



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS

GLACIANNE GONÇALVES DE OLIVEIRA MAIA

**VULNERABILIDADE E RISCOS NATURAIS A EVENTOS DE ALTA
ENERGIA NAS PRAIAS SEMI-URBANAS E NATURAIS DO LITORAL DE
AQUIRAZ, CEARÁ**

FORTALEZA

2014

GLACIANNE GONÇALVES DE OLIVEIRA MAIA

**VULNERABILIDADE E RISCOS NATURAIS A EVENTOS DE ALTA
ENERGIA NAS PRAIAS SEMI-URBANAS E NATURAIS DO LITORAL DE
AQUIRAZ, CEARÁ**

Tese apresentada ao curso de Ciências Marinhas Tropicais do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Marinhas. Área de Concentração: Manejo e Riscos em Ambientes Costeiros

Orientador (a): Profa. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro

FORTALEZA

2014

GLACIANNE GONÇALVES DE OLIVEIRA MAIA

**VULNERABILIDADE E RISCOS NATURAIS A EVENTOS DE ALTA
ENERGIA NAS PRAIAS SEMI-URBANAS E NATURAIS DO LITORAL DE
AQUIRAZ, CEARÁ**

Tese apresentada ao curso de Ciências Marinhas Tropicais do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Marinhas. Área de Concentração: Manejo e Riscos em Ambientes Costeiros.

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Jáder Onofre de Moraes
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Maria Ozilea Bezerra Meneses
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Elírio Ernestino Toldo Junior
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Prof. Dr. George Santander Sá Freire
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

À Deus, que me deu a vida e o espírito lutador, na busca pela concretização de todos os meus sonhos, enfrentando as dores e intempéries para chegar às alegrias.

Aos meus pais (Osimar e Salete), que a todo o instante estiveram ao meu lado, acreditando e apoiando nas minhas decisões. Que me educaram para a vida com dignidade e respeito ao meu semelhante e, hoje o que sou devo a eles.

Ao meu irmão (Thiago), que me apoiou nos trabalhos de campo e momentos difíceis pelo qual passei neste período de doutorado.

Às minhas tias (Socorro, Salene e Salez), mais três mães que ganhei de Deus. Por todo apoio, carinho, dedicação que tiveram para comigo desde pequenininha.

Aos meus avós (Antonio e Rita), que partiram há poucos meses, mas deixaram um sentimento de amor e dedicação em todos os meus passos.

Ao meu grande amor, esposo, amigo e companheiro Roberto, por todo apoio, carinho, companheirismo e paciência nas minhas ausências durante todo percurso acadêmico. Aprendi e aprendo muito contigo.

À minha sogra (Expedita), que tornou também uma mãe, orando sempre nas minhas saídas e vibrando pelas minhas conquistas.

À profa. Lidriana, por ter depositado sua confiança e acreditado que sairíamos vitoriosas em todas as etapas deste estudo. Pelos momentos de força e de aprendizado, nada mais, que dez anos estamos trabalhando juntas. Meus sinceros agradecimentos!

À profa. Ozilea, com o seu jeito doce e alegre de nos receber, ajudou-me em todas as etapas do doutorado, tirando dúvidas, respondendo aos e-mails, além do aprendizado transmitido durante as aulas e conversas.

Ao prof. Jáder, por todo o período que trabalhamos juntos. E hoje, agradeço pelo aprendizado que adquiri no laboratório da qual fui bolsista por quatro anos, sem desfazermos os laços da família LGCO.

Ao prof. Satander, pela atenção que teve para comigo nos momentos que precisei. Por receber-me sempre bem em seu laboratório, assim como, no apoio de material desde o mestrado.

Ao prof. Elirio, por sempre ter sido atencioso, respondendo prontamente aos meus e-mails. E, pelos poucos momentos em que esteve ministrando uma disciplina no LABOMAR, transmitiu motivação e amor pela pesquisa.

Aos profs. Davis Paula, Alexandre Medeiros e Ozilea Menezes, pela aceitação do pedido de participar da banca de qualificação, colaborando na finalização da tese.

Ao programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, por ter acreditado na minha capacidade como estudante e como pesquisadora.

À CAPES, pelo apoio financeiro na concessão da bolsa de auxílio, junto ao projeto de Transferência de Materiais Continente-Oceano sob a coordenação do Prof. Luiz Drude de Lacerda, da UFC.

