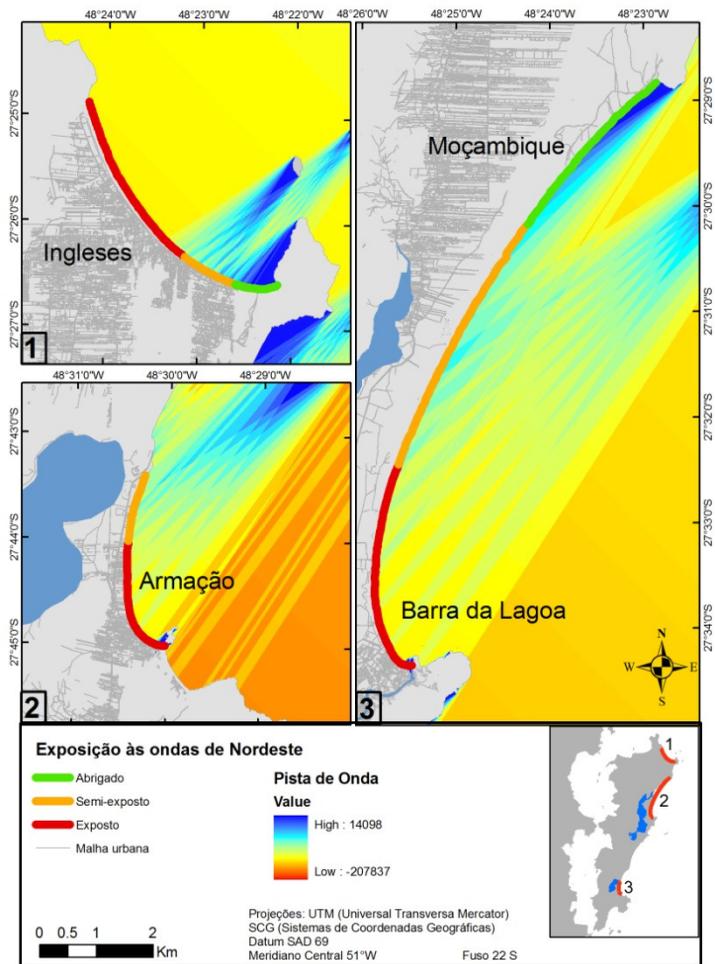


Figura 45. Classes de suscetibilidade à exposição às ondas de Leste.



**Figura 46.** Classe de suscetibilidade à exposição às ondas de Nordeste.

A partir dos cenários gerados pelo *Wind Fetch Model*, pôde-se ponderar as direções de incidência de ondas de acordo com a densidade de construções à beira-mar. As tabelas a seguir (Tabela 16, Tabela 17, Tabela 18) apresentam a porcentagem de área construída à beira-mar para cada praia e para cada direção de exposição às ondas.

**Tabela 16. Porcentagem da área construída à beira-mar e sua exposição às direções de onda estudadas para a Praia dos Ingleses.**

<b>Área construída à beira-mar</b>			
<b>Praia dos Ingleses</b>	<b>Abrigado (%)</b>	<b>Semi-exposto (%)</b>	<b>Exposto (%)</b>
<b>Leste</b>	43,4	55,6	1
<b>Nordeste</b>	15	24	61
<b>Sul</b>	100	0	0
<b>Sudeste</b>	100	0	0

Para a Praia dos Ingleses, 61% das construções à beira-mar estão expostas e 24% estão semi-expostas à direção nordeste. Já a direção leste coloca em risco aproximadamente 55,6% das construções desta mesma praia e as direções sul e sudeste não a ameaçam diretamente.

**Tabela 17. Porcentagem da área construída à beira-mar e sua exposição às direções de onda estudadas para a Praia Barra da Lagoa Moçambique.**

<b>Área construída à beira-mar</b>			
<b>Praia Barra da Lagoa Moçambique</b>	<b>Abrigado (%)</b>	<b>Semi-exposto (%)</b>	<b>Exposto (%)</b>
<b>Leste</b>	88,8	11,2	0
<b>Nordeste</b>	0	0	100
<b>Sul</b>	100	0	0
<b>Sudeste</b>	100	0	0

Para a Praia Barra da Lagoa/Moçambique todas as construções à beira-mar (100%) estão expostas à direção nordeste. Em seguida vem a direção leste com 11,2% das edificações semi-expostas.

**Tabela 18. Porcentagem da área construída à beira-mar e sua exposição às direções de onda estudadas para a Praia da Armação.**

<b>Área construída à beira-mar</b>			
<b>Praia da Armação</b>	<b>Abrigado (%)</b>	<b>Semi-exposto (%)</b>	<b>Exposto (%)</b>
<b>Leste</b>	62,4	17,2	20,3
<b>Nordeste</b>	0	0	100
<b>Sul</b>	100	0	0
<b>Sudeste</b>	91,9	6,7	1,4

Para a Praia da Armação, a direção nordeste também é a mais perigosa, ou seja, expõe à incidência de ondas todas as construções à beira-mar, em seguida tem-se a direção leste com 20,3% das edificações expostas.

Em uma análise integrando as três praias em estudo (Tabela 19, Tabela 20) 78,8% da área construída à beira-mar está exposta e, aproximadamente, 13% está semi-exposta à direção nordeste de incidência de ondas. Aproximadamente 7% da área construída está exposta e 37,2% está semi-exposta à direção leste. As direções sul e sudeste praticamente não apresentam área construída em perigo, com aproximadamente 2,5% entre exposta e semi-exposta.

**Tabela 19. Área construída à beira-mar exposta às diferentes direções de incidência de ondas.**

<b>Área construída à beira-mar exposta (m<sup>2</sup>)</b>				
<b>Direção/Praia</b>	<b>Nordeste</b>	<b>Leste</b>	<b>Sul</b>	<b>Sudeste</b>
<b>Ingleses</b>	8725,54	154,96	0	0
<b>Barra da Lagoa / Moçambique</b>	3825,42	0	0	0
<b>Armação</b>	8186,69	1661,41	0	118,54
<b>Porcentagem total</b>	<b>78,82</b>	<b>6,90</b>	<b>0</b>	<b>0,4</b>

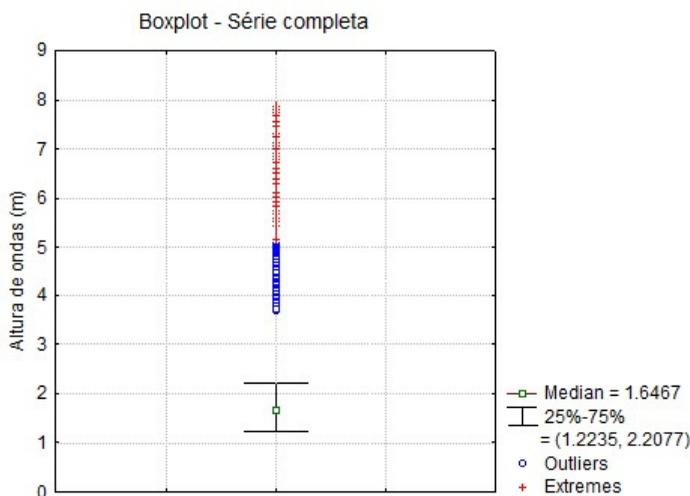
**Tabela 20. Área construída à beira-mar semi-exposta às diferentes direções de incidência de ondas.**

<b>Área construída à beira-mar semi-exposta (m<sup>2</sup>)</b>				
<b>Direção/Praia</b>	<b>Nordeste</b>	<b>Leste</b>	<b>Sul</b>	<b>Sudeste</b>
<b>Ingleses</b>	3361,94	7943,87	0	0
<b>Barra da Lagoa / Moçambique</b>	0	427,30	0	0
<b>Armação</b>	0	1411,92	0	545,51
<b>Porcentagem total</b>	<b>12,78</b>	<b>37,18</b>	<b>0</b>	<b>2,1</b>

Nota-se que, apesar das ondulações de sul e sudeste apresentarem maiores alturas, são as que associam-se a menores áreas construídas expostas, isto é, são as que menos podem provocar danos à população costeira. Isso se deve também ao fato dos núcleos de ocupação mais antigos (especialmente vilas de pescadores) terem se estabelecido em locais abrigados das ondulações de maior intensidade.

Com base nestes dados, os pesos obtidos para a densidade de construções no *backshore* (retropraia) foram: sul = 1; sudeste = 1,025; leste = 1,442 e nordeste = 1,916.

Para identificar eventos extremos presentes no clima de ondas do SMC foram calculados os *outliers* e os valores extremos para toda a série e para cada direção de onda. É apresentado abaixo o gráfico relativo à série toda, como forma de ilustração (Figura 47).



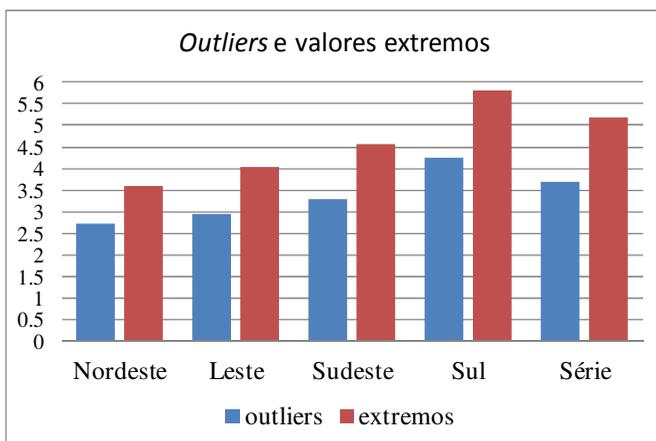
**Figura 47. Valores anômalos de alturas de onda na série completa: outliers em azul e extremos em vermelho.**

A Tabela 21 e a Figura 48 apresentam os *outliers* e os valores extremos calculados para cada direção e para toda a série. Assim, para a série completa (534000 casos, 60 anos), ondas com alturas abaixo de 3,69 metros foram consideradas habituais, ondas com alturas entre 3,69 e 5,18 metros foram consideradas *outliers* e alturas maiores de 5,18 metros foram consideradas extremas.

Analisando as ocorrências de alturas de onda para cada direção, observou-se que as direções sul e sudeste são as que apresentam maiores valores extremos. Esses resultados concordam com Araújo et al. (2003), que também encontraram as direções sul e sudeste como as de ondas mais intensas para a série de dados obtida com um ondógrafo.

**Tabela 21. Alturas de onda que definem valores *outliers* e extremos calculados para cada direção e para a série toda.**

Direções	<i>Outliers</i> (m)	Extremos (m)
Nordeste	2,71	3,61
Leste	2,93	4,04
Sudeste	3,29	4,57
Sul	4,25	5,81
Série	3,69	5,18



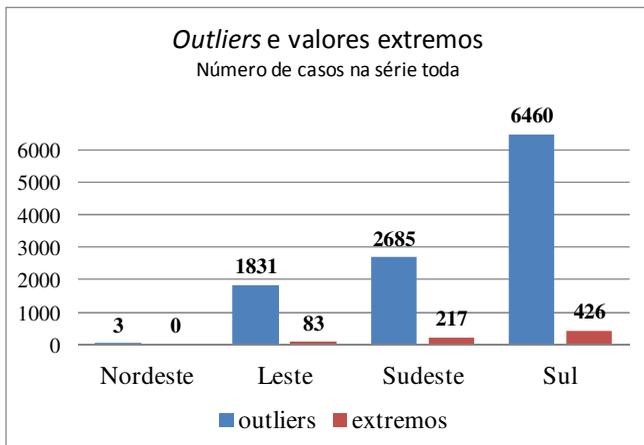
**Figura 48. Valores outliers e extremos de altura de onda para cada direção e para a série toda.**

Para ponderar as direções de onda quanto à ocorrência de eventos extremos (relativos às alturas de ondas), analisou-se o número de casos de ocorrência (e porcentagem) de *outliers* e extremos para cada direção (Tabela 22) e para toda a série (Figura 49 e Tabela 23).

Tabela 22. Número de casos, de *outliers* e de valores extremos para cada direção, porcentagem de ocorrência em cada direção e na série toda.

Direção	Total de casos		Nº de casos		Porcentagem (%) por direção		Porcentagem (%) para a série toda (53400 casos)	
	<i>outliers</i>	extremos	<i>outliers</i>	extremos	<i>outliers</i>	extremos	<i>outliers</i>	extremos
Nordeste	4786	104	4	2,2	0,08	0,0007	0,02	0,0007
Leste	198451	5791	1046	3	0,5	0,2	1	0,2
Sudeste	162355	4533	637	2,8	0,4	0,12	0,8	0,12
Sul	163558	2050	104	1,2	0,06	0,02	0,4	0,02

Para a direção nordeste, em 4786 casos (em 60 anos), ocorreram 104 eventos com ondas de alturas entre 2,1 e 3,61 metros e 4 com ondas de alturas maiores que 3,61 metros. A mesma leitura pode ser feita para as outras direções.



**Figura 49.** Número de casos de outliers e de valores extremos considerando os valores obtidos para toda a série - outliers: 3,69m e extremos: 5,18m

A direção sul é a maior responsável por eventos extremos com relação a alturas de onda, seguida pela direção sudeste e leste. Há praticamente ausência de eventos extremos de direção nordeste. Isso poder ser melhor visualizado na Tabela 23. Entre *outliers* e extremos ocorreram 114 eventos extremos por ano com direção sul, 48 de sudeste, 31 de leste e menos de 1 evento por ano de direção nordeste.

**Tabela 23.** Número de casos e número de casos por ano para cada direção considerando os outliers e extremos calculados para toda a série, 3,69m e 5,18m, respectivamente.

Direção	N° de casos		N° de casos por ano	
	<i>outliers</i>	extremos	<i>outliers</i>	extremos
Nordeste	3	0	0,05	0
Leste	1831	83	30,52	1,38
Sudeste	2685	217	44,75	3,62

Direção	N° de casos		N° de casos por ano	
Sul	6460	426	107,6	7,1
<b>Total de casos: 534000</b>				

Considerando estes resultados, os pesos obtidos das direções de incidência quanto à altura de onda a partir da fórmula

$$Peso_{direção} = \frac{2 * \left(\frac{outliers}{ano}\right) + 3 * \left(\frac{extremos}{ano}\right)}{5}$$

foram: nordeste: 0,02; leste: 13,03; sudeste: 20,07 e sul: 47,30.

Os pesos relativos à exposição às ondas e à ocorrência de eventos extremos foram padronizados e, assim, a partir dos novos valores foi calculado o peso final da variável, obtendo-se a classificação da linha de costa dessa variável para as praias em estudo, apresentada na Figura 50.

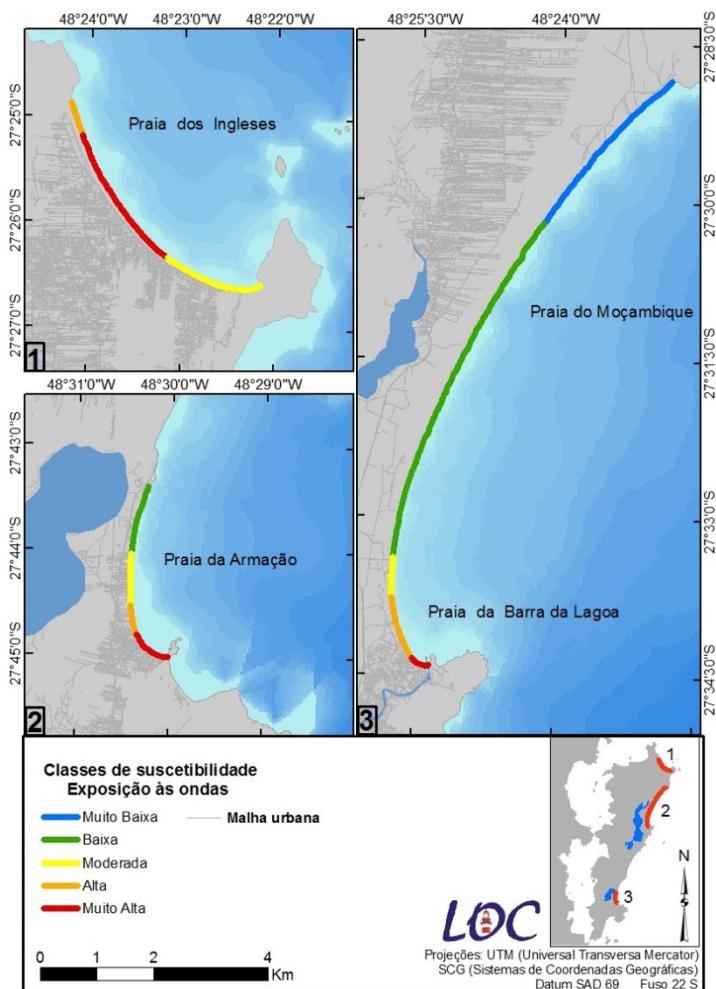
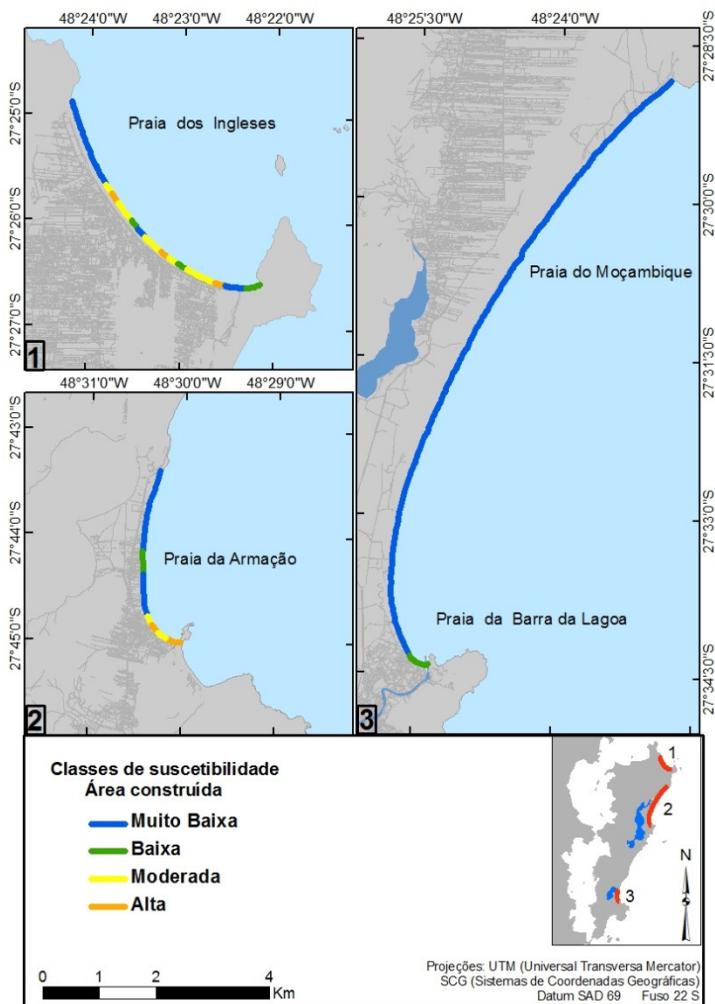


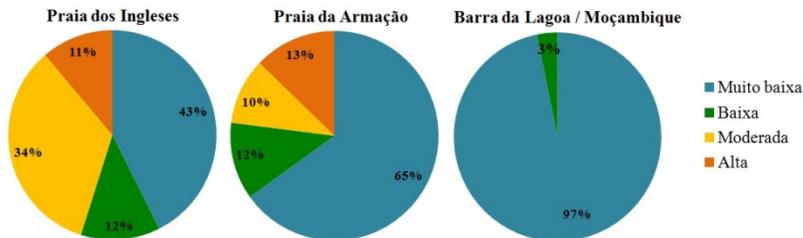
Figura 50. Classes de suscetibilidade da variável exposição às ondas.