Ao laboratório de Oceanografia Geológica (LOG), nas pessoas da Cida, Paulo, Gonzaga e Mônica, meus agradecimentos pela boa convivência e de receber-me bem nessa equipe, bem como, aos funcionários “Seu Chico”, Francisco e Wagner, que contribuíram nas etapas de laboratório.

À secretária Isabela Agadir, da pós-graduação, pela sua simpatia e presteza nas informações e dúvidas solucionadas.

Aos meus GRANDES colaboradores de laboratório e em campo, pois como sempre eu dizia: “vocês estão terminando o doutorado juntos comigo”. Muito Obrigada: Carlos Eduardo (Cadu), Kleber Melo, Rhayan Ramalho, Madson, foram a primeira remessa de bolsistas e voluntários sempre prontos a ajudar-me, na semana quanto nos fins de semana. A segunda remessa: Larissa Plutarco, Augusto Freitas e João Luiz (companheiros de jornada). Esses dedicaram parte do tempo à minha tese, sempre trazendo um sorriso no rosto, dando-me forças quando estava triste, além da maravilhosa amizade que criamos. Vocês (sete) foram e são importantíssimos para mim.

Aos amigos que participaram em campo e laboratório, mostrando serem amigos e companheiros: Mariana Navarro, Mariana Aquino, Renan Lima, Raquel Soares, Gustavo, Marisa Moura (maninha) e João Abreu. Também aos alunos de oceanografia: Iliana, Alcebiades, Barbosa Segundo, Giullian, Iury Simões, Bárbara Cipriano, Italo Gois, Ian Holanda.

Especialmente à minha amiga Mariana Navarro, que se mostrou uma verdadeira companheira, sempre comigo em todos os momentos, colaborando efetivamente na tese e em campo. Muito obrigada!

Ao Gleidson, também meu obrigada especial, pois se dedicou na confecção de mapas no pouco tempo que tinha, retornando sempre com atenção aos meus pedidos.

Aos colegas (amigos) de mestrado e doutorado: Elana Carolina, Renan Lima, Mônica Virna, Allyne Gama, Mario Godoi, Tiago, Renan Pinheiro, Maciel, Eduardo

Lacerda, André, Ana Flávia, Kátia, Liana, na aprendizagem em cada aula, na amizade cultivada e nas alegrias nos encontros. Como diziam: “A Glacianne é a doutoranda mais mestranda que conhecemos, pois praticamente só tem ela no doutorado na sala”. E, em especial, a Cecília Colares, pois mostrou também ser uma grande amiga, por ter uma palavra de incentivo e pela ajuda em campo quando mais precisei.

Á minha amiga Camila (Mila), pois por mais distantes fisicamente que estejamos sempre me dá bons conselhos e puxões de orelha, dando forças para eu continuar.

Aos professores do doutorado (LABOMAR): Cristina Rocha, Marcelo de Oliveira, Rozane Marins, Sandra Tédde, Vanda Claudino, Lidriana Pinheiro, Ozilea Menezes, pela aprendizagem e atenção para comigo. E aos professores do doutorado (USP): Moysés Tessler, Luis Américo e, em especial, ao prof. Eduardo Siegle, que me recebeu em seu laboratório, e proporcionou idas ao campo na pesquisa de doutorado do amigo (ex-colega LGCO), Paulo Henrique (PH).

Ao Adriano, um amigo e professor de matemática, que deu uma contribuição importante nos cálculos da minha pesquisa, bem como, da sua esposa profa. Eliana Moura, que sempre me recebeu com atenção em seu curso.

Essas foram as pessoas que trabalharam junto a mim, nesses quatro anos de doutorado, mas existem muitos outros amigos, colegas, alunos, professores e familiares que tiveram papel fundamental nesta etapa importante da minha vida.

O Meu Muito Obrigada!

Eu tentei 99 vezes e falhei, mas na centésima tentativa eu consegui, nunca desista de seus objetivos mesmo que eles pareçam impossíveis, a próxima tentativa pode ser a vitoriosa.