#### 6.1.4. Variável relativa à população em risco

As praias em estudo foram segmentadas segundo a percentagem de superfície construída ( $m^2$ ) dentro da área em perigo. Os resultados podem ser visualizados na Figura 51. Na Figura 52 são apresentadas as percentagens de linha de costa relativas a área construída para cada classe.

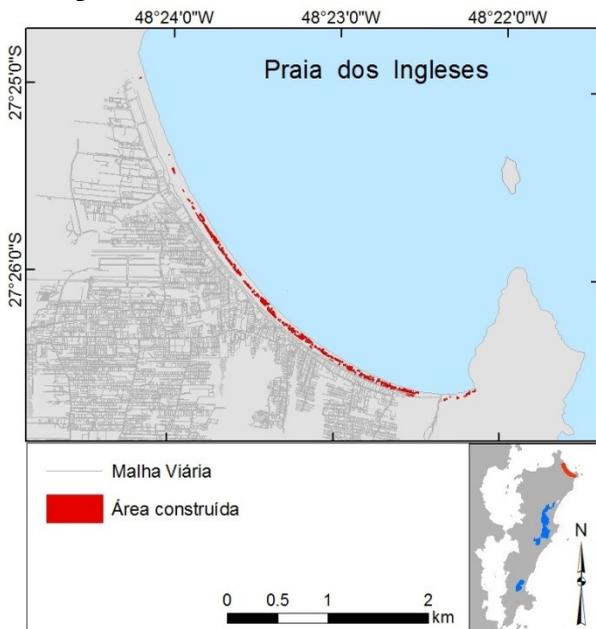


**Figura 51. Classes de suscetibilidade para as praias em estudo segundo a percentagem de área construída na área em perigo.**



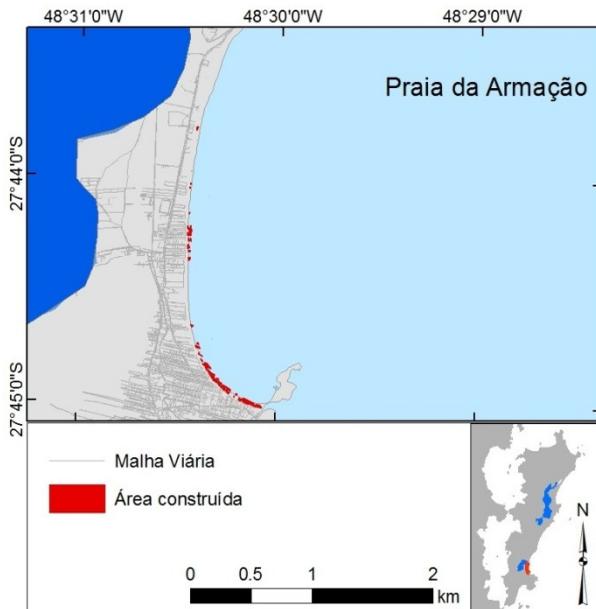
**Figura 52. Porcentagem de linha de costa de cada praia para cada classe de suscetibilidade referente às construções em risco.**

A Praia dos Ingleses é a que apresenta maior urbanização, localizada principalmente na parte central da praia, com 45% da linha de costa nas classes de suscetibilidade alta e moderada. Ainda assim, a maior parte da sua linha de costa (55%) apresenta suscetibilidade baixa e muito baixa. Esses fragmentos de baixa suscetibilidade estão localizados ao norte da praia, com pequeno trecho ao sul, onde ainda há dunas ativas (Figura 53).



**Figura 53. Área construída na área em perigo da Praia dos Ingleses apresentada na cor vermelho.**

A Praia da Armação apresenta a maior parte da sua linha de costa (77%) nas classes de suscetibilidade baixa e muito baixa e os 23% restantes enquadraram-se nas classes moderada e alta. Estes últimos são trechos intercalados no sul da praia (Figura 54).



**Figura 54.** Área construída na área em perigo da Praia da Armação apresentada na cor vermelho.

Como já dito anteriormente, o Parque Estadual do Rio Vermelho ocupa a maior parte do Sistema Praial Barra da Lagoa/Moçambique e é por isso que essa praia apresenta 97% de sua linha de costa sem construções na área em perigo. Ao sul, na Praia Barra da Lagoa, são encontrados trechos bastante urbanizados (3% da linha de costa), com construções de frente para o mar (Figura 55).

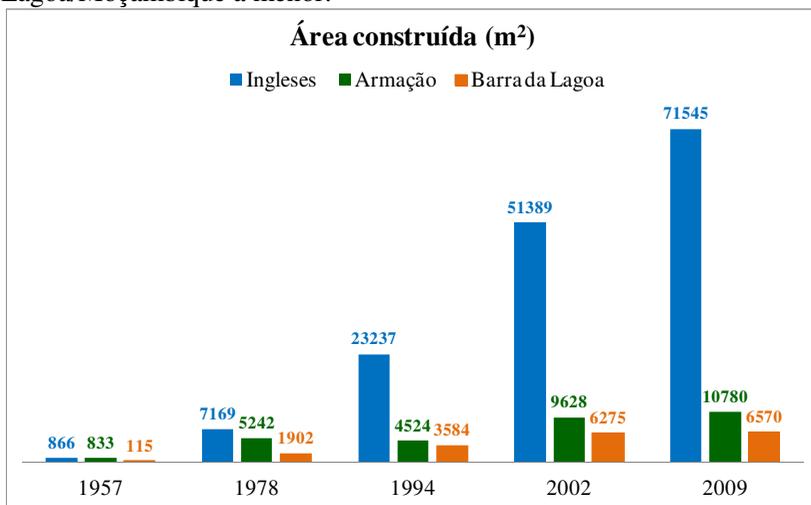


**Figura 55. Área construída na área em perigo da Praia Barra da Lagoa/Moçambique apresentada na cor vermelho.**

Numa análise geral, considerando as três praias em estudo, 5% da linha de costa enquadrou-se na classe de suscetibilidade alta, 17% na classe moderada e 78% da linha de costa na classe de suscetibilidade muito baixa, não apresentando construções na área em perigo. Vale lembrar que esta alta porcentagem tem grande influência da Praia do Moçambique, que representa 57% da linha de costa estudada. Excluindo esta praia da análise, 49% da linha de costa permaneceram na classe muito baixa, 16% na baixa, 23% na moderada e 12% na alta.

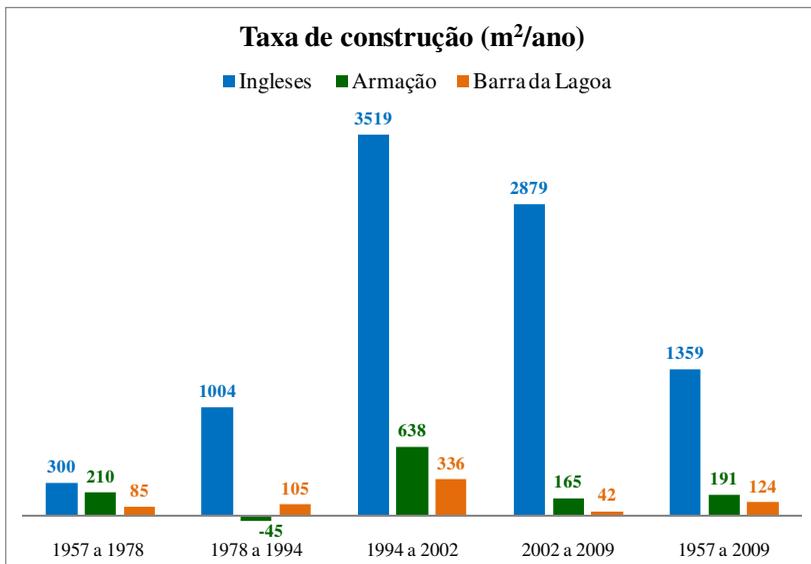
Isto mostra que para a maior parte da área de estudo ainda pode haver um planejamento urbano adequado, que considere a proteção dos ecossistemas costeiros e da população interessada.

Considerando a evolução temporal da tendência de ocupação costeira, a partir da soma da área construída na área em perigo de cada praia para cada fotografia aérea / imagem utilizada, pôde-se observar o aumento da urbanização ao longo das últimas décadas (1957 a 2009). Os resultados podem ser vistos na Figura 56. A Praia dos Ingleses é a que possui maior área construída e o Sistema Praial Barra da Lagoa/Moçambique a menor.



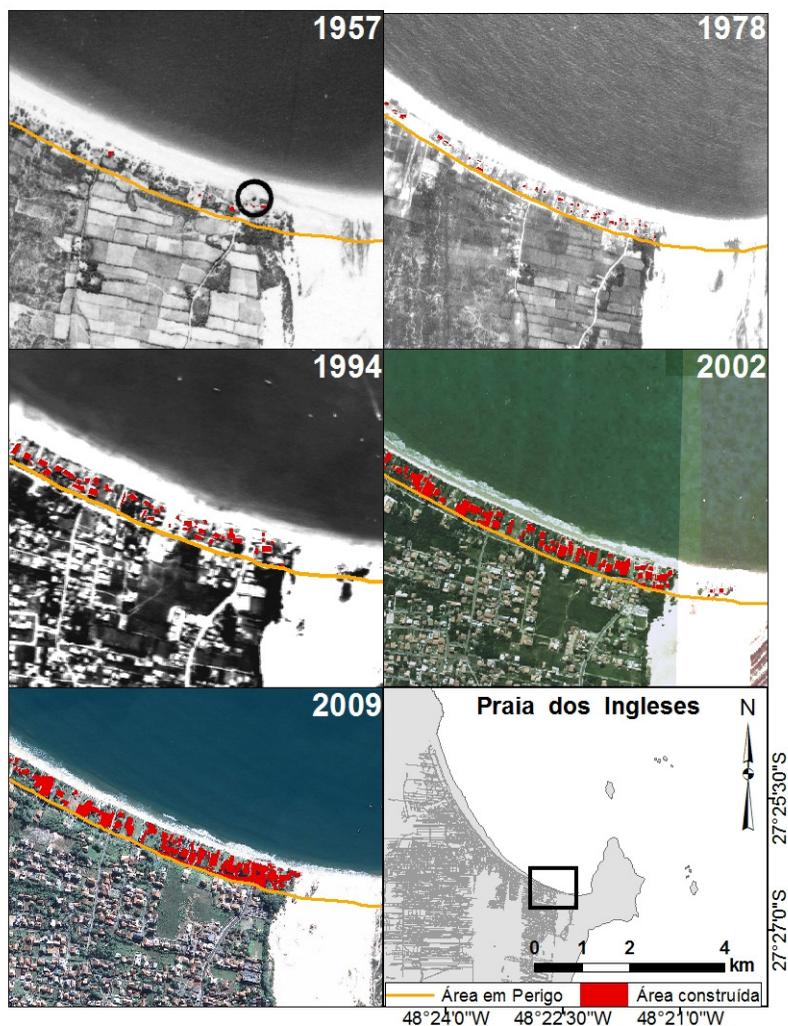
**Figura 56. Aumento da área construída na área em perigo das três praias em estudo no período analisado.**

A Figura 57 apresenta a taxa de construção em m<sup>2</sup>/ano para cada praia de estudo.



**Figura 57. Evolução da ocupação da costa com a taxa de construção em metros/ano.**

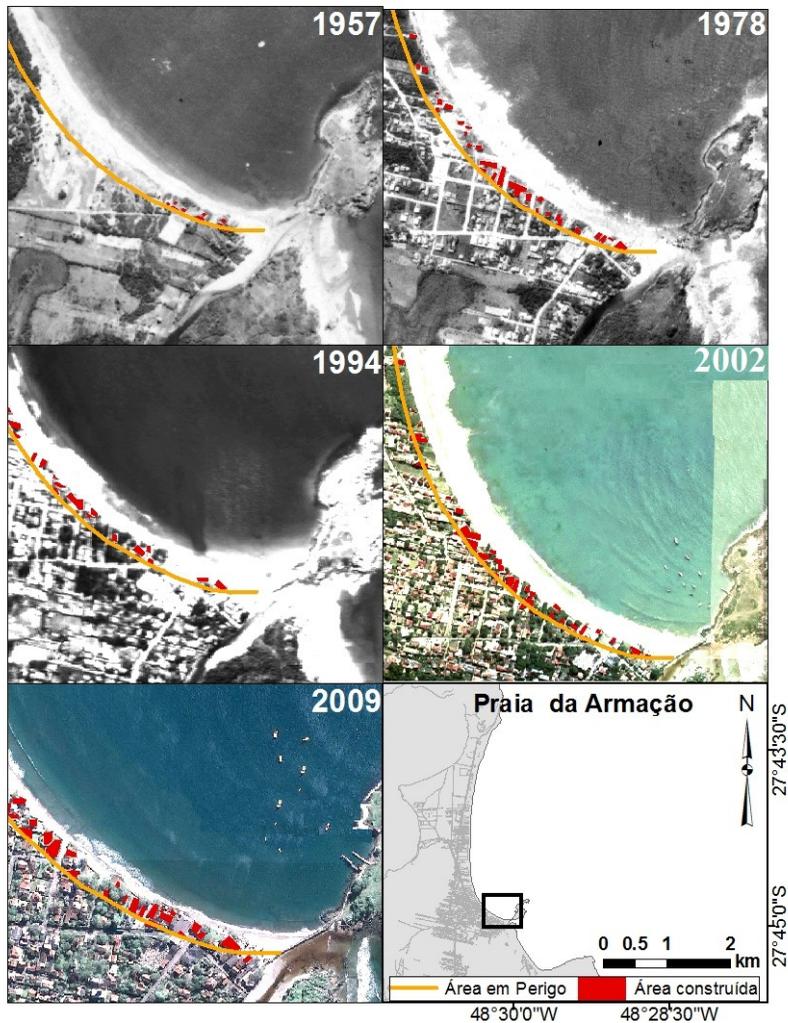
Utilizando como base o ano de 1957, a Praia dos Ingleses teve um crescimento de área construída próximo a 8200%, com a maior taxa de construção no período de 1994 a 2002, com 3519m<sup>2</sup> ao ano. Vale lembrar que é aqui considerada apenas a construção em planta, sendo que edificações os eventuais pisos superiores das construções não foram contabilizadas. A Figura 58 mostra a evolução da área construída na área em perigo em um trecho do sul da Praia dos Ingleses.



**Figura 58. Evolução da área construída na Praia dos Ingleses no período 1957-2009.**

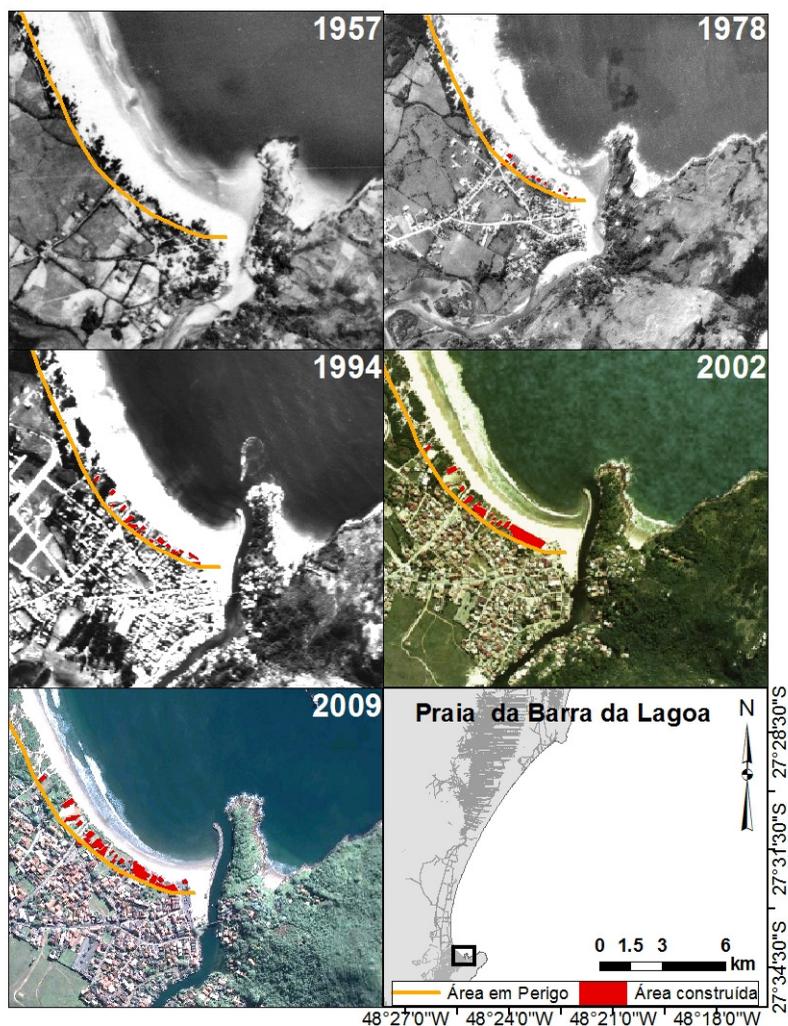
A Praia da Armação teve um aumento de aproximadamente 1300% de área construída no período analisado. A maior taxa de construção também foi no período de 1994 a 2002 e a menor (taxa negativa) foi no período anterior a este, de 1978 a 1994; isto quer dizer

que em 1994 havia menos construções que em 1978. Não foram identificadas as causas desta inversão na tendência de ocupação e tal fato poderá ser futuramente investigado. A Figura 59 mostra a evolução da área construída na área em perigo em um trecho do sul da Praia da Armação.



**Figura 59. Evolução da área construída na Praia da Armação no período 1957-2009.**

Para Barra da Lagoa/Moçambique o aumento foi de aproximadamente 5700%, com maior aceleração também no período 1994 a 2002. A urbanização se deu apenas no sul da praia. Figura 60.