(Albert Einstein)

RESUMO

Os eventos de alta energia estão cada vez mais frequentes no Nordeste brasileiro. Desses, pode ser citado às ressacas do mar, entre dezembro e abril, provocando impactos diversos nas zonas praias. Portanto, o trabalho objetivou identificar e mapear zonas vulneráveis ao risco de erosão e impactos em estruturas urbanas e áreas de dunas e praia. A área localiza-se no município de Aquiraz, 25 km da capital, compreendendo as praias Prainha, Japão e Porto das Dunas. No Capítulo 02, caracterizou-se a área, abordando os aspectos: ocupação; geológicos - geomorfológicos; fisiográficos; climáticos e oceanográficos. No Capítulo 03, correspondeu à evolução da linha costeira nos últimos 56 anos utilizando o programa *DSAS*. Constatou-se que o litoral está em fase erosiva progressiva. Entre 1958 – 2014, a *AEPR* da Prainha variou de -0,02 a -5,15 m/ano, do Japão de -0,07 a -1,29 m/ano e do Porto das Dunas de -0,29 a -2,61 m/ano. No Capítulo 04, consistiu nos aspectos oceanográficos, destacando o *swell*. A metodologia abordou definições como *overwash*, *overtopping*, elevação do nível do mar e maré meteorológica. Em campo, quinzenalmente, mediram-se parâmetros oceanográficos, nas marés de sizígia e quadratura (setembro, 2011 a abril, 2012). As ondas tiveram um máximo e um mínimo de 2,3 e 1,1 metros em dezembro e fevereiro, e direção NNE-NE e ESE no primeiro e segundo semestres respectivamente. Nos Capítulos 05 e 06, analisaram a dinâmica sedimentar e topográfica com coletas na duna e faixa praial, em 11 pontos sazonais, e 11 pontos de alta frequência (Japão), submetendo-os à análise laboratorial elaborados em programas específicos. No período sazonal (2011), a granulometria variou de médias a grossas (barlamar e berma). Em 2012, areias médias (antepraia). Em alta frequência, a duna apresentou areias médias à grossas (sizígia) a areias médias a finas (quadratura). Na praia, variou de média a grossa (sizígia) a areia média a fina (quadratura). Dos perfis, 06 apresentaram erosão (01, 02, 05, 06, 07 e 10). No perfil longitudinal houve baixa transferência sedimentar, exceto nos Pontos 09 e 10. No balanço sedimentar (sazonal) houve erosão em maio e deposição em agosto. A taxa de transporte longitudinal destacou a Prainha com maiores valores (2011) e no Japão, foi maior em 2012. No Capítulo 07, tratou da classificação da vulnerabilidade e risco à erosão com retorno de 10, 25 e 50 anos. Mediante dados quanti-qualitativos, as praias variaram de vulnerabilidade média a alta, destacando a praia do Japão com maior índice, e quanto ao risco, a Prainha possui maior risco (-28,40; -71,10; -142,20 metros), seguida do Porto das Dunas (-18,86; -30,39; -60,67

metros) e Japão (-12,01; -30,00; - 60,0 metros). As praias com maior ocupação e urbanização foi a que apresentou maiores riscos, porém, a praia do Japão considerada natural ou de pouca ocupação, possui resultados bem próximos aos da praia do Porto das Dunas. Estas informações são úteis para a comunidade e ao governo, na tomada de decisões, nos planos de desenvolvimento e nos programas de usos da terra.

Palavras – Chave: Ressaca do mar; Geoindicadores; Erosão; litoral de Aquiraz

ABSTRACT

This work aimed to identify and map zones that are vulnerable to erosion hazards and impacts to urban structures as well as to beach and dune areas. The study site is located at the town of Aquiraz, distant 25 km from the capital, and includes the beaches of Prainha, Japão, and Porto das Dunas. In chapter 02, the study site was characterized, and the following aspects were analyzed: occupation, geology-geomorphology, physiographic, climatology and oceanography. Chapter 03 corresponds to the coastline evolution analysis for the past 56 years using the DSAS software. It was found that the coastline is going through a progressive erosion phase. In the years between 1958 – 2014, the AEPR of Prainha ranged from -0.02 to -5.15 m/year, in Japão the values ranged from -0.07 to -1.29 m/year and in Porto das Dunas, values for the AEPR ranged from -0.29 to -2.61 m/year. Chapter 04 analyses the oceanographic aspects with special emphasis on the swell waves. The methodology has covered topics such as wave over wash and overtopping, sea level height, and meteorological tides. In the field, wave height, period and direction were measured, during the spring and neap tide periods, from September 2011 to April 2012, every fortnight and the waves observed had a maximum and a minimum height of 2.3 and 1.1 meters, respectively, in the months of December and February. The wave directions were NNE-NE e ESE on the first and second semesters, respectively. Chapter 05 and 06 covers the sediment dynamics and topography. Sediment samples were collected at the dune and at the beach face in 11 spots along the three beaches and at the 11 spots of high wave frequency (Japão). Data from the beach profiles and the sediment samples were analyzed in the laboratory using specific computer software's. In the seasonal period, classification indicates beaches with medium and coarse granulometry for 2011 (up drift and berm), and medium granulometry sediments for 2012. In high frequency waves, the dune was made up of medium to coarse sands during spring tides and of medium to fine sands during neap tides. From the beach profiles created, 6 of them presented erosion (profiles 1, 2, 5, 7 and 10). In the seasonal profiles, sediment mobilization happened at the dune base and at the foreshore. In the longitudinal profile, there was a low sediment transfer, except for points 9 and 10. In the seasonal sediment balance, erosion was observed in May and sediment deposition was observed in August. The longitudinal sediment transport rate showed Prainha as having the highest values in 2011. In Japão, sediment transport was higher in 2012. In Porto das Dunas, significant sediment transport took place in May.