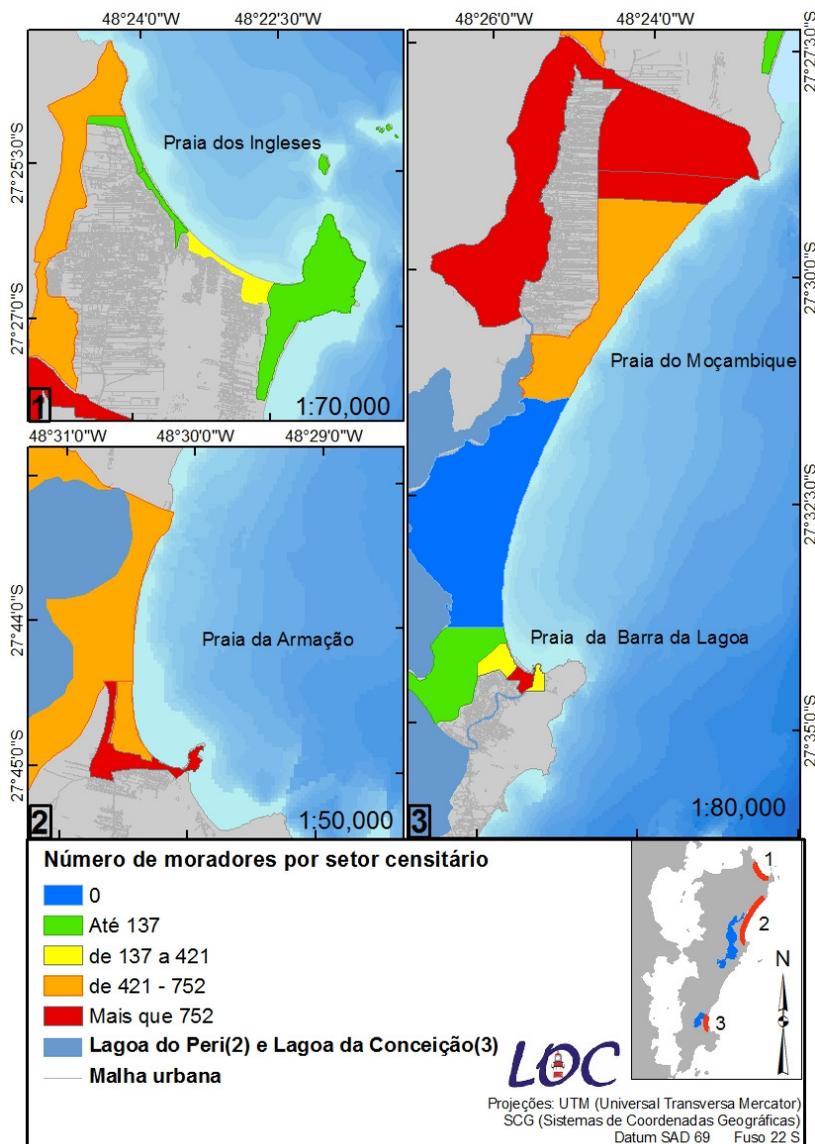


**Figura 60. Evolução da área construída na Praia da Barra da Lagoa no período 1957-2009.**

Para a análise da população em risco, as médias de moradores por domicílio para cada setor censitário costeiro das praias em estudo foram selecionadas e são apresentadas na Tabela 24. Os setores utilizados são apresentados na Figura 61.

**Tabela 24. Moradores por domicílio por setor censitário.**

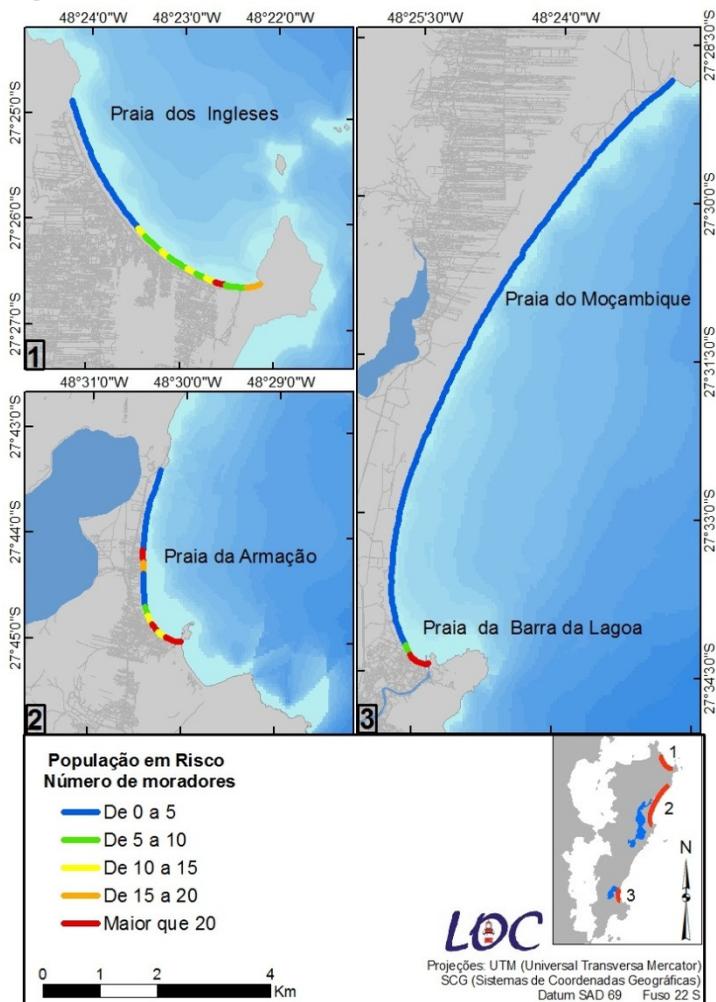
<b>Praia</b>	<b>Setor censitário</b>	<b>Nº de moradores por domicílio</b>
<b>Ingleses</b>	ING 1	2,8
	ING 2	0,4
	ING 3	0,3
	ING 4	0,7
	ING 5	1,3
	ING 6	1,8
	<b>MÉDIA</b>	<b>1,2</b>
<b>Barra da Lagoa Moçambique</b>	BLM 1	2,1
	BLM 2	2,3
	BLM 3	1,9
	BLM 4	3,0
	BLM 5	6,0
	BLM 6	1,5
	BLM 7	1,9
	BLM 8	1,5
	<b>MÉDIA</b>	<b>2,5</b>
<b>Armação</b>	ARM 1	1,9
	ARM 2	1,5
	ARM 3	1,8
	<b>MÉDIA</b>	<b>1,7</b>



**Figura 61. Setores censitários costeiros das praias em estudo.**

Analisando a área de cada setor censitário percebeu-se que ela excedia a área em perigo calculada nesta pesquisa. Desta forma, a fim de evitar uma análise superestimada, optou-se por utilizar a média de

moradores por domicílio, fornecida pelos setores censitários (IBGE), vinculada à contagem de construções realizada. Neste caso, como aproximação da realidade, todas as construções identificadas foram consideradas como sendo residências. Desta forma, a média de moradores por domicílio foi multiplicada pelo número de edificações de cada segmento de linha de costa, obtendo-se a população em risco (Figura 62).



**Figura 62.** População na área de risco representada em número de moradores por segmento.

Com relação aos possíveis prejuízos causados às construções à beira-mar pela inundação costeira, utilizando-se um CUBm de R\$1059,17, foram obtidos os valores apresentados na Tabela 25.

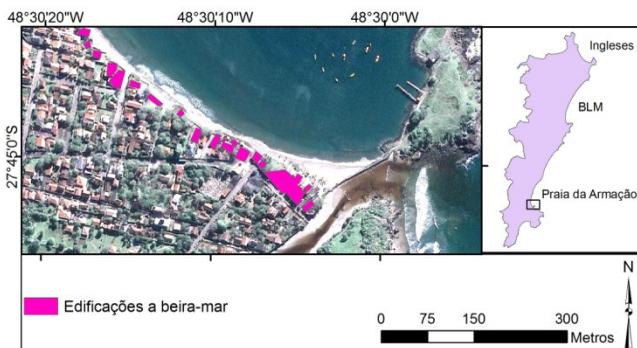
**Tabela 25. Estimativa de prejuízos causados por marés meteorológicas e erosão para as praias em estudo, considerando a superfície construída na área em perigo e um CUB de R\$1.059,17.**

Praias	Área construída (m <sup>2</sup> )	Prejuízos (R\$)
Ingleses	71545,43	75.778.773,09
Barra da Lagoa / Moçambique	6569,79	6.958.524,47
Armação	10780,47	11.418.350,40
Total		<b>94.155.647,96</b>

Esses valores representam uma estimativa dos prejuízos que poderiam ser causados por marés meteorológicas associadas a ondas de tempestade e erosão caso as tendências de movimentação da linha de costa e as construções se mantivessem nas condições atuais pelos próximos 50 anos. Ressalta-se que esse cenário não considera eventuais investimentos em obras costeiras de contenção de erosão ou engordamento de praia. Conforme dito anteriormente, a estimativa considera as construções como tendo apenas o pavimento térreo, apresentando portanto valores abaixo do que seria obtido caso fosse efetuado um cadastro *in situ*. Ainda assim, esses valores são relevantes, pois o PIB (Produto Interno Bruto) do Estado de Santa Catarina em 2008 foi de R\$123.282.981,93, segundo Secretaria de Estado do Planejamento (s/d) e IBGE (2011). Assim, em 50 anos, os prejuízos materiais acumulados apenas nessas três praias seriam próximos do valor do PIB estadual anual.

A praia que apresenta a maior área construída em perigo é a Praia dos Ingleses e, conseqüentemente, é a que geraria maiores prejuízos relativos à destruição de edificações, com valores atingindo 75 milhões de reais. A Praia da Armação teria perdas de 11 milhões, aproximadamente, e a Barra da Lagoa/Moçambique valores próximos a 7 milhões.

Com a intenção de refinar essa análise e aplicá-la às condições atuais, os cálculos foram refeitos considerando apenas a área das construções diretamente voltada para o mar, como ilustrado na Figura 63.



**Figura 63. Figura ilustrativa de construções diretamente voltadas para o mar.**

A área construída de frente para o mar para cada praia é apresentada na Tabela 26. Multiplicando esses valores pelo CUBm da Ilha de Santa Catarina, obteve-se a estimativa do prejuízo que pode ser atualmente causado por marés meteorológicas.

**Tabela 26. Estimativa de prejuízos causados por marés meteorológicas associadas a ondas de tempestade e erosão, considerando área construída de edificações voltadas para o mar e CUB igual a R\$1.059,17.**

Praias	Área construída de frente para o mar (m <sup>2</sup> )	Valores estimados (R\$)
Inglezes	12474	13.212.086,58
Barra da Lagoa / Moçambique	3138	3.323.675,46
Armação	9518	10.081.180,06
<b>Total:</b>		<b>26.616.942,10</b>

Nota-se que os prejuízos passíveis de serem causados por destruição de edificações na costa na Ilha de Santa Catarina atualmente também são consideravelmente altos (mais de 26 milhões).

Nesse contexto, a população que ocupa a beira-mar, muitas vezes, pressiona o poder público a agir em sua defesa, isto é, proteger tanto as edificações como a própria faixa de areia por meio de obras costeiras, como ocorrido no caso da Praia da Armação após eventos de marés meteorológicas em 2010 (já mencionados). Neste caso em

particular, segundo o prefeito de Florianópolis, em 2010 o Deinfra (Departamento de Estadual de Infraestrutura) apresentaria um projeto prevendo enrocamento, dragagem e complementação com areia, obra que deveria ficar orçada entre R\$ 10 e R\$ 12 milhões (notícia em Assembléia Legislativa (<http://al-sc.jusbrasil.com.br/noticias/2207115/reuniao-busca-solucao-para-praia-da-armacao>)). Ressalta-se que esse valor é equivalente ao prejuízo material estimado para aquela praia podendo ser empregado, alternativamente, em ações de desapropriação e criação de espaços públicos.

## 6.2. CÁLCULO DO CVI

A Tabela 27 apresenta em resumo as variáveis de entrada no cálculo do índice de vulnerabilidade costeira e as classes definidas neste trabalho.

Tabela 27. Variáveis de entrada no CVI e classes de suscetibilidade adotadas. Resumo.

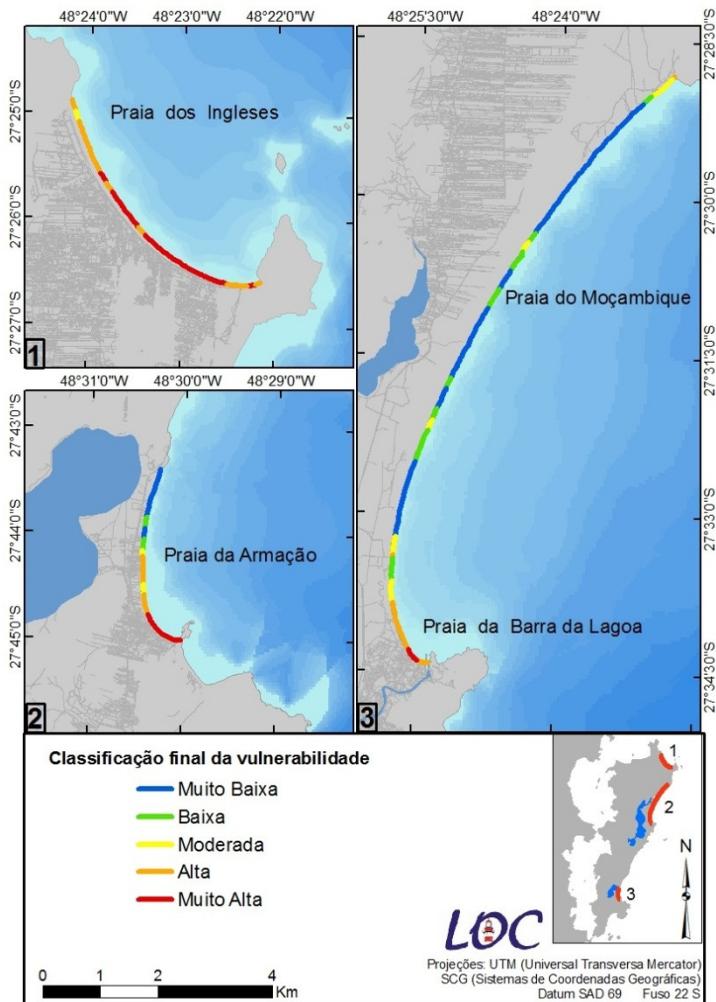
Variáveis	Classes de suscetibilidade				
	Muito Baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
Tipo de <i>backshore</i>	Duna vegetada	Duna ativa	Vegetação com ocupação dispersa	-	Ocupação construções
Altitude do <i>backshore</i>	$\geq 6,0$	de 4,5 a 6,0	de 3,5 a 4,5	de 2,0 a 3,5	$\leq 2$
Exposição às ondas	Abrigado		Semi-exposto		Exposto
Varição da linha de costa – taxa anual em metros/ano	$\geq 0$ (progradação)	de 0 a -0,1	de -0,1 a -0,4	de -0,4 a -0,7	$\leq -0,7$
População em risco Nº de moradores	0	Até 5	5 a 10	10 a 15	Mais de 15
Porcentagem de área construída por segmento de linha de costa	$\leq 10\%$	de 10 a 20%	de 20 a 30%	de 30 a 40%	$\geq 50\%$

Seguindo o proposto por Gornitz (1991), a classe de vulnerabilidade muito alta foi definida a partir do terceiro quartil dos valores obtidos para o CVI, permitindo a definição das demais classes. A classificação final está apresentada na Tabela 28.

**Tabela 28. Valores do CVI para classificação da vulnerabilidade costeira da área em estudo.**

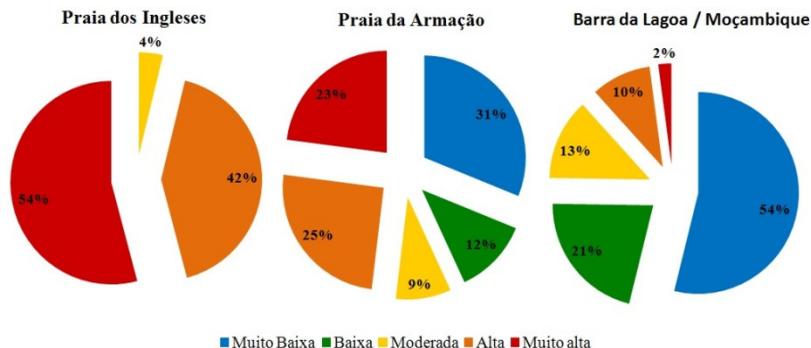
<b>Valores de CVI</b>	<b>Classes de vulnerabilidade</b>
Até 0,58	Muito Baixa
0,581 a 0,96	Baixa
0,961 a 1,34	Moderada
1,341 a 3,79	Alta
Maior que 3,79	Muito Alta

A segmentação final da linha de costa das praias em estudo quanto à vulnerabilidade costeira é apresentada na Figura 64.



**Figura 64. Classificação final da vulnerabilidade.**

A Figura 65 apresenta a porcentagem de linha de costa de cada praia em cada classe de vulnerabilidade, trazendo uma visão geral da situação das praias.



**Figura 65. Porcentagem de linha de costa de cada praia para cada classe de vulnerabilidade.**

Observa-se que a Praia dos Ingleses é a que está em situação mais grave, pois 54% e 42% da sua linha de costa apresentaram vulnerabilidade muito alta e alta, respectivamente, totalizando quase toda a praia. Estes resultados coincidem com os obtidos por Mussi (2011) na avaliação da sensibilidade à erosão e inundação no cenário relativo à exposição às ondas de leste e, em linhas gerais, coincidem também com os obtidos por Rudorff (2005), numa análise da suscetibilidade a partir de geoindicadores.

Nesta pesquisa obteve-se sempre um grau a mais de vulnerabilidade do que Rudorff (2005) e Mussi (2011) com o cenário de ondas de sudeste, ou seja, onde os autores encontraram suscetibilidade moderada, neste trabalho obteve-se alta, onde era alta, obteve-se muito alta. Considerando a pesquisa de Rudorff (2005), isto pode ser possivelmente devido à inclusão de uma variável relativa à população em perigo.

O autor supracitado encontrou o extremo norte da Praia dos Ingleses com vulnerabilidade moderada, o que equivale ao trecho de vulnerabilidade alta deste trabalho e do de Mussi (2011) (cenário de ondas de leste). No cenário de ondas de sudeste a autora também classificou este trecho como pertencente à classe moderada. Na parte central Rudorff (2005) encontrou trechos de vulnerabilidade alta intercalados com pequenos trechos de vulnerabilidade moderada, equivalentes espacialmente a maiores segmentos de vulnerabilidade muito alta intercalados com menores trechos de moderada. Nesta parte central da praia, Mussi (2011), ainda no cenário de ondas de leste, encontrou um longo segmento de sensibilidade muito alta. Ao sul,

Rudorff (2005) obteve suscetibilidade moderada no fragmento da linha de costa onde estão as dunas, neste trabalho e no de Mussi (2011) (cenário leste) este trecho recebeu grau de vulnerabilidade alta. Figura 66.

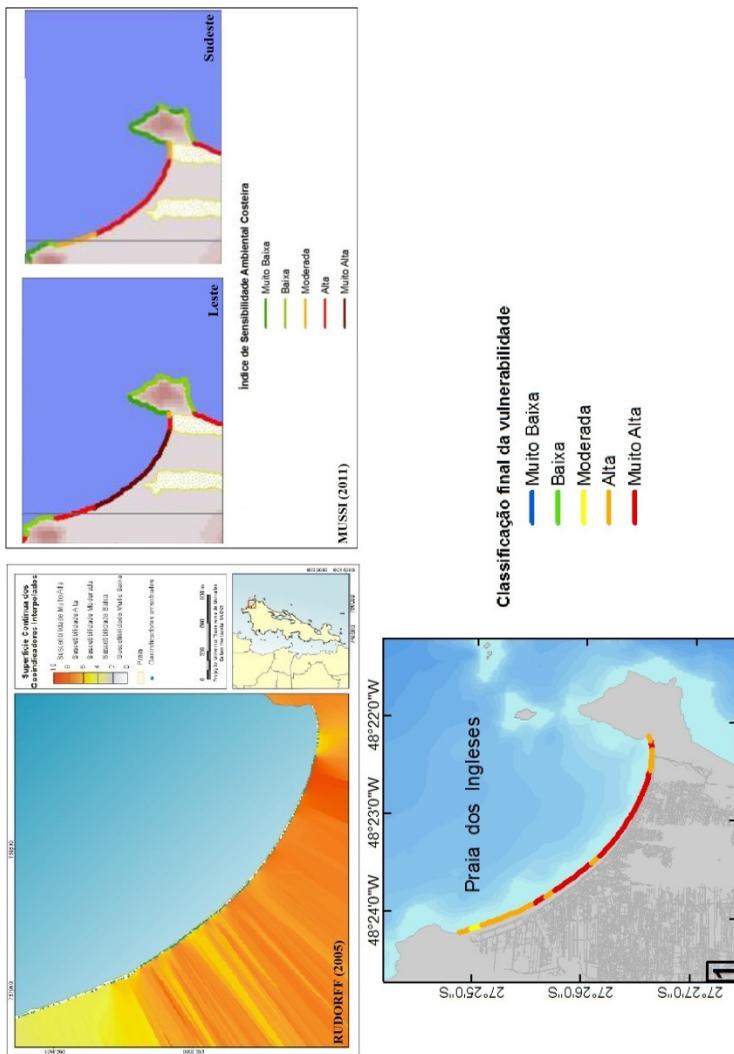
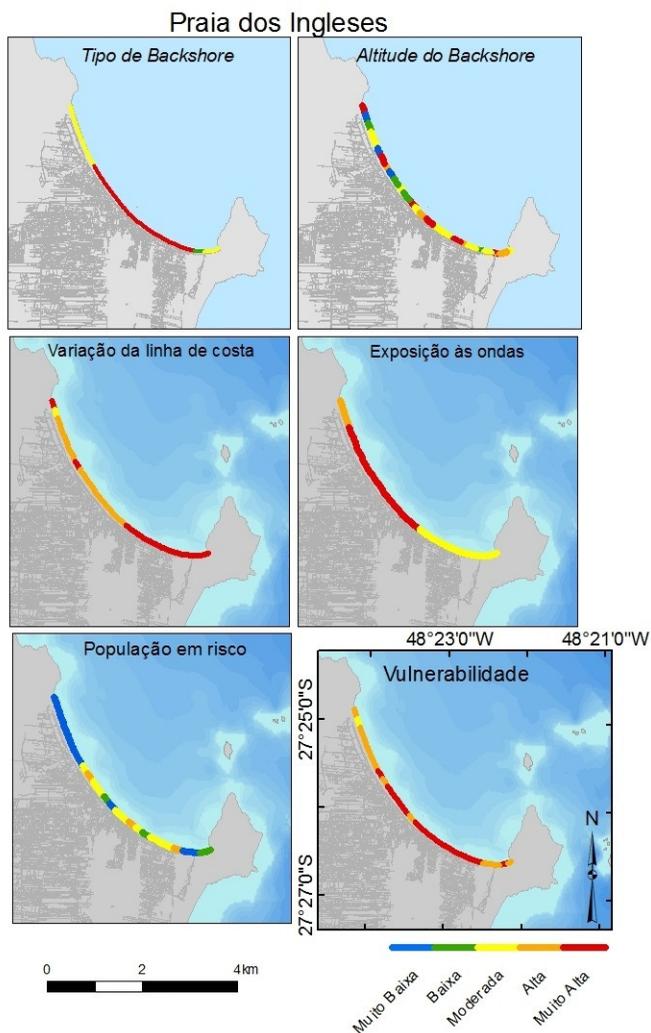


Figura 66. Resultados obtidos por diferentes autores para a Praia dos Ingleses. Suscetibilidade apresentada por Rudorff (2005), sensibilidade ambiental apresentada por MUSSI (2011) e vulnerabilidade obtida neste trabalho.

Na Figura 67, nota-se que a vulnerabilidade alta encontrada para esta praia é devida principalmente às três variáveis: tipo de *backshore* (retropraia), variação da linha de costa e exposição às ondas, que apresentaram suscetibilidade, no mínimo, moderada. A variável população em risco aparentemente contribuiu com a diminuição da vulnerabilidade no setor norte e extremo sul da praia. A variável altitude do *backshore* (retropraia) segmenta a linha de costa diversas vezes não apresentando uma tendência claramente perceptível.



**Figura 67. Comportamento das variáveis de entrada no CVI e da avaliação final da vulnerabilidade - Praia dos Ingleses.**

Os resultados encontrados foram diferentes. Mussi (2011), no cenário relativo à ondulação de leste, classificou toda a praia com sensibilidade muito alta e no cenário relativo à ondulação de sudeste classificou o norte da praia como muito alta e o trecho centro-sul como alta. Rudorff (2005) encontrou suscetibilidade moderada a alta no norte, um trecho central com suscetibilidade alta a muito alta, um trecho

centro-sul com moderada e o extremo sul novamente com suscetibilidade alta a muito alta. Figura 68.

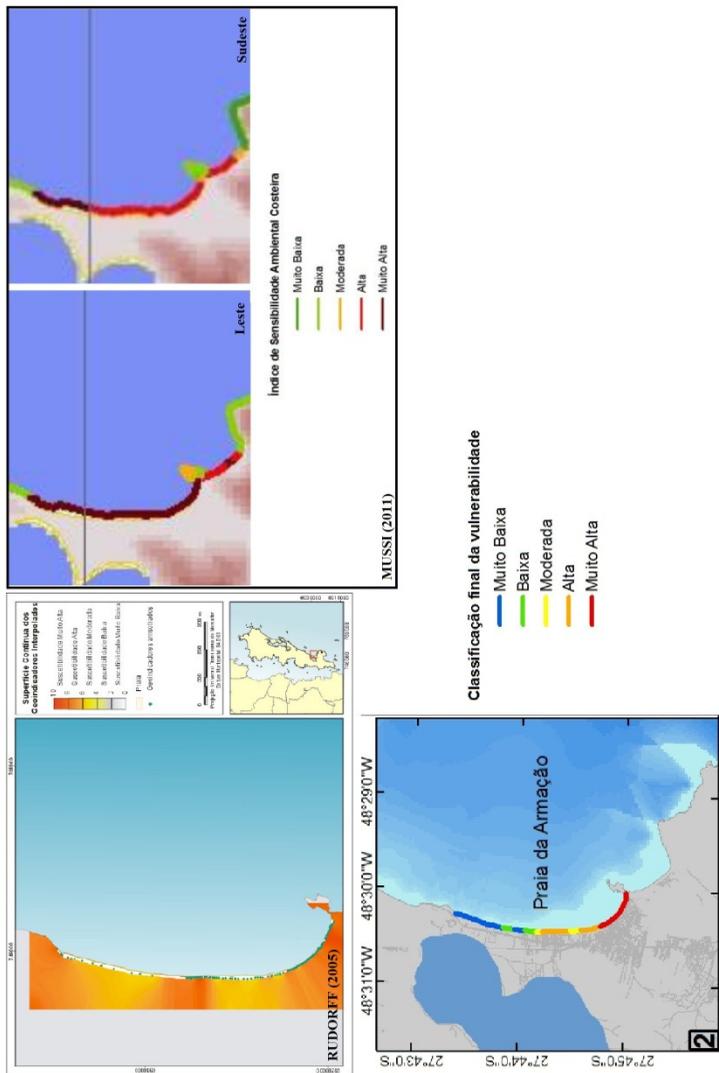
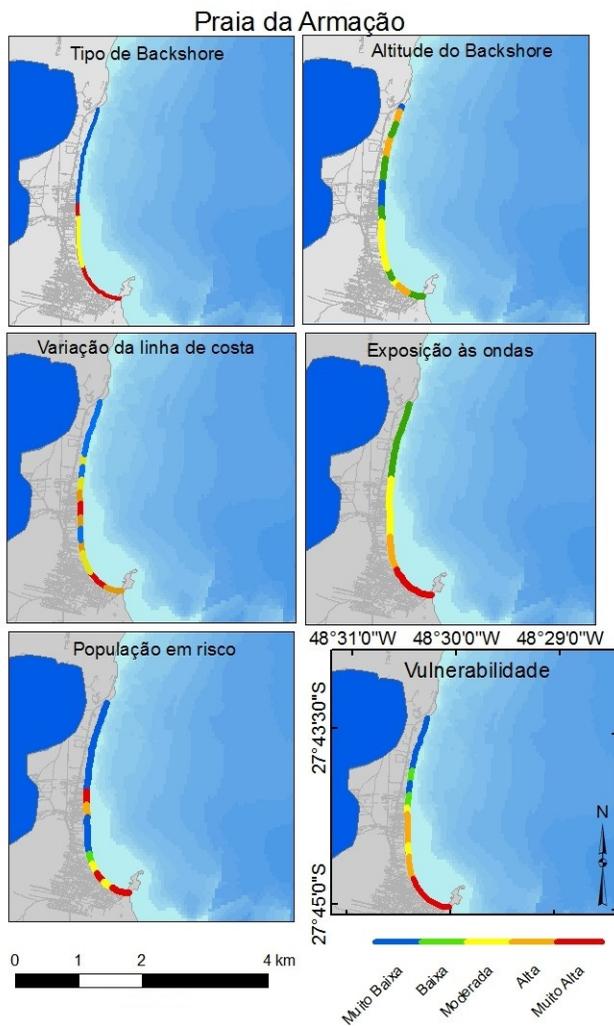


Figura 68. Resultados obtidos por diferentes autores para a Praia da Armação. Suscetibilidade apresentada por Rudorff (2005), sensibilidade ambiental apresentada por Muzzi (2011) e vulnerabilidade obtida neste trabalho.

Neste trabalho obteve-se o norte da praia classificado como vulnerabilidade baixa e muito baixa, devido ao *backshore* (retropraia) pouco modificado, à linha de costa que não vem sofrendo erosão, à baixa densidade de construções e à baixa exposição às ondulações mais relevantes. O trecho central da praia apresentou vulnerabilidade predominantemente alta e o trecho sul muito alta, ou seja, a vulnerabilidade aumentou no sentido norte-sul da Praia da Armação. Nesta praia, todas as variáveis, exceto a altitude do *backshore* (retropraia), apresentam aumento da suscetibilidade neste sentido (Figura 69). No sul, os problemas de erosão praial são claros, evidenciados pela obra de proteção das construções a beira-mar realizada no ano de 2010.

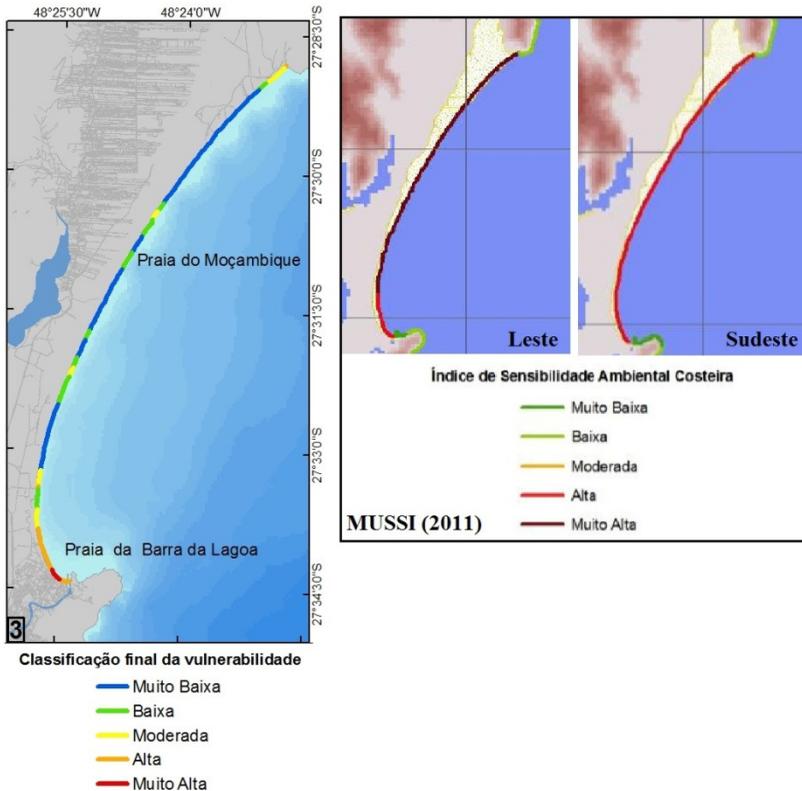
Com a realização desta obra, sabe-se que o grau de vulnerabilidade não permanece o mesmo, abrindo campo para novas análises considerando agora o comportamento do novo ambiente no trecho sul desta praia quanto a ação de marés meteorológicas associadas a ondas de tempestade.



**Figura 69. Comportamento das variáveis de entrada no CVI e da avaliação final da vulnerabilidade - Praia da Armação.**

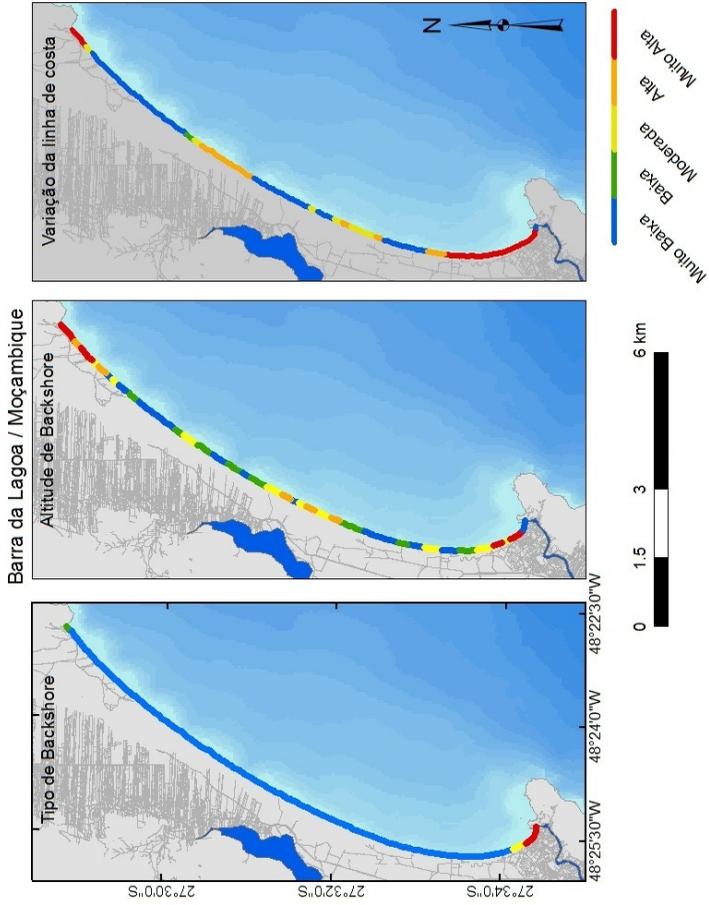
A Praia da Barra da Lagoa/Moçambique foi classificada por Mussi (2011), no cenário de ondas de leste, em sensibilidade muito alta na maior parte da praia e o trecho sul recebeu grau de sensibilidade alto. No cenário de sudeste a autora encontrou sensibilidade alta para todo o arco praial. Nesta pesquisa, esta praia recebeu vulnerabilidade alta no extremo sul, precedida por um pequeno trecho de vulnerabilidade muito

alta. A parte central e norte apresentaram menor vulnerabilidade, isto é, trechos de vulnerabilidade baixa e muito baixa intercalados (Figura 70)

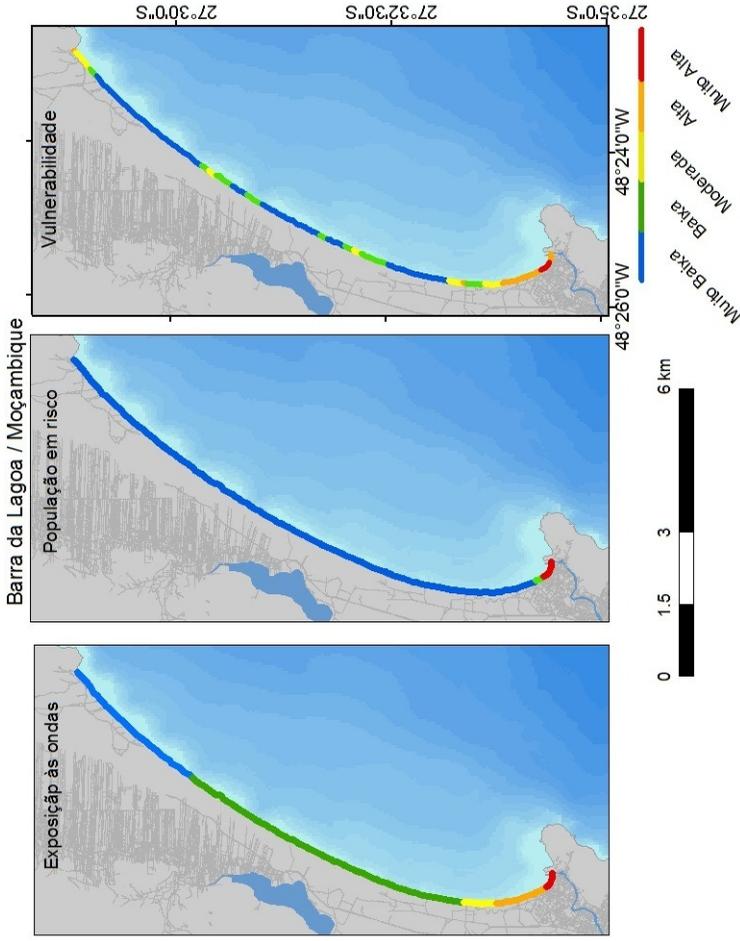


**Figura 70. Resultados obtidos por diferentes autores para a Praia dos Ingleses Sensibilidade ambiental apresentada por Mussi (2011) e vulnerabilidade obtida neste trabalho.**

Nesta praia, observa-se que todas as variáveis estudadas apresentam maior vulnerabilidade no extremo sul. Pode ser observado também que seu setor central tem trechos de vulnerabilidade potencialmente elevada, onde o *backshore* (retropraia) apresenta baixas altitudes próximas à linha de costa, sendo trechos que vêm sofrendo erosão nos últimos anos. Figura 71 e Figura 72.



**Figura 71. Comportamento das variáveis de entrada no CVI para análise com vulnerabilidade final obtida - Praia da Barra da Lagoa / Moçambique.**



**Figura 72. Comportamento das variáveis de entrada no CVI para análise com vulnerabilidade final obtida - Praia da Barra da Lagoa / Moçambique.**

Pode-se dizer que a variável relativa à população em risco exerceu bastante influência na avaliação de vulnerabilidade proposta, pois foi considerada também de forma indireta na variável relativa à exposição da costa às direções de incidência das ondas. No entanto, esta influência parece não ter superestimado a vulnerabilidade da área em estudo, considerando que os resultados obtidos nesta pesquisa não discordaram, em termos gerais, dos obtidos por trabalhos anteriores.

Neste sentido, a proposta de inserção de uma variável relativa à população no cálculo do CVI, considerando não só os dados censitários mas a quantidade de construções em risco, possibilitou uma análise de vulnerabilidade costeira mais abrangente.