Chapter 07 focuses on the compilation of methods for classifying the coastline vulnerability and hazards to erosion for the next 10, 25 and 50 years. From quantitative and qualitative data analysis, it was found that the beaches studied have a medium to high vulnerability, and regarding the hazards, Prainha seems to be in higher risk (-28.40, -71.10, -142.20 meters) followed by Porto das Dunas (-18.86, -30.39, - 60.67 meters) and Japão (-12.01, -30.00, - 60.0 meters). All this information will be useful to the community and government for decision making, development plans and for land use programmers.

Keywords: Storm Surge, Geoindicators, Erosion, Aquiraz coastline.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	19
1.1 Hipótese	22
1.2 Objetivos.....	22
1.2.1Específicos	22
1.3Estado da Arte.....	23
1.4 Sinopse dos Eventos de Alta Energia no Litoral do Ceará.....	29
2.2 Aspectos Geológicos e Geomorfológicos.....	41
2.3 Aspectos Fisiográficos.....	44
2.3.1 Praia.....	45
2.3.2 Duna.....	48
2.4 Aspectos Climáticos	51
3 EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA DE AQUIRAZ E IMPACTOS ASSOCIADOS	55
3.1 Introdução.....	Erro! Indicador não definido.
3.2 Metodologia.....	57
3.2.1Critérios de Avaliação da Linha de Costa	58
3.2.2 Uso do Digital Shoreline Analysis System – DSAS 4.2	62
3.2.3 Cálculo da largura anual das praias e taxas de mobilidade.....	64
3.3 Resultados e Discussões	64
3.3.1 Setor 1- Margens Esquerda do Rio Catú - Prainha de Aquiraz.....	64
3.3.2 Setor 2 - Praia do Japão.....	69
3.3.3 Setor 3 - Praia Porto das Dunas.....	74
3.3.4 Setor 3 - Trecho Desembocadura do rio Pacoti - Praia da Cofeco	79
3.4 Conclusão	88

4 PROCESSOS ASSOCIADOS À ONDAS E MARÉS.....	88
4.1 Introdução	88
4.2 Metodologia	91
4.2.1 <i>Coleta de dados</i>	91
4.3 Resultados e Discussões	94
4.3.1 <i>Características das ondas</i>	94
4.4 Conclusões	112
5 CARACTERIZAÇÃO E DINÂMICA SAZONAL DOS SEDIMENTOS DO SISTEMA PRAIA-DUNA DO LITORAL DE AQUIRAZ	114
5.1 Introdução	114
5.2 Metodologia	117
5.2.1 <i>Amostras na faixa de praia e duna frontal</i>	117
5.3 Resultados e Discussões.....	120
5.3.1 <i>Caracterização do grão nas praias de Aquiraz</i>	120
5.3.2 <i>Evolução sedimentológica no período de ocorrência de swell</i>	124
6 RESPOSTA DOS EVENTOS DE RESSACA DO MAR NA MORFOLOGIA DO SISTEMA PRAIA-DUNA DE AQUIRAZ.....	132
6.1 Introdução.....	132
6.2 Metodologia	132
6.3 Resultados e Discussões	137
6.3.1 <i>Evolução do Sistema Praia-Duna</i>	137
6.4 Conclusões	145
7 VULNERABILIDADES E RISCOS NO LITORAL DE AQUIRAZ.....	147
7.1 Introdução	147
7.2 Metodologia	149
7.2.1 <i>Avaliação da Vulnerabilidade em Ambientes Costeiros Arenosos</i>	152
7.2.2 <i>Resposta da Praia ao Aumento do Nível do Mar</i>	158
7.3 Riscos Costeiros.....	161