### 6.3. REANÁLISE DE DADOS OBSERVACIONAIS – COMPARAÇÃO COM CVI

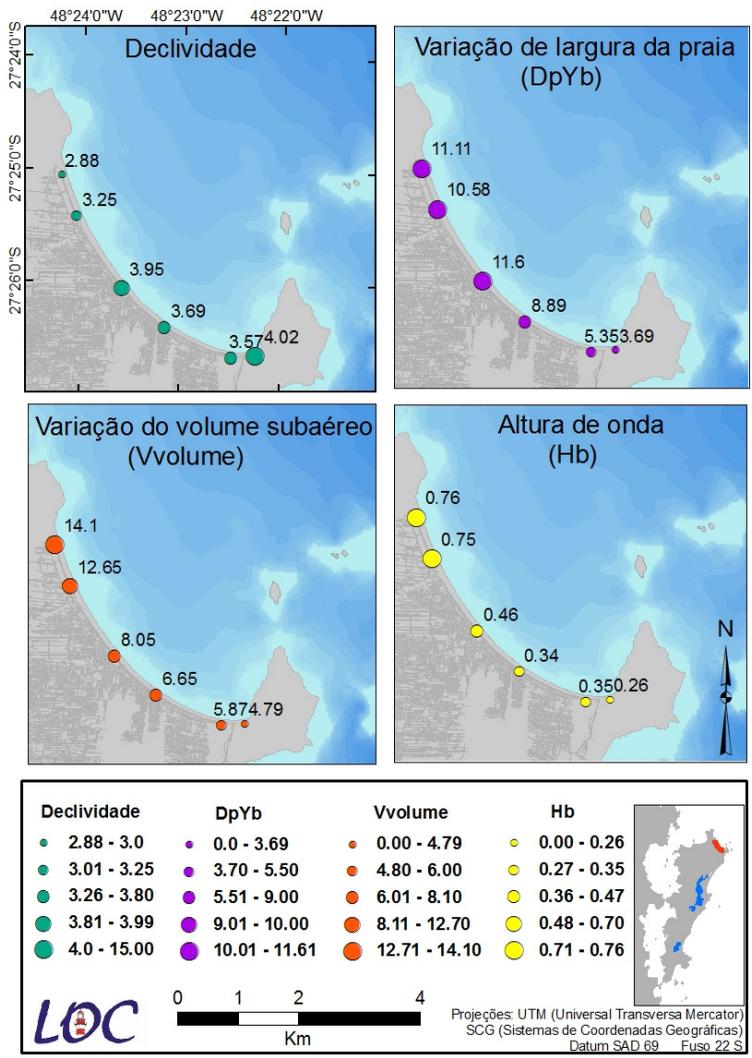
Os resultados da reanálise dos dados morfodinâmicos das praias em estudo estão descritos a seguir, separados para cada praia em estudo.

#### 6.3.1. Praia dos Ingleses

A praia dos Ingleses apresentou areia fina em todos os seus perfis e, quanto ao grau de selecionamento do grão na face praial, o perfil 4 foi classificado como grau “bem selecionado” e os 5 perfis restantes apresentaram grau “muito bem selecionado”.

O setor centro-norte da praia apresentou maior variação de largura de praia, o que pode ser devido à sua maior exposição às ondulações do setor sudeste, parcialmente protegido pela presença do promontório rochoso. Condizente com isto, a variação de volume também foi maior no setor norte, assim como as alturas e período de onda também aumentaram no sentido sul para norte. Já a declividade da face praial diminui neste sentido. A Figura 73 apresenta essas variáveis espacializadas.

Neste sentido, considerou-se o setor norte da praia o de maior mobilidade, principalmente pela variação da largura de praia e pela variação do volume subaéreo.



**Figura 73. Espacialização das variáveis observacionais para a Praia dos Ingleses.**

Quanto ao parâmetro  $\omega$ , calculado para cada perfil da Praia dos Ingleses a partir da fórmula proposta por Wright e Short (1984), os valores ficaram entre 1,86 (extremo sul) e 3,00 (setor norte) indicando uma praia intermediária (Tabela 29).

**Tabela 29. Valores do parâmetro ômega para a Praia dos Ingleses.**

<b>Perfil</b>	<b><math>\Omega = Hb/(Ws*T)</math></b>	<b>Estado</b>
<b>Ingleses 1</b>	1,86	Dissipativa
<b>Ingleses 2</b>	2,06	Dissipativa
<b>Ingleses 3</b>	2,12	Dissipativa
<b>Ingleses 4</b>	2,45	Dissipativa
<b>Ingleses 5</b>	3,16	Dissipativa
<b>Ingleses 6</b>	3,01	Dissipativa

Se o parâmetro ômega for calculado segundo o método indireto proposto por Klein (1997) para a determinação do estado morfodinâmico praiial, que valoriza mais a morfologia e menos a dinâmica, os valores encontrados são diferentes e setorizam a Praia dos Ingleses em intermediária no trecho centro sul e dissipativa na extremidade norte (Tabela 30 e Figura 74).

**Tabela 30. Valores do parâmetro ômega calculado a partir da proposta de Klein (1997) para a Praia dos Ingleses.**

<b>Perfil</b>	<b><math>\Omega = \frac{0,0225}{\tan \beta^2}</math></b>	<b>Estado Morfodinâmico</b>
<b>Ingleses 1</b>	4,56	Intermediária
<b>Ingleses 2</b>	5,78	Intermediária
<b>Ingleses 3</b>	5,41	Intermediária
<b>Ingleses 4</b>	4,72	Intermediária
<b>Ingleses 5</b>	6,98	Dissipativa
<b>Ingleses 6</b>	8,89	Dissipativa

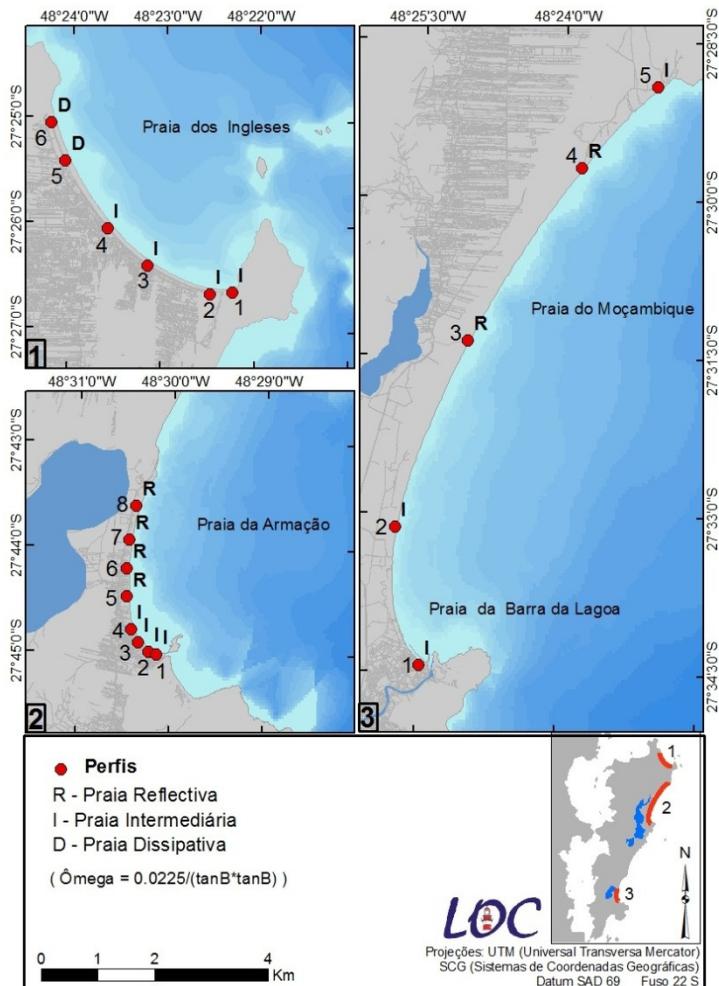


Figura 74. Perfis e classificação do estado morfodinâmico das praias de estudo segundo proposta de Klein (1997).

### 7.2.2. Praia Barra da Lagoa/Moçambique

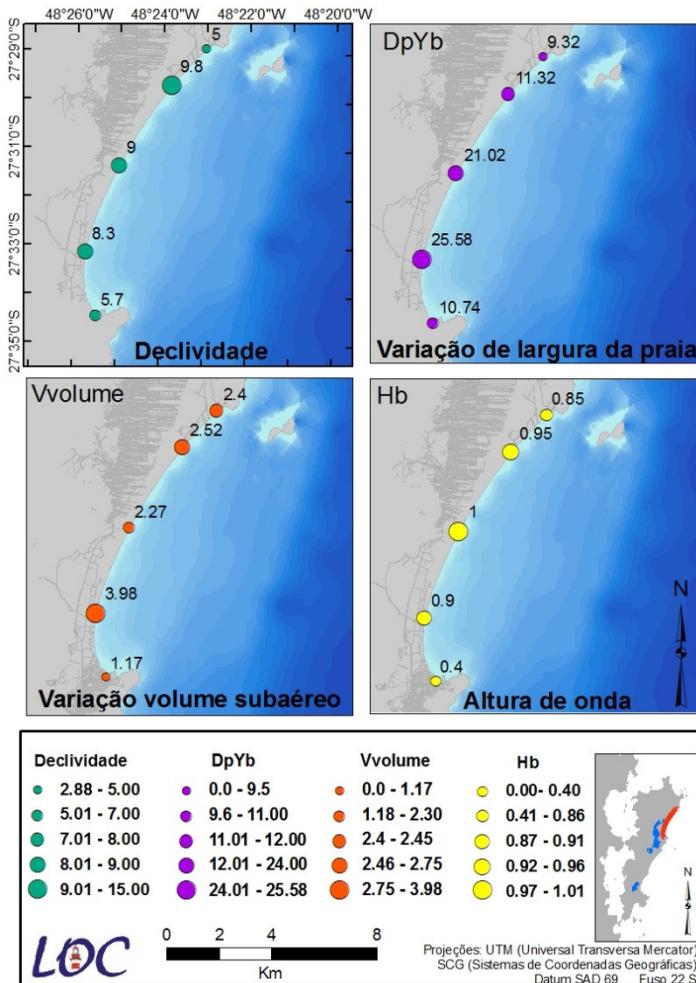
Os pontos de coleta no extremo norte e no extremo sul (Praia da Barra da Lagoa) apresentaram areia fina (perfil 1 e 5); o perfil central (perfil 3) apresentou areia grossa e os perfis intermediários apresentaram areia média (2 e 4). O grau de selecionamento do grão na face praiadal foi

classificado como “moderadamente selecionado” em todo o arco praiial, exceto na Praia da Barra da Lagoa onde é “bem selecionado”.

As maiores declividades da praia encontram-se no setor central (perfis 2, 3 e 4), com valores acima de 8°. Tanto o canto sul como o norte da praia apresentaram valores menores, próximos a 5°. As maiores alturas e períodos de onda e as maiores variações na largura da praia também foram encontradas no setor central.

A variação de volume subaéreo foi relativamente baixa, quando comparada a Praia dos Ingleses, por exemplo. Para esta variável o setor central da praia também foi o que apresentou os maiores valores.

A Figura 75 apresenta essas variáveis espacializadas.



**Figura 75. Espacialização das variáveis observacionais para a Praia Barra da Lagoa/Moçambique.**

Para esse arco praiial, percebe-se que o setor central se diferencia das extremidades, apresentando maior mobilidade e maior declividade. Esta alta mobilidade, caracterizando um ambiente dinâmico, torna-o de difícil ocupação e, assim, teoricamente menos vulnerável.

O cálculo do parâmetro ômega, segundo a fórmula original proposta por Wright e Short (1984), indicou a Praia Barra da

Lagoa/Moçambique como intermediária, ou seja, este parâmetro não detectou diferença na morfodinâmica das extremidades e do centro da praia (Tabela 31).

**Tabela 31. Valores do parâmetro ômega para a Praia Barra da Lagoa/Moçambique.**

Perfil	$\Omega = Hb/(W_s*T)$	Estado
BLM 1	1,91	Dissipativa
BLM 2	1,48	Dissipativa
BLM 3	1,09	Dissipativa
BLM 4	1,36	Dissipativa
BLM 5	3,39	Dissipativa

No entanto, com o método proposto por Klein (1997), os valores do parâmetro ômega encontrados foram diferentes e diferenciam o setor central da praia de suas extremidades (Tabela 32 e Figura 74).

**Tabela 32. Valores do parâmetro ômega calculado a partir da proposta de Klein (1997) para a Praia Barra da Lagoa / Moçambique.**

Perfil	$\Omega = \frac{0,0225}{\tan \beta^2}$	Estado Morfodinâmico
BLM 1	2,26	Intermediária
BLM 2	1,06	Intermediária
BLM 3	0,90	Reflectiva
BLM 4	0,75	Reflectiva
BLM 5	2,94	Intermediária

Desta forma, os perfis ao sul e extremo norte indicam praias intermediárias, enquanto os perfis do trecho central indicam uma praia reflectiva.

### 6.3.3. Praia da Armação

Os dois perfis na extremidade sul da praia apresentaram areia fina, o perfil 3 apresentou areia média, o 4 areia muito grossa e os 4 outros perfis na parte centro-norte da praia apresentaram areia grossa. Os graus de selecionamento do grão variaram de “muito bem selecionado” a “moderadamente selecionado” ao longo do arco praiial.

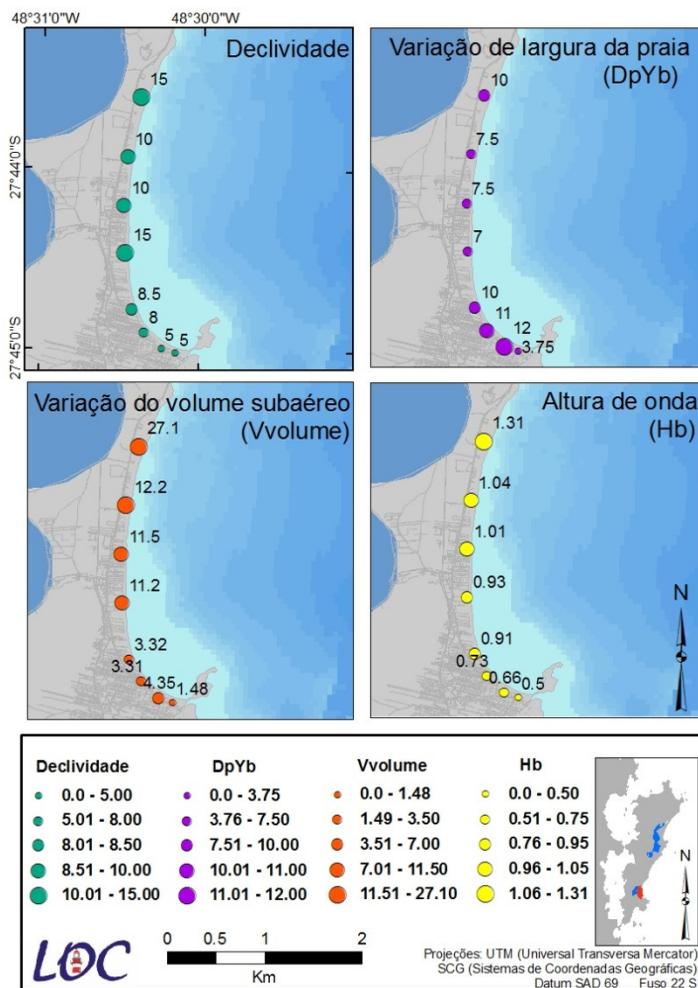
As alturas de onda apresentaram valores crescentes de sul para norte, 0,5 m na extremidade sul chegando próximo de 1,3 m na norte. Os períodos de onda, no entanto, não apresentaram nenhuma tendência espacial, ficando variavelmente entre os valores 11 e 12 s para a praia toda.

A declividade aumenta no sentido sul para norte, ou seja, foi menor no sul com valores de  $5^\circ$ , na parte central atingiu valores próximos a  $8.5^\circ$  e os quatro perfis da parte centro-norte apresentam os valores mais altos  $10^\circ$  e  $15^\circ$ .

O perfil no extremo sul da praia apresentou a menor variação de largura de praia, na parte centro-sul (perfis 2, 3 e 4) as variações foram as mais altas, mas, se mantendo altas na parte centro-norte (perfis 5, 6, 7 e 8).

A variação do volume subaéreo da praia cresceu significativamente do sul para o norte na Praia da Armação. A Figura 76 apresenta a espacialização dessas variáveis ao longo da praia.

Observou-se, portanto, que esta praia pode ser dividida em dois setores, um ao sul, com menores declividades, menores alturas de onda e menores variação de volume subaéreo, e um ao norte com maiores alturas de onda, maiores declividades, maior variação do volume subaéreo e variação da largura de praia também relativamente alta; mostrando-se o setor mais dinâmico desta praia.



**Figura 76. Espacialização das variáveis observacionais para a Praia da Armação.**

O estado morfodinâmico da parte sul da Praia da Armação segundo o parâmetro  $\omega$  (calculado pela fórmula original de Wright e Short, 1984) é intermediário, assim como sua extremidade norte. O trecho central da praial (perfis 4 a 7) foi classificado como reflectiva. (Tabela 33).

**Tabela 33. Valores do parâmetro ômega para a Praia da Armação.**

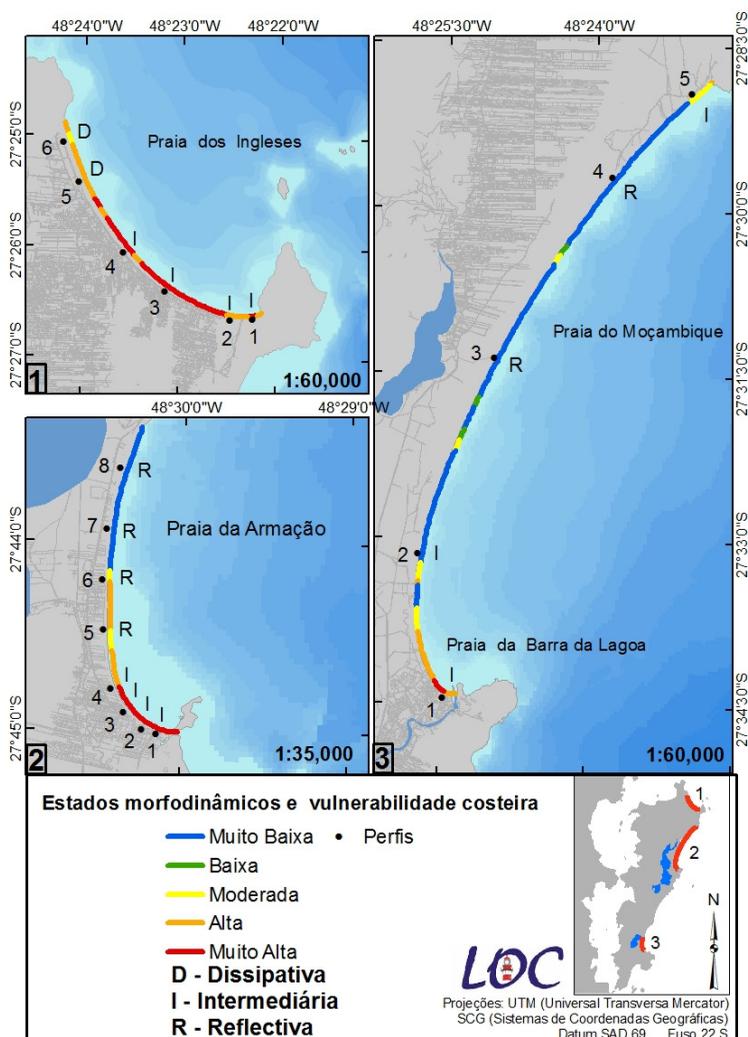
Perfil	$\Omega = Hb/(Ws*T)$	Estado
Armação 1	2,96	Intermediária
Armação 2	3,72	Intermediária
Armação 3	1,55	Intermediária
Armação 4	0,58	Dissipativa
Armação 5	0,90	Dissipativa
Armação 6	0,85	Reflectiva
Armação 7	0,87	Reflectiva
Armação 8	1,08	Intermediária

Para esta praia, os parâmetros ômega calculados pelos dois métodos concordaram (Tabela 34), dividindo-a em dois setores um no trecho centro sul de estado intermediário e outro no trecho centro norte de estado reflectivo. Figura 74.

**Tabela 34. Valores do parâmetro ômega calculado a partir da proposta de Klein (1997) para a Praia da Armação.**

Perfil	$\Omega = \frac{0,0225}{\tan \beta^2}$	Estado Morfodinâmico
Armação 1	2,93	Intermediária
Armação 2	2,93	Intermediária
Armação 3	1,13	Intermediária
Armação 4	1,01	Intermediária
Armação 5	0,31	Reflectiva
Armação 6	0,72	Reflectiva
Armação 7	0,72	Reflectiva
Armação 8	0,31	Reflectiva

Apesar das análises terem caráter principalmente descritivo, buscou-se identificar, visualmente, alguma relação entre o tipo morfodinâmico da praia e seu grau de vulnerabilidade. Figura 77.



**Figura 77. Estado morfodinâmico (calculado pela fórmula proposta por Klein, 1997) e grau de vulnerabilidade obtido pelo CVI proposto.**

Nota-se que, em geral, segmentos de vulnerabilidade muito alta coincidem com trechos de praia intermediária (sul da Armação, sul da Barra da Lagoa e centro da Praia dos Ingleses). Isto não é verificado, apenas, no trecho sul desta última praia mencionada. Trechos de maior

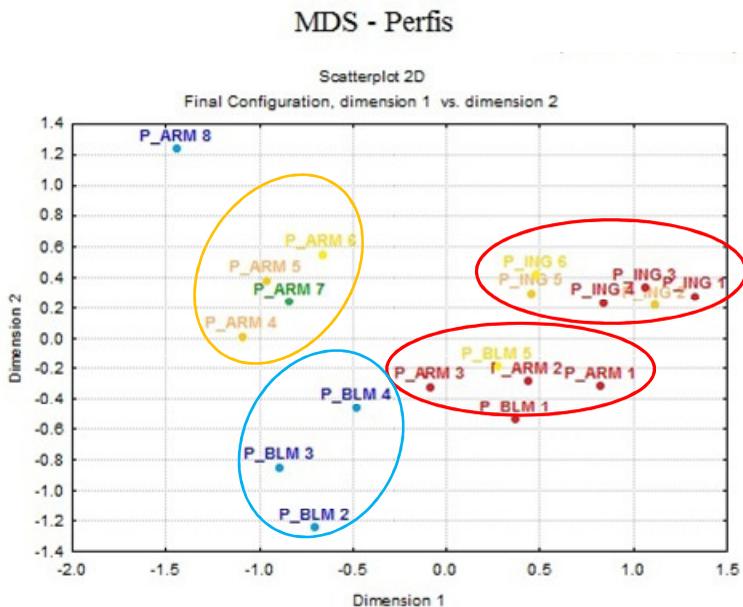
exposição e mobilidade da Armação e da Praia do Moçambique estão associados a praias reflectivas e, em geral, a menores vulnerabilidades.

A Figura 77 sugere que possa existir alguma relação entre o estado morfodinâmica e o grau de vulnerabilidade, não sendo entretanto clara essa associação.

#### **6.3.4. Análises de comparação de classes - MDS**

O MDS aplicado aos dados morfodinâmicos dos perfis amostrados apresentou alguns agrupamentos que, de forma geral, coincidem com as classes de vulnerabilidade propostas no CVI (Figura 78). Dois grupos foram encontrados contendo predominantemente os perfis identificados como de maiores vulnerabilidades (circundados de vermelho). Outro agrupamento pode ser identificado com os perfis 4, 5, 6 e 7 da Praia da Armação, no entanto, agrupa pontos das classes baixa, moderada e alta. Isto poderia indicar que as classes moderada e alta não estão com seus limites muito adequados e que talvez não exista classe baixa. Os perfis BLM 2, 3 e 4 formaram um quarto grupo, o da classe muito baixa (em azul) e o ARM 8 apresentou características que não permitiram o seu agrupamento com os outros pontos

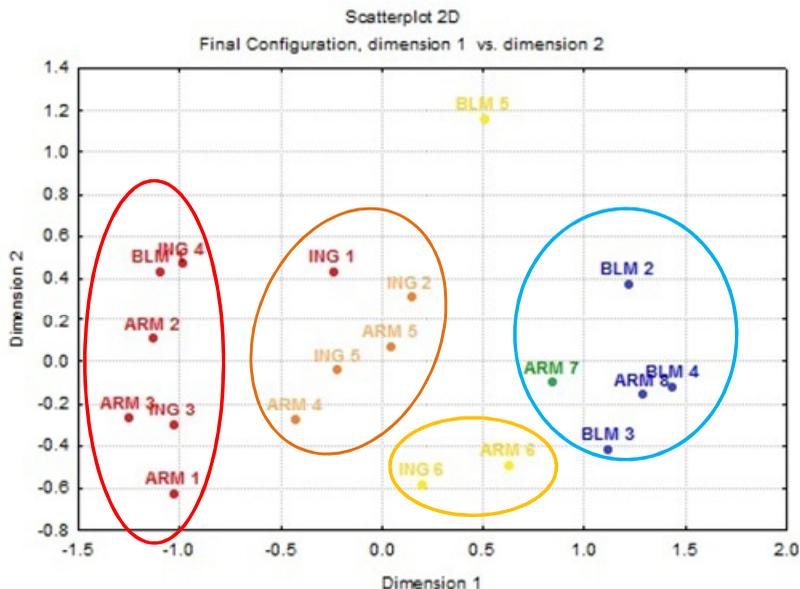
Lembrando que a proximidade entre os objetos no gráfico de resultados do MDS indica similaridade entre os dados, pode-se concluir que existiriam quatro grupos indicando pontos das praias em estudo com comportamento parecido quanto a esses dados morfodinâmicos coletados e que dentro da classe de vulnerabilidade muito alta adotada neste trabalho, pode haver dois tipos de comportamento morfodinâmico.



**Figura 78. Resultado MDS para os dados dos perfis coletados (OLIVEIRA, 2009). As classes de vulnerabilidade estão representadas nas cores: azul = muito baixa, verde = baixa, amarelo = moderada, laranja = alta e vermelho = muito alta.**

O MDS aplicado em dados obtidos da avaliação de vulnerabilidade proposta no CVI gerou agrupamentos mais visíveis e que corresponderam às classes propostas. Na Figura 79 pode-se identificar pontos das praias de vulnerabilidade muito alta agrupados à esquerda (vermelho), ao meio um grupo formado por pontos das praias da Armação e Ingleses de vulnerabilidade alta (laranja), outro grupo a direita composto por pontos de vulnerabilidade muito baixa (azul) e um último e pequeno grupo formado por um perfil da Praia dos Ingleses e um da Armação de vulnerabilidade moderada (amarelo).

## Resultados MDS - Variáveis CVI

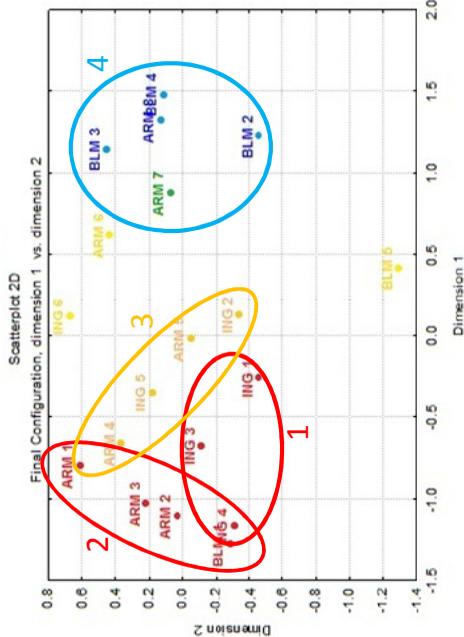


**Figura 79. Resultado MDS para os dados obtidos da avaliação de vulnerabilidade do CVI proposto. As classes de vulnerabilidade estão representadas nas cores: azul = muito baixa, verde = baixa, amarelo = moderada, laranja = alta e vermelho = muito alta.**

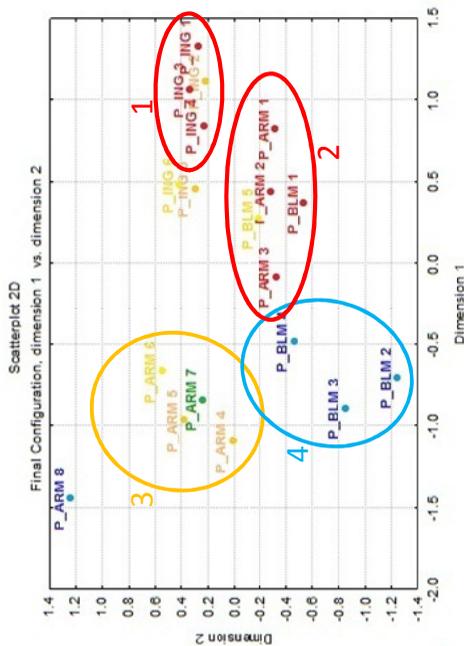
Comparando-se as Figura 78 e Figura 79, algumas concordâncias podem ser percebidas, uma delas refere-se ao grupo formado pelos pontos de vulnerabilidade muito alta, que apesar de estar dividido no primeiro gráfico, pode ser identificado em ambos. Outra, menos evidente, é o agrupamento dos pontos de vulnerabilidade muito baixa (BLM 2, BLM 3, BLM 4). Os pontos ARM 4 e ARM 5, de vulnerabilidade alta, também se mantiveram agrupados.

As diferenças de agrupamento nestes gráficos podem ser devido à variável relativa à população em risco, diferenciando a suscetibilidade e vulnerabilidade costeiras. Retirando esta variável da aplicação do MDS obteve-se um novo rearranjo de casos apresentado na Figura 80.

### Resultados MDS - Variáveis CVI Susceptibilidade\*



### MDS - Perfis



\* Não considerada a variável população em risco no MDS.

Figura 80. Comparação entre resultados da técnica estatística MDS para dados morfodinâmicos coletados e variáveis de entrada no CVI, excluindo-se a variável relativa à população em risco.

Observando a Figura 80, nota-se que os pontos de vulnerabilidade alta e muito alta, que apareceram separados no gráfico referente aos dados coletados (gráfico da direita) passam a formar apenas um grupo nos resultados do MDS realizado com as variáveis de entrada no CVI, excluída a população em risco (grupos em vermelho e laranja numerados 1, 2 e 3 do gráfico da esquerda). Isto pode indicar que as quatro variáveis de entrada no CVI relativas ao ambiente costeiro (tipo de *backshore* (retropraia), altitude do *backshore* (retropraia), variação da linha de costa e exposição às ondas) não conseguem identificar pequenas diferenças entre os pontos das praias em estudo quanto à morfodinâmica.

Por fim, com a análise do MDS realizada para todos os segmentos finais do índice proposto pôde-se concluir que há coerência na definição das classes de vulnerabilidade, pois pôde-se identificar com facilidade, no gráfico, os agrupamentos de cada uma delas, da muito baixa (circundado em azul), baixa/moderada (verde), alta (laranja) e muito alta (vermelho) (Figura 81). Tais classes poderiam, todavia, ser diminuídas para apenas quatro sem muita perda de informação, unindo-se as classes baixa e a moderada.

## Resultados MDS - Variáveis CVI (segmentos finais)

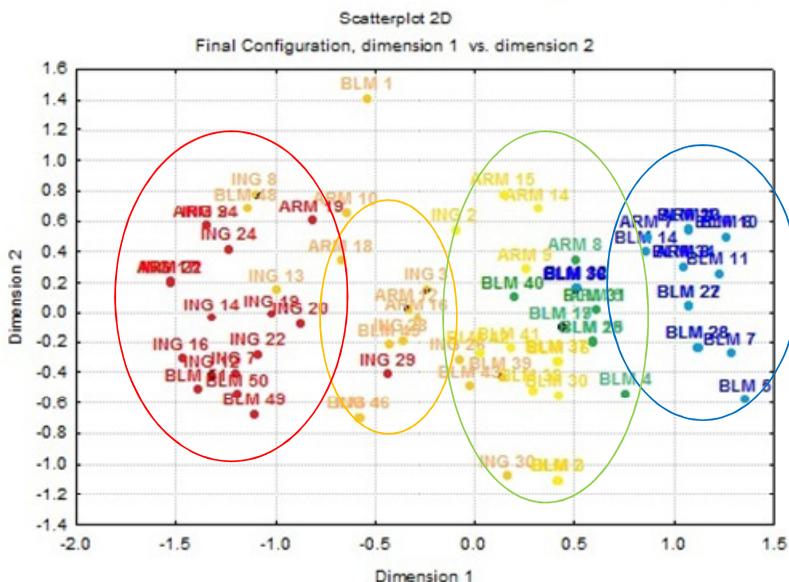


Figura 81. Resultado do MDS aplicado para segmentos finais do índice proposto. As classes de vulnerabilidade estão representadas pelas cores: muito baixa = azul, baixa = verde, moderada = amarelo, alta = laranja, muito alta = vermelho.



## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi apresentada uma alternativa metodológica para a avaliação da vulnerabilidade costeira. O método de cálculo do índice de vulnerabilidade costeira sugerido foi baseado na proposta de Gornitz (1991), porém não é composto pelas mesmas variáveis de entrada, tendo estas sido adequadas à escala local. Esta escala de trabalho permite visualizar os diferentes graus de vulnerabilidade dos setores de uma praia, sendo relevante para o planejamento do desenvolvimento dos municípios na zona costeira.

Além disso, esta pesquisa propõe algumas alternativas metodológicas ou ideias para a obtenção e mapeamento de fatores (variáveis) relevantes e necessários em estudos neste tema.

O índice de avaliação de vulnerabilidade proposto apresenta alguma subjetividade especialmente devido à categorização das variáveis de entrada. No entanto, este índice permite a integração de dados de forma eficiente e prática, vantagem para o planejamento ambiental/urbano. Além disso, possibilita a atribuição de pesos diferentes às variáveis.

Neste sentido, sugere-se que para trabalhos futuros relacionados à vulnerabilidade costeira sejam utilizadas fórmulas que agreguem diferentes pesos às variáveis, como foi também sugerido por Gornitz (1992). Assim, pode-se avaliar a importância de cada variável e também considerar as características locais.

Outra sugestão quanto ao índice é relacionada à divisão em classes dos valores finais de vulnerabilidade obtidos pela fórmula do CVI. Como esta divisão é baseada em percentil, o que relativiza os resultados dentro da amostra estudada, sugere-se que a avaliação de vulnerabilidade englobe locais com indicação de vulnerabilidade alta e de vulnerabilidade baixa.

Quanto às variáveis de entrada, pode-se concluir que a variável “Tipo de *backshore*” é de fácil obtenção, dependendo apenas de imagens de alta resolução atuais da área em estudo.

A variável “Altitude do *backshore*” requer dados altimétricos (de alta resolução métrica) e as análises realizadas no Sistema de Informação Geográfica são relativamente simples. No entanto, sugere-se que esta variável seja repensada no intuito de considerar a altitude e a distância da linha de costa de forma contínua e conjunta, talvez inserindo a declividade do *backshore* (retropraia) na sua obtenção.

A variável “Variação da linha de costa” também é de fácil obtenção, considerando que o aplicativo utilizado (DSAS) realiza os

cálculos das taxas de deslocamento da linha de costa ao longo do tempo. No entanto, esta variável requer dados apropriados e organizados: fotografias aéreas de diferentes datas (que cubram um período suficiente) adequadamente georreferenciadas, processo esse lento e trabalhoso.

A variável “Exposição às ondas” se analisada isoladamente apresenta uma indicação primária da vulnerabilidade local, pois considera a exposição ao perigo (marés meteorológicas associadas a ondas de tempestade) e à ocupação urbana. Esta variável também depende de dados especializados, no caso, séries de direção de vento e do clima de ondas. Sabe-se da dificuldade em obter séries disponíveis (e suficientemente longas) de dados relativos ao clima de ondas na costa brasileira, assim, na ausência delas, sugere-se a obtenção da pista de vento (aplicação do *Wind Fetch Model*), que indica a exposição dos segmentos de costa às ondulações, fornecendo uma avaliação primária.

A variável “População em risco” permitiu a realização de um diagnóstico da situação das praias estudadas quanto à ocupação urbana. Os trabalhos de Mussi (2011) e Lins-de-Barros (2010) também consideraram dados relativos à população em análises de vulnerabilidade utilizando setores censitários. No entanto, em diversas ocasiões, a área do setor excede significativamente a área costeira, superestimando a população em risco. A abordagem proposta neste trabalho, que integra dados dos setores censitários e a contabilização de construções na área em perigo, tornou mais precisa a avaliação da vulnerabilidade em cada setor de praia. Vale lembrar que a indicação da população em risco é apenas uma etapa inicial da avaliação, que deve considerar outros fatores sociais e econômicos que influenciam na vulnerabilidade da comunidade exposta.

O índice proposto foi aplicado para a avaliação da vulnerabilidade costeira das praias dos Ingleses, Barra da Lagoa/Moçambique e da Armação. Nesta avaliação, a Praia dos Ingleses foi a que apresentou condição mais grave, com aproximadamente 96% da sua linha de costa incluídas nas classes de vulnerabilidade alta e muito alta. A Praia da Armação também apresentou trechos críticos de vulnerabilidade, especialmente no setor sul, com 48% da linha de costa também nas classes alta e muito alta. No entanto, o setor centro-norte apresentou vulnerabilidade baixa (43% da sua linha de costa nas classes baixa e muito baixa), merecendo especial atenção no sentido de evitar o aumento da vulnerabilidade especialmente devido à ocupação e supressão das feições do *backshore* (retropraia).

A presença do Parque Estadual do Rio Vermelho no arco praiial Barra da Lagoa/Moçambique manteve aproximadamente 73% da sua linha de costa e *backshore* (retropraia) preservados. Este trecho apresentou vulnerabilidade baixa e muito baixa. Apenas o extremo sul dessa praia possui problemas quanto à vulnerabilidade, com 12% da extensão praiial nas classes alta e muito alta. Portanto, evidencia-se aqui a importância da criação desta unidade de conservação para a manutenção saudável da praia em questão.

Este trabalho obteve resultados que compartilham da conclusão do diagnóstico de erosão e progradação do litoral brasileiro (MMA, 2006). Considerando que a conclusão mais imediata do citado diagnóstico é, de maneira geral, a manutenção de uma faixa de não edificação para fins de proteção e preservação da paisagem costeira.

Realizou-se também uma comparação dos resultados obtidos através do CVI com dados morfodinâmicos amostrados *in situ* (OLIVEIRA, 2009), visando avaliar a divisões de classes de vulnerabilidade obtidas. Verificou-se que os resultados obtidos do CVI são coerentes, pois, em geral, os pontos semelhantes se agruparam nas duas análises. Todavia, os resultados destas comparações sugeriram que as variáveis do CVI relativas ao ambiente costeiro não conseguem distinguir tantas classes quanto as formadas pelos arranjos dos dados morfodinâmicos..

Por fim, espera-se que este trabalho possa contribuir com o conhecimento relativo a avaliações de vulnerabilidade costeira e gere subsídios para a gestão da costa, pois ao indicar áreas de maior ou menor vulnerabilidade auxilia o tomador de decisão a direcionar sua atenção e esforços no intuito de diminuir a vulnerabilidade, protegendo a população e seus bens.



## 8. REFERÊNCIAS

ABREU DE CASTILHOS, J. Morphodynamic and evolutive study of the Armação beach, Santa Catarina island, Brazil. In: Colóquio Franco-Brasileiro – Manejo Costeiro da Ilha de Santa Catarina. Florianópolis. Atas. UFSC, Florianópolis, 1997. p. 227- 228.

ABUODHA, P. A. e WOODROFFE, C. D. **Assessing vulnerability of coasts to climate change**: A review of approaches and their application to the Australian coast. In. Woodroffe CD, Bruce, E, Puotinen, M and Furness RA (Eds), GIS for the Coastal Zone: A selection of Papers from CoastGIS 2006, Australian National Centre for Ocean Resources and Security University of Wollongong, Wollongong, Australia, 458p. Disponível em: <http://ro.uow.edu.au/scipapers/161>, 2007.