7.4 Resultados.....	165
7.4.1 Vulnerabilidade a Erosão do litoral de Aquiraz	165
7.4.2 Analise de riscos e projeções.....	151
7.5 Conclusões.....	162
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	188
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	190

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 01 - Distribuição dos desastres naturais por tipo de fenômeno no Brasil (1948 - 2006).**
- Figura 02 - Relação do número de publicações internacionais e nacionais e o ano correspondente para o período (1970 – 2013).**
- Figura 03 - Paradigmas do estudo das praias aos eventos de alta energia.**
- Figura 04 - Exemplos de alguns eventos de noticiadas em jornal e trabalhos científicos nos últimos 10 anos.**
- Figura 05 - Maré equinocial e ondas *swell* na praia de Fortaleza.**
- Figura 06 - Registros de notícias de ressaca do mar de Fortaleza entre os anos de 1953 e 2010.**
- Figura 07 - Inundação do pontal arenoso na desembocadura do estuário do Rio Pacoti em abril de 2012.**
- Figura 08 - Ocupações de barracas e estruturas na pós-praia. A posição e o desenvolvimento da escarpa no limite da pós-praia indica a atuação e o alcance das ondas na Prainha de Aquiraz.**
- Figura 09 - Concentração de sedimentos mais grossos na pós-praia e formações de escarpas na praia do Japão.**
- Figura 10 - A densa ocupação da praia do Porto das Dunas e alcance das ondas próximas às estruturas durante a maré cheia.**
- Figura 11 - Mapa de localização da área.**
- Figura 12 - Afloramento da Formação Barreira na Prainha de Aquiraz.**
- Figura 13 - Presença de *beach rocks* e afloramentos na desembocadura do rio Pacoti.**
- Figura 14 - Terminologia usada para designação das partes constituintes das zonas costeiras.**
- Figuras 15 e 16 - Praias do setor Oeste de Aquiraz.**
- Figura 17 - Modelo evolutivo das dunas em cinco estágios.**
- Figuras 18 e 19 – Na sequencia duna frontal na praia do Japão e duna dômina na praia do Porto das Dunas.**
- Figura 20 - Distribuição da precipitação e temperatura média**
- Figura 21 - Características das fotografias aéreas e imagens de satélite.**
- Figura 22 - Série de fotografias e imagens de satélite destacando a linha de costa como principal critério de avaliação da linha de costa em Aquiraz.**
- Figura 23 - Representação da área por setores na avaliação da linha de costa.**
- Figura 24 - Transectos obtidos pelo DSAS para a evolução da linha de costa.**
- Figura 25 - Variações na linha de costa na praia da Prainha nos transectos para os períodos (1958-2014), (1975-2014), (1988-2014), (1999-2014), (2004-2014), (2009-2014), (2012-2014), (2013-2014) obtidas pelas médias (EPRs). Em destaque os transectos que correspondem aos pontos de monitoramento.**
- Figura 26 - Variações na linha de costa na praia da Prainha nos transectos para os períodos (1958-2014), (1975-2014), (1988-2014), (1999-2014), (2004-2014), (2009-2014), (2012-2014), (2013-2014) obtidas pelas médias (EPRs). Em destaque os transectos que correspondem aos pontos de monitoramento.**
- Figura 27 - Bacia hidrográfica do Catú com barramentos de pequeno e médio portes e áreas com controle de vazão.**
- Figura 28 - Taxa de variação em m/ano entre os anos de 1999-2004 na Prainha de Aquiraz.**

Figura 29 - Variações na linha de costa na praia do Japão nos transectos para os períodos (1958-2014), (1975-2014), (1988-2014), (1999-2014), (2004-2014), (2009-2014), (2012-2014), (2013-2014) obtidas pelas médias (EPRs). Em destaque os transectos que correspondem aos pontos de monitoramento.

Figura 30 - Evolução da linha de costa da praia do Japão obtida através das médias da EPRs para o período de 1958, 1975, 1988, 1999, 2004, 2009, 2011, 2013 e 2014 com 30 transectos. O círculo em amarelo indicam os cinco pontos monitorados.

Figuras 31 e 32 - Taxa de Variação entre os anos 2009 – 2011 e 2013 - 2014 na praia do Japão.