ABUODHA, P. A.O. **Application and evaluation of shoreline segmentation mapping approaches to assessing response to climate change on the Illawarra Coast**. Australia. School of Earth and Environmental Sciences, University of Wollongong, 2009. Disponível em: <http://ro.uow.edu.au/theses/852>. Acesso em 14 maio 2011.

ABUODHA, P.; WOODROFFE, C. D. **Coastal Vulnerability and Adaptation Assessment**. Compendium of Coastal Resources. Tools & Methodologies. 2008.

ADGER, W.N.; BROOKS, N.; BENTHAM, G.; AGNEW, M.; ERIKSEN, S. New indicators of vulnerability and adaptive capacity. Tyndall Centre for Climate Change Research (Technical Report 7: Final Project Report), 122p. 2004. Disponível em: [http://www.tyndall.ac.uk/publications/tech\\_reports/tech\\_reports.shtml](http://www.tyndall.ac.uk/publications/tech_reports/tech_reports.shtml). Acessado em: maio de 2010.

ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. **Geomorphology**, v. 47, p. 107- 124, 2002.

ANEAS DE CASTRO, S.D. Riesgos y Peligros: una visión desde la geografía. Scripta Nova: **Revista Eletrónica de Geografía y Ciencias Sociales**, Barcelona. n.60. 2000.

ANPC. Autoridade Nacional de Proteção Civil. Riscos Costeiros –

Estratégias de prevenção, mitigação e protecção, no âmbito do planeamento de emergência e do ordenamento do território. Cadernos Técnicos Prociv 15. Protecção Civil de Setúbal. Serviço Municipal de protecção civil e bombeiros. 2010. Disponível em: [http://www.proteccaocivil.pt/Documents/CTP15\\_www.pdf](http://www.proteccaocivil.pt/Documents/CTP15_www.pdf).

ARAÚJO, C.E.S.; FRANCO, D.; MELO FILHO E. PIMENTA F. **Wave regime characteristics of southern Brazilian coast.** In: International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, COPEDEC, 6, Colombo, Sri Lanka, Paper No.97, 15p. 2003.

ARAUJO, R. S. ; SILVA, G. V. da ; FREITAS, D. ; KLEIN, A. H. F. . **Georreferenciamento de Fotografias Aéreas e Análise da Variação de Linha de Costa.** In: Alcántara-Carrio, J.; Correa, I.D.; Isla, F.; Alvarado, M.; Klein, A.H.F. y Cabrera, J.A.. (Org.). Metodologias en Teledetección Aplicada a la Prevención de Amenazas Naturales en el Litoral. Valencia, p. 2-15. 2008.

BALANÇO FINANCEIRO. Prefeitura de Florianópolis. Exercício 2011. Disponível em: [http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/documentos/pdf/23\\_02\\_2012\\_11.21.27.ce834050b906eb826b579a195505ea71.pdf](http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/documentos/pdf/23_02_2012_11.21.27.ce834050b906eb826b579a195505ea71.pdf). Acesso em fev 2011.

BENEDET, L.; FINKL, C.W.; KLEIN, A.H.F. Classification of Florida Atlantic Beaches: Sediment Variation, Morphodynamics and Coastal Hazards. **Journal of Coastal Research**, SI 39 (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium), pg – pg. Itajaí, SC Brazil. ISSN 0749-0208. 2003.

BEU, C. M. L. e AMBRIZZI, T. Variabilidade interanual e intersazonal da frequência de ciclones no Hemisfério Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.1, 44-55, 2006.

BIRD, E. Coastal geomorphology: an introduction. John Wiley and Sons. ISBN 0470517301. 2008.

BOAK, E.H. e TURNER, I.L. 2005. Shoreline Definition and Detection: A Review. **Journal of Coastal Research**, v.21, n. 4, p. 688-703. 2005.

BOESCH, D.F.; FIELD, J. C.; SCAVIA, D. (Eds.) **The Potential Consequences of Climate Variability and Change on Coastal Areas**

**and Marine Resources:** Report of the Coastal Areas and Marine Resources Sector Team, U.S. National Assessment of the Potential Consequences of Climate Variability and Change, U.S. Global Change Research Program. NOAA Coastal Ocean Program Decision Analysis Series No. 21. NOAA Coastal Ocean Program, Silver Spring, MD. 163pp. 2000.

BORG, I. e GROENEN, P. J. F. *Modern Multidimensional Scaling: Theory and Applications*. Second Edition. New York, NY: Springer. 2005.

BRUUN, P. Sea-level rise as a cause of shore erosion. Proceedings of the American Society of Civil Engineers. **Journal of the Waterways and Harbors Division** 88, 117–130. 1962.

BURROUGH, P. A. **Principles of Geographical Information Systems for land resources assessment**. Clarendon Press, Oxford, 194p. 1986.

BUSH, D.M.; NEAL, W.J.; YONG, R.S.; PILKEY, O.H. Utilization of Geoindicators for Rapid Assessment of Coastal- Hazard Risk and Mitigation. **Ocean & Coastal Management**, 42, 647-670. 1999.

CAMARGO, R.; HARARI, J.; DIAS, P. L. S. Storm surge modeling and forecast for the South-Western Atlantic Ocean. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.72, n. 2, p. 289-289, 2004.

CARDONA, O. D. **The Need for Rethinking the Concepts of Vulnerability and Risk from a Holistic Perspective:** A Necessary Review and Criticism for Effective Risk Management. Chapter 3. In: *Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People*, G. Bankoff, G. Frerks, D. Hilhorst (Ed), Earthscan Publishers, Londres. 2003.

CARTER, R.W.G. **Coastal Environments:** An introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines. London: Academic Press, (reimpressão 1993), 617p. 1988

CARTER, R.W.G. **The impact on Ireland of changes in mean sea level;** Programme of expert studies in climate change, No 2, Department of the Environment, Dublin, 128pp, 1990.

CASTRO, C.M. de; PEIXOTO, M. N. de O.; RIO, G. P. do. Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ. Vol. 28-2, p. 11-30, 2005.

CLARCK, J.R. **Coastal zone management handbook**. CRC Press, Boca Raton. Florida. 694 p.1996.

COI - IOC – Intergovernmental Oceanographic Commission. Hazard awareness and risk mitigation in integrated coastal area management. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Manuals and Guides No 50, ICAM Dossier No 5, 141p., Paris, França. 2010. Disponível em [http://www.loicz.org/imperia/md/content/loicz/stormsurges/sessione/3\\_b\\_arniere\\_etal.pdf](http://www.loicz.org/imperia/md/content/loicz/stormsurges/sessione/3_b_arniere_etal.pdf). Acesso em out 2011.

CRUZ, O. **Ilha de Santa Catarina e o continente próximo**. Um estudo de geomorfologia costeira. Editora da UFSC, Florianópolis. 280p. 1998.

CUTTER, S. L. Vulnerability to environmental hazards. **Human Geography**, 20, 4, p.529-539. 1996.

DEYLE, R. E.; FRENCH, S. P.; OLSHANSKY, R. B. e PATERSON, R. G. **Hazard Assessment: The Factual Basis for Planning and Mitigation**. In: BURBY, R.J. (ed.). *Cooperating with Nature. Confronting Natural Hazards with Land-Use Planning for Sustainable Communities*. Washington, D.C. Joseph Henry Press. 1998.

DOLAN, A.H. e WALKER, I. J. Understanding vulnerability of coastal communities to climate change related risks. **Journal of Coastal Research**, SI 39 (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium), pg – pg. Itajaí, SC – Brazil. 2003.

DOLAN, R. e DAVIS, R. E. An Intensity Scale for Atlantic Coast Northeast Storms. **Journal of Coastal Research**, v. 8, n.4, p. 840-853, 1992.

DOLAN, R., HAYDEN, B. HAYWOOD, J., A new photogrammetric method for determining shoreline erosion. *Coastal Eng.*, 2: 21--39. 1978.

EGLER, C. A. G. Risco Ambiental como Critério de Gestão do Território. *Território*, n.1, p. 31-41. 1996.

EISMA, D. **Climate change impact on coastal habitation**. Texel: Lewis Publishers, 260 p. 1995.

EMERSON, J. D.; STRENIO, J. **Boxplots and batch comparison**. In: Hoaglin, F. Mosteller and J. W. Tukey, eds. *Understanding robust and exploratory data analysis*. Wiley, New York. 1983.

FARACO, K. R. **Comportamento morfodinâmico e sedimentológico da praia dos Ingleses, Ilha de Santa Catarina, SC, durante o período de 1996 a 2001**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. 120p. 2003.

FERREIRA, O.; GARCIA, T.; MATIAS, A. TABORDA, DIAS, J.A. An integrated method for the determination of set-back lines for coastal erosion hazards on sandy shores. **Continental Shelf Research**, 26, p.1030–1044. 2006.

FGDC-STD (FEDERAL GEOGRAPHIC DATA COMMITTEE). **Geospatial Positioning Accuracy Standards** (part 3): National Standard for Spatial Data Accuracy. Washington, DC: Federal Geographic Data Committee. 25p. 1998.

FINLAYSON, D. Puget Sound Fetch: Seattle, Wash., University of Washington, School of Oceanography, 2005. Disponível em: <http://david.p.finlayson.googlepages.com/pugetsoundfetch>.

FLETCHERT, C.H.; MULLANCE, R. A.; RICHMOND, B. M. Beach Loss Along Armored Shorelines on Oahu, Hawaiian Islands. **Journal of Coastal Research**, vol. 13, n. 1, p.209-215. 1997.

FORBES, D.L.; TAYLOR, R.B.; SOLOMON, S.M.; CRAYMER, M., MANSON, G.K., DYKE, A.S. e HODGSON, D.A. **Crustal motion, climate change and coastal morphodynamics in the western Canadian Arctic**. International Conference on Arctic margins, Geological Survey of Canada (Atlantic), Dartmouth, Nova Scotia, Canada, Abstract, p. 3, 2003.

FORTUNATO, A. B.; CLÍMACO, M.; OLIVEIRA, F.; OLIVEIRA, A.; SANCHO, F.; FREIRE, P. Dinâmica Fisiográfica da Orla Costeira: Estudos de Reabilitação e Proteção. **Revista da Gestão Costeira Integrada** V.8(1). p.45-63. 2008.

FREITAS, D. ; KLEIN, A. H. F.; ARAÚJO, R. S. ; MENEZES, João Thadeu de . Quantificação de perigos costeiros e projeção de linhas de costa futuras para a enseada do Itapocorói - SC. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology* (Impresso), v. 14, p. 39-49, 2010.

GAN, M. A.; B. V., RAO, **Surface cyclogenesis over South America**. *Monthly Weather Review*, v.119, p.1293- 1302. 1991.

GENZ, A. S.; FLETCHER, C. H.; DUNN, R. A.; FRAZER, L. N.; ROONEY, J. J. The predictive accuracy of shoreline change rate methods and alongshore beach variation on Maui, Hawaii. *Journal of Coastal Research*, v. 23 1, p.87–105. 2007.

GOERL, R. F. **Estudo de inundações em Rio Negrinho – SC sob a ótica dos desastres naturais. Florianópolis**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Departamento de Geociências. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

GORNITZ, V. e WHITE, T. W. **A coastal hazards data base for the U.S. East Coast**. ORNL/CDIAC-45, NDP-043A. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee. 1992.

GORNITZ, V. Global coastal hazards from future sea level rise. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** (Global and Planetary Change Section), 89. Amsterdam. p. 379-398. 1991.

GORNITZ, V.M.; WHITE, T.W.; CUSHMAN, R.M. **Vulnerability of the US to future sea level rise. Coastal Zone**. '91. Proceedings of the 7th Symposium on Coastal and Ocean Management. American Society of Civil Engineers. pp. 1345-1359. 1991.

HEGDE, A.V. e REJU, V.R. Development of coastal vulnerability index for Mangalore coast, India. **Journal of Coastal Research**, 23(5), 1106–1111. West Palm Beach (Florida), 2007.

HERMANN, M. L. de P. **As principais conseqüências negativas provocadas pelas adversidades atmosféricas no estado de Santa Catarina**. In. HERMANN, M. L. de P. (org). Atlas de desastres naturais do estado de Santa Catarina. Florianópolis, p. 67-88. 2006.

HOLTHUIJSEN, L. H. **Waves in oceanic and coastal waters**. Cambridge: Cambridge University Press. 387p. 2007.

HORN FILHO, N. O.; KLEIN, A. H. F.; MENEZES, J. T. de; DIEHL, F. L.; ABREU, J. G. N. de; POLETTE, M.; SPERB, R. M.; SPERB, R. C. **Santa Catarina**. In: Erosão e progradação do litoral brasileiro. 2. ed. Brasília: , 23 p. 2006.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Agregados por setores censitários dos resultados de universo - 2010. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/defaulttab\\_agregado.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/defaulttab_agregado.shtm). Acesso em jan 2012.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Disponível em:< <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>>. Acesso em 13 out 2009.

ISDR-International Strategy For Disaster Reduction. **Living with Risk: A global review of disaster reduction initiatives**. Geneva: World Meteorological Organization and the Asian Disaster Reduction Center, 2004. Disponível em: < [http://www.unisdr.org/eng/about\\_isdr/bd-lwr-2004-eng.htm](http://www.unisdr.org/eng/about_isdr/bd-lwr-2004-eng.htm)>. Acesso em dez 2010.

KLEIN, A. H. F. **Um método indireto para a determinação do estágio morfodinâmico de praias oceânicas arenosas**. In: VI Congresso da ABEQUA, Curitiba,PR,Brasil. VI Congresso da ABEQUA, 1997. p. 76-78. 1997.

KRUEGER, J. **Análise dos parâmetros meteorológicos e oceanográficos dos eventos de ressaca, ocorridos entre janeiro de 2001 à dezembro de 2010, no Estado de Santa Catarina**. Monografia (Graduação em Oceanografia). Universidade do Vale do Itajaí, 77p. 2011.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2ª Edição. UNESP, Rio Claro, 2003.

LEAL, P. C. e HORN FILHO, N. O. A evolução urbana na Barra da Lagoa, ilha de Santa Catarina, nos últimos 40 anos e suas conseqüências sobre o ambiente praia. **Gravel**. Porto Alegre. p.86-92. 2004.

LINS-DE-BARROS, F. M. **Contribuição metodológica para análise local da vulnerabilidade costeira e riscos associados**: estudo de caso da Região dos Lagos, Rio de Janeiro. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 295p. 2010.

MACHADO, A. A.; CALLIARI, L. J.; MELO, E.; KLEIN, A. H. F. Historical assessment of extreme coastal sea state conditions in southern Brazil and their relation to erosion episodes. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**. N. 5(2). p.105-114. 2010.

MARCELINO, I. P. V. de O.; MARCELINO, E. V. **Vendaval**. In. HERMANN, M. L. de P. (org). Atlas de desastres naturais do estado de Santa Catarina. Florianópolis, p. 109-112. 2006.

MAZZER, A. M.; DILLENBURG, S. R.; SOUZA, C.R.G. Proposta de método para análise de vulnerabilidade à erosão costeira no sudeste da ilha de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**. 38(2). p. 278-294. 2008.

MAZZER, A. M.; DILLERNBURG, S. Variações temporais da linha de costa em praias arenosas dominadas por ondas do sudeste da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis, SC, Brasil). *Pesquisas em Geociências*, 36(1), p.117-135, ISSN 1518-2398. 2009.

McLAUGHLIN, S., McKENNA, J., COOPER, J.A.G. Socio-Economic Data in coastal Vulnerability Indices: Constraints and Opportunities. **Journal of Coastal Research**, Special Issue, Florida, v. 36 p. 487-497, 2002.

McLAUGHLIN, S.; McKENNA, J.; COOPER, J. A. G. Socio-economic data in coastal vulnerability indices: constraints and opportunities. **Journal of Coastal Research**. Special Issue 36, p.487-497. 2002.

MENEZES, J. T. de **Caracterização morfológica e sedimentar do segmento praiial Navegantes/Gravatá e sua ação sobre os esforços de recomposição da praia**. 114 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina. 2002.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Conferência geral sobre desastres: para prefeitos, dirigentes de instituições públicas e

privadas e líderes comunitários / Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. -- Brasília : MI., 2007.

MIOT DA SILVA, G. **Orientação da linha de costa e dinâmica dos sistemas praia e duna**: praia de Moçambique, Florianópolis, SC. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS. 293p. 2006.

MMA, MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. PROJETO ORLA: fundamentos para gestão integrada. Brasília: MMA/SQA; Brasília: MP/SPU, 78p. 2002.

MMA, MISTERIO DO MEIO AMBIENTE. Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil. Orgs. Zamboni, A; Nicolodi, J. L. 242p. ISBN 978-85-7738-112-8. Brasília. 2008.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Transferencia de Metodologías y Herramientas de Apoyo a la Gestión del Litoral Brasileño. Cooperação com Instituto de Hidráulica Ambiental (IH Cantabria). 2012.

MONTEIRO, C. A. F. **Clima e excepcionalismo**: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico. Florianópolis: Ed. da UFSC, 241p. 1991.

MONTEIRO, M. A. e FURTADO, S. M. de A. O clima do trecho Florianópolis – Porto Alegre: uma abordagem dinâmica. **Geosul**. n. 19/20, ano X, .177-133p. 1995.

MONTEIRO, M. A. e MENDONÇA, M. **Dinâmica atmosférica no estado de Santa Catarina**. In. HERMANN, M. L. de P. (org). Atlas de desastres naturais do estado de Santa Catarina. Florianópolis, p. 05-10. 2006.

MUEHE, D. Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de gerenciamento. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 2, n. 1, p. 35-44, 2001.

MUEHE, D. **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

MUSSI, C. S. **Avaliação da Sensibilidade Ambiental costeira e de risco à elevação média do nível dos oceanos e incidência de ondas de tempestade**: um estudo de caso para a Ilha de Santa Catarina, SC. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental). Universidade do Vale do Itajaí. 75p. 2011.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Facing Hazards and Disasters: Understanding Human Dimensions. Committee on Disaster Research in the Social Sciences**: Future Challenges and Opportunities, Washington, D. C.: The National Academies Press, 409 p. 2006.

NICOLODI, J. L. ; PETERMANN, R. M. . Vulnerability of the Brazilian Coastal Zone in its Environmental, Social, and Technological Aspects. **Journal of Coastal Research**, v. SI 64, p. 1372-1379, 2011.

NIELSEN, P.; HANSLOW, D. J.. Wave runup distributions on natural beaches. *Journal of Coastal Research*. v. 4 n. 7. p. 1139-1152. 1991.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. Rio de Janeiro, IBGE, 1989.

NOAA – National Ocean and Atmospheric Administration. Vulnerability assessment. 1999. Disponível em: <http://www.csc.noaa.gov/products/nchaz/htm/tut.htm>. Acesso em: 23 fev 2011.

OLIVEIRA, U. R. **Relações entre a morfodinâmica e a utilização em trechos da costa oceânica da Ilha de Santa Catarina, Sc, Brasil**. Tese (Doutorado em Geografia). Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2009.

PENDLETON, E. A.; WILLIAMS, S. J.; THIELER, E. R. Coastal Vulnerability Assessment of Assateague Island National Seashore (Asis) to Sea-Level Rise. U.S. Geological Survey Open-File Report 2004-1020, Electronic Book. 2004.

PILKEY, O. H.; WRIGHT, H. L. Seawalls versus beaches. **Journal of Coastal Research**, Special Issue 4, p.41-64. 1988.

PUGH, D. **Changing sea levels**. Effects of tides, weather and climate. Cambridge University Press. 267p. 2004.

REBOITA, M. S. **Ciclones extratropicais sobre o Atlântico Sul: Simulação climática e experimentos de sensibilidade.** Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 316p. 2008.

REBOITA, M. S., ROCHA, R. P. e AMBRIZZI, T. South Atlantic Ocean cyclogenesis climatology simulated by regional climate model (RegCM3). **Climate Dynamics**, 35, p.1331-1347. 2010.

RODRIGUES, M. L. G.; FRANCO, D.; SUGAHARA, S. Climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geofísica**. n.22 (2), p.135-151. 2004.

RUDORFF, F. de M.; BONETTI, J.; MORENO D. **Maré de Tempestade.** In: HERRMANN, M. L. de P. (Org.) Atlas de Desastres Naturais de Santa Catarina. 1º. ed. Florianópolis-SC: CopyLaser Gráfica Digital, v. 1. p. 117-120. 2006.

RUDORFF, F. M. **Geoindicadores e Análise Espacial na Avaliação de Suscetibilidade Costeira a Perigos Associados a Eventos Oceanográficos e Meteorológicos Extremos.** Dissertação (Mestrado em Geografia). Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2005.

RUDORFF, F. M.; BONETTI, J. 2010. Avaliação da suscetibilidade à erosão costeira de praias da Ilha de Santa Catarina com base em geoindicadores e técnicas de análise espacial de dados. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, vol. 14, p. 9-20.

RUDORFF, F. M.; MORENO, D. A.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; MOLLERI, G. S.; BONETTI, J. **Repercussões de um evento pluviométrico intenso associado à maré de tempestade e de sizígia na costa sul catarinense.** In: Simpósio Brasileiro de desastres naturais, 1., Florianópolis. Anais... Florianópolis: GEDN/UFSC, p.565-575. 2004.

SALGADO, M. P. G.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. **Comparação entre métodos para geração de modelos digitais de elevação a partir de dados cartográficos.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR),

Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 8880-8887. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0. 2011.

SEAP, **Planos Locais de Desenvolvimento da Maricultura - PLDM's** de Santa Catarina. Brasília, Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca da Presidência da República, p.313. 2008.

SHARPLES, C. Indicative Mapping of Tasmanian Coastal Vulnerability to Climate Change and Sea-Level Rise: Explanatory Report (Second Edition); Consultant Report to Department of Primary Industries & Water, Tasmania, 173p. 2006.

SHAW, J.; TAYLOR, R.B.; FORBER, D.L.; RUZ, M.H. e SOLOMON, S. Sensitivity of the coasts of Canada to sea-level rise. **Bulletin of the Geological Survey of Canada**, 505: 1-79, 1998.

SHORT, A. D. Wave power and beach states: a global model. Proc. 16th Int. Conf. Coastal Eng., Hamburg, pp. 1145-1162. 1978.

SILVA, C. G.; PATCHINEELAM, S. M.; BAPTISTA NETO, J. A.; PONZI, V. R. A. **Ambientes de Sedimentação Costeira e Processos Morfodinâmicos Atuantes na Linha de Costa**. Em: BAPTISTA NETO, J. A.; PONZI, V. R. A.; SICHEL, S. E. Introdução à Geologia Marinha. Rio de Janeiro: Interciência, pp. 175-218. 2004.

SILVA, G. V. da **Cota de inundação e recorrência para a Enseada do Itapocorói e Praia de Morro dos Conventos, Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado em Geociências). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 98p. 2012.

SMITH, K. **Environmental Hazards**. Assessing risks and reducing disaster. New York: Routledge, 310p. 2004.

SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K. The Coastal Erosion Risk Zoning and the São Paulo State Plan for Coastal Management. **Journal of Coastal Research**, SI 35 (Proceedings of the Brazilian Symposium on Sandy Beaches: Morphodynamics, Ecology, Uses, Hazards and Management), 530- 547. Itajaí, SC - Brazil, ISSN 0749-0208, 2003.

SOUZA, C.R.G.; SOUZA FILHO, P.W.M.; ESTEVES, L.S.; VITAL, H.; DILLEMBURG, S.R.; PATCHINEELAM, S.M.; ADDAD, J.E. Praias arenosas e erosão costeira. In: SOUZA, C.R.G.; SUGUIO, K.

OLIVEIRA, A.M.S.; OLIVEIRA, P.E. (Eds.). Quaternário no Brasil. Holos Editora, 130-152pp. 2005.

TESSLER, M. G. e GOYA, S. C. Processos costeiros condicionantes do litoral brasileiro. **Revista do Departamento de Geografia**, Universidade de São Paulo, São Paulo, v. 17, p. 11-23, 2005. Disponível em: [http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/RDG/RDG\\_17/Moyses\\_Gonsalez\\_Tessler.pdf](http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/RDG/RDG_17/Moyses_Gonsalez_Tessler.pdf)>. Acesso em: 17 out 2008.

THIELER, E.R., HIMMELSTOSS, E.A., ZICHICHI, J.L., e ERGUL, A. **Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0**—An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report, 2009. p.2008-1278. Disponível em: <http://pubs.usgs.gov/of/2008/1278/>.

TOLMAN, H. L., **User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.15**. NOAA / NWS / NCEP / OMB Technical Note **151**, 97 pp. 1997.

TRUCCOLO E. C. e FRANCO D. **Characterization and Prediction of the Meteorological Tides at São Francisco do Sul, SC**. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro, 2752–2757. 2000.

TUKEY, J. W.; IGLEWICZ, B.; HOAGLIN, D. C.; Performance of Some Resistant Rules for Outlier Labeling. **Journal of the American Statistical Association**, Vol. 81, No. 396, pp. 991-999. 1986.

UNDP. United Nations Development Programme. **Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development**. UNDP, 2004. Disponível em: <http://www.undp.org/bcpr>. Acesso em: 15 jan 2011.

WEISSE, R. e STORCH, H. V. Marine Climate and Climate Change. Storms, wind waves and storm surges. Springer. Praxis Publishing Ltd, Chichester, UK, 219p. 2010.

WHITE, G. F.; KATES, R. K. e BURTON, I. Knowing Better and Losing even more: the use of knowledge in hazards management. **Environmental Hazards**, n. 3, p.81-92. 2001.

WHITEHOUSE, G.; BURTON, J. R. **Water Hazards, Resources and Management for Disaster Prevention: A Review of the Asian Conditions.** In: Iidndr-Escap Regional Meeting for Asia: Risk Reduction & Society in the 21st Century. Bangkok. 1999. Disponível em: <[http://www.unescap.org/enrd/water\\_mineral/disaster/watdis2.htm#\\_To\\_c445864413](http://www.unescap.org/enrd/water_mineral/disaster/watdis2.htm#_To_c445864413)>. Acesso em: 12 out 2009.

WRIGHT, L. D., SHORT, A. D. Morphodynamic Variability of Surf Zones and Beaches: A Synthesis. **Marine Geology**, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, v. 56, p. 93-118, 1984.

WU, S.Y.; YARNAL, B. e FISHER, A., **Vulnerability of coastal communities to sea-level rise: A case study of Cape May County, New Jersey, USA.** *Climate Research*, 22(4), p.255-270. 2002.

## Apêndice I

Tabelas com as taxas de variação da linha de costa calculadas pelos métodos disponíveis no DSAS.

<b>Sigla</b>	<b>Legenda</b>
<b>EPR</b>	<i>End Point Rate</i>
<b>LRR</b>	<i>Linear Regression</i>
<b>WLR</b>	<i>Weighted Linear Regression</i>
<b>LMS</b>	<i>Least Median Square</i>
<b>WR2 e LR2</b>	Coeficiente de determinação para WLR e LRR respectivamente.
<b>WCI 95% e LCI 95%</b>	Incerteza da taxa de variação calculada com intervalo de confiança de 95% para WLR e LRR respectivamente.

<b>INGLESESES</b>								
<b>Métodos</b>	<b>EPR</b>	<b>WLR</b>	<b>WR2</b>	<b>WCI 95%</b>	<b>LRR</b>	<b>LR2</b>	<b>LCI 95%</b>	<b>LMS</b>
<b>Transecto</b>								
<b>1</b>	-0.62	-0.75	0.51	1.02	-0.72	0.62	0.78	-1.53
<b>2</b>	-0.26	-0.34	0.15	1.11	-0.27	0.10	1.09	-1.48
<b>3</b>	-0.22	-0.48	0.30	1.03	-0.32	0.14	1.11	-1.55
<b>4</b>	-0.20	-0.44	0.31	0.93	-0.33	0.18	0.97	-1.33
<b>5</b>	-0.38	-0.54	0.42	0.89	-0.46	0.38	0.82	-1.33
<b>6</b>	-0.37	-0.57	0.45	0.86	-0.46	0.36	0.85	-1.33
<b>7</b>	-0.51	-0.61	0.58	0.72	-0.60	0.71	0.53	-1.24
<b>8</b>	-0.67	-0.71	0.68	0.67	-0.69	0.68	0.66	-1.43
<b>9</b>	-0.46	-0.50	0.45	0.77	-0.45	0.49	0.64	-0.51
<b>10</b>	-0.41	-0.56	0.71	0.50	-0.48	0.65	0.48	-0.90
<b>11</b>	-0.43	-0.58	0.81	0.38	-0.53	0.78	0.39	-0.47
<b>12</b>	-0.40	-0.52	0.71	0.46	-0.48	0.73	0.41	-0.90
<b>13</b>	-0.38	-0.62	0.63	0.66	-0.48	0.51	0.65	-1.27
<b>14</b>	-0.27	-0.55	0.53	0.72	-0.37	0.36	0.68	-0.93
<b>15</b>	-0.20	-0.52	0.29	1.13	-0.25	0.10	1.05	-0.35
<b>16</b>	-0.30	-0.61	0.50	0.85	-0.40	0.34	0.77	-0.51
<b>17</b>	-0.32	-0.71	0.55	0.90	-0.47	0.47	0.70	-0.51
<b>18</b>	-0.41	-0.84	0.59	0.97	-0.57	0.56	0.71	-1.11
<b>19</b>	-0.40	-0.87	0.65	0.88	-0.62	0.55	0.78	-1.23
<b>20</b>	-0.61	-1.04	0.76	0.80	-0.81	0.77	0.61	-1.49
<b>21</b>	-0.60	-1.00	0.79	0.71	-0.81	0.78	0.60	-0.65
<b>22</b>	-0.57	-0.96	0.79	0.69	-0.76	0.77	0.58	-1.28
<b>23</b>	-0.62	-1.02	0.77	0.77	-0.84	0.72	0.72	-0.68
<b>24</b>	-0.74	-1.10	0.81	0.73	-0.93	0.77	0.70	-0.76
<b>25</b>	-0.69	-1.15	0.80	0.79	-0.96	0.79	0.68	-0.72
<b>26</b>	-0.87	-1.15	0.85	0.68	-1.02	0.89	0.50	-0.90
<b>27</b>	-0.59	-0.94	0.74	0.78	-0.77	0.72	0.66	-0.60

INGLESES								
Métodos	EPR	WLR	WR2	WCI 95%	LRR	LR2	LCI 95%	LMS
Transecto								
Médias:	-0.46	-0.73	0.60	0.79	-0.59	0.55	0.71	-1.00

BARRA DA LAGOA / MOÇAMBIQUE								
Métodos	EPR	WLR	WR2	WCI 95%	LRR	LR2	LCI 95%	LMS
Transecto								
1	-1.54	-1.64	0.19	4.66	LRR	LR2	1.14	-1.54
2	-0.53	-0.93	0.06	4.95	-1.80	0.83	1.39	-0.75
3	-0.16	-0.38	0.03	3.25	-0.90	0.45	0.92	-0.25
4	0.15	0.65	0.04	4.44	-0.42	0.28	1.06	0.04
5	0.03	0.62	0.09	2.67	-0.23	0.08	0.99	-0.70
6	0.10	0.79	0.21	2.13	-0.28	0.13	0.96	-0.05
7	0.07	0.90	0.09	3.91	-0.08	0.01	0.87	0.14
8	0.02	0.63	0.07	3.10	-0.03	0.00	0.73	0.05
9	-0.14	0.14	0.00	2.89	-0.07	0.02	0.65	-0.07
10	-0.29	0.13	0.00	2.80	-0.24	0.21	0.53	-0.21
11	-0.14	0.25	0.02	2.41	-0.28	0.35	0.65	0.49
12	-0.16	0.15	0.00	3.11	-0.14	0.08	0.71	0.00
13	-0.37	0.34	0.02	3.59	-0.23	0.17	0.72	-0.25
14	-0.47	0.22	0.01	2.75	-0.30	0.25	0.60	-0.49
15	-0.54	0.24	0.03	1.90	-0.34	0.38	0.73	-0.49
16	-0.47	0.57	0.08	2.71	-0.52	0.49	1.09	-0.44
17	-0.33	0.64	0.10	2.70	-0.48	0.27	0.88	-0.34
18	-0.89	-0.07	0.00	1.65	-0.34	0.22	0.98	-0.65
19	-1.32	-0.24	0.02	2.25	-0.81	0.57	1.30	0.29
20	-1.52	-0.59	0.18	1.74	-1.21	0.63	1.06	-0.43
21	-1.15	-0.54	0.32	1.11	-1.32	0.75	0.96	0.14
22	-1.04	-0.56	0.31	1.15	-0.98	0.67	0.88	-0.09
23	-1.02	-0.46	0.26	1.06	-0.92	0.68	1.00	0.17
24	-1.09	-0.62	0.46	0.94	-0.86	0.59	1.11	0.28
25	-1.00	-0.55	0.13	1.94	-0.90	0.56	1.14	0.18
26	-0.84	-0.58	0.16	1.83	-0.88	0.54	0.65	-0.78
27	-0.11	0.09	0.04	0.58	-0.72	0.70	0.41	0.38
28	-0.24	0.33	0.14	1.15	-0.04	0.02	0.67	0.67
29	-0.31	0.36	0.06	1.93	-0.02	0.00	0.74	-0.05
30	-0.01	0.45	0.22	1.17	0.00	0.00	0.52	0.05
31	0.02	0.52	0.29	1.13	0.16	0.16	0.64	0.75
32	-0.07	0.30	0.13	1.10	0.26	0.24	0.54	0.62
33	0.06	0.09	0.01	1.49	0.11	0.08	0.40	0.18

BARRA DA LAGOA / MOÇAMBIQUE								
Métodos	EPR	WLR	WR2	WCI 95%	LRR	LR2	LCI 95%	LMS
Transecto								
34	-0.41	-0.34	0.15	1.15	0.19	0.31	0.31	-0.41
35	-0.24	0.11	0.02	1.03	-0.34	0.70	0.51	-0.18
36	-0.02	0.06	0.01	0.70	-0.22	0.26	0.32	-0.07
37	-0.32	-0.36	0.28	0.81	-0.06	0.06	0.58	-0.29
38	-0.14	-0.51	0.19	1.47	-0.42	0.50	0.45	-0.16
39	0.16	-0.12	0.03	1.00	-0.25	0.37	0.63	0.02
40	-0.16	-0.33	0.07	1.65	-0.05	0.01	0.80	-1.04
41	-0.22	-0.37	0.08	1.75	-0.08	0.02	0.47	-0.23
42	-0.28	-0.59	0.07	2.94	-0.24	0.33	0.66	-0.34
43	-0.55	-0.98	0.21	2.66	-0.35	0.35	0.88	-0.47
44	-0.79	-1.00	0.19	2.85	-0.63	0.50	0.76	-0.76
45	-0.70	-1.15	0.33	2.26	-0.77	0.67	0.85	-1.42
46	-0.66	-0.91	0.42	1.47	-0.64	0.52	0.70	-1.38
47	-0.69	-0.78	0.34	1.50	-0.60	0.59	0.70	-1.15
48	-0.58	-0.58	0.18	1.71	-0.63	0.61	0.87	-0.51
49	-0.66	-0.49	0.37	0.89	-0.63	0.50	0.44	-0.47
50	-0.53	-1.19	0.46	1.78	-0.59	0.77	0.79	-1.38
51	-0.56	-1.06	0.67	1.04	-0.61	0.53	0.79	-1.38
52	-0.48	-0.83	0.39	1.43	-0.63	0.55	0.80	-1.43
53	-0.51	-1.10	0.62	1.20	-0.50	0.43	0.88	-1.59
54	-0.75	-1.44	0.50	1.99	-0.58	0.45	1.17	-1.73
55	-0.78	-1.79	0.57	2.18	-0.68	0.39	1.30	-2.26
56	-0.72	-1.68	0.59	1.95	-0.85	0.45	1.11	-1.66
57	-0.58	-1.68	0.51	2.29	-0.82	0.51	1.11	-1.48
58	-0.47	-1.15	0.52	1.54	-0.72	0.45	0.63	-0.58
59	-0.47	-1.02	0.42	1.67	-0.55	0.59	0.46	-0.40
60	-0.91	-0.99	0.67	0.97	-0.48	0.67	0.47	-0.62
61	-0.85	-0.95	0.65	0.96	-0.72	0.82	0.43	-0.58
62	-0.04	0.20	0.01	2.82	-0.67	0.83	0.91	0.03
Médias:	-0.47	-0.35	0.21	2.00	-0.47	0.40	0.78	-0.44

ARMAÇÃO								
Métodos	EPR	WLR	WR2	WCI 95%	LRR	LR2	LCI 95%	LMS
Transecto								
1	-0.04	0.96	0.12	3.61	-0.03	0.00	1.17	1.24
2	-0.06	0.78	0.12	2.92	0.00	0.00	1.01	0.93
3	-0.25	0.59	0.07	2.92	-0.17	0.09	0.74	-0.25
4	-0.18	0.40	0.08	1.83	-0.08	0.05	0.50	-0.25

ARMAÇÃO								
Métodos	EPR	WLR	WR2	WCI	LRR	LR2	LCI	LMS
Transecto				95%			95%	
<b>5</b>	-0.28	-0.16	0.24	0.41	-0.18	0.23	0.45	-0.28
<b>6</b>	-0.21	0.12	0.02	1.13	-0.13	0.15	0.43	-0.31
<b>7</b>	-0.32	-0.23	0.18	0.70	-0.34	0.77	0.26	-0.43
<b>8</b>	-0.86	-0.56	0.68	0.54	-0.75	0.92	0.31	-0.49
<b>9</b>	-0.65	-0.73	0.61	0.80	-0.58	0.93	0.23	-0.58
<b>10</b>	-0.54	-0.67	0.72	0.58	-0.56	0.87	0.30	-0.63
<b>11</b>	-0.41	0.08	0.01	1.36	-0.37	0.75	0.29	-0.42
<b>12</b>	-0.37	-0.69	0.30	1.47	-0.29	0.51	0.40	-0.37
<b>13</b>	-0.45	-0.32	0.27	0.72	-0.32	0.64	0.33	-0.07
<b>14</b>	-0.47	-0.25	0.23	0.63	-0.38	0.75	0.30	-0.36
<b>15</b>	-0.55	-0.70	0.33	1.38	-0.50	0.84	0.30	-0.55
<b>16</b>	-0.54	-0.71	0.38	1.26	-0.50	0.86	0.29	-0.55
<b>17</b>	-0.31	-0.56	0.62	0.61	-0.29	0.77	0.22	-0.31
<b>18</b>	-0.09	-0.55	0.38	0.98	-0.15	0.23	0.37	-0.23
<b>Médias</b>	-0.37	-0.18	0.30	1.33	-0.31	0.52	0.44	-0.22