Figura 33 - Evolução da linha de costa da praia do Porto das Dunas obtida através das médias da EPRs para o período de 1958, 1975, 1988, 1999, 2004, 2009, 2011, 2013 e 2014 com 30 transectos. O círculo em amarelo indicam os três pontos monitorados.

Figura 34 - Variações na linha de costa na praia do Japão nos transectos para os períodos (1958-2014), (1975-2014), (1988-2014), (1999-2014), (2004-2014), (2009-2014), (2012-2014), (2013-2014) obtidas pelas médias (EPRs). Em destaque os transectos que correspondem aos pontos de monitoramento.

Figuras 35 e 36 - Taxa de variação em m/ano dos períodos 1988-1999 e 1999-2004 na praia do Porto das Dunas.

Figura 37 - Variações na linha de costa na praia da Cofeco nos transectos para os períodos (1958-2014), (1975-2014), (1988-2014), (1999-2014), (2004-2014), (2009-2014), (2012-2014), (2013-2014) obtidas pelas médias (EPRs). Em destaque os transectos que correspondem aos pontos de monitoramento.

Figura 38 - Evolução da linha de costa da praia da Cofeco obtida através das médias da EPRs para o período de 1958, 1975, 1988, 1999, 2004, 2009, 2011, 2013 e 2014 com 28 transectos. O círculo em amarelo indicam os três pontos monitorados.

Figura 39. Variação da linha de costa conforme os níveis de ocupação no litoral de Aquiraz para o período de 1958 – 2014.

Figura 40. Variação da linha de costa conforme os níveis de ocupação no litoral de Aquiraz para o período de 2009 – 2014.

Figura 41 – Componentes e o mecanismo do *runup* da onda de alta energia ao alcançar a zona de praia.

Figura 42 - Período (s) das ondas no litoral de Aquiraz entre os dias 10 de junho de 2011 e 20 de dezembro de 2013.

Figura 43 - Relação entre altura significativa e direção da onda para o ano de 2011.

Figura 44 - Altura (m) das ondas no litoral de Aquiraz entre os dias 10 de junho de 2011 e 20 de dezembro de 2013.

Figuras 45 e 46. Caracterização semestral da altura significativa e direção das ondas predominante e dos ventos no litoral de Aquiraz entre os dias 10 de junho de 2011 e 20 de dezembro de 2013.

Figura 47 - Vulnerabilidade aos regimes de impacto nas praias de Aquiraz em áreas com dunas frontais e com ocupação da pós-praia.

Figura 48 - Vulnerabilidade aos regimes de impacto nas praias de Aquiraz em áreas com dunas frontais e com ocupação da pós-praia.

Figura 49 - Ocupação na desembocadura e das margens da lagoa do Catú (2008/2009).

Figura 50 - Trechos da Prainha de Aquiraz com ação das ondas sobre as construções e barracas de praia. Na sequencia, suportes de guarda-sol no

estirâncio; linha de preamar frente ao parque aquático *Itacaranha Park*; dinâmica da maré em sua área de atuação com ocupação e; barraca de sol caída pela retirada de areia por ondas.

Figura 51 - Muros e desvios são vistos sobre as dunas e planície de deflação da praia do Japão.

Figura 52 - Conchas depositadas na base da duna frontal durante os eventos de alta energia.

Figura 53. Construção do lago artificial e terraplanagem sobre a área de dunas.

Figura 54 - Na sequencia, linhas de preamar frente aos condomínios fechados do *Beach Park Resort*; canais de entrada e escoamento das águas do mar num *resort*; escarpas praias próximo às barracas de sol do *Beach Park* e; outro condomínio fechado com abertura e saída das águas do mar; evolução das construções no Porto das Dunas com desmonte das dunas e perda de boa parte da pós-praia dando lugar aos resorts e parques aquáticos.

Figura 55 - a) Pontos de amostragens de sedimentos no município de Aquiraz.

b) Distribuição dos pontos de coleta de sedimentos ao longo do perfil transversal da faixa de praia.

Figura 56 - Mostra a tendência da média do grão nos meses de maio e agosto para o ano de 2011.

Figura 57 - Distribuição do D50 dos sedimentos das dunas frontais ao longo do litoral de Aquiraz nos meses de maio/11 e agosto/11.

Figura 58 - Distribuição do D50 dos sedimentos praias ao longo do litoral de Aquiraz nos meses de maio/11 e agosto/11.

Figura 59 - Distribuição do D50 dos sedimentos das dunas frontais ao longo do litoral de Aquiraz nos meses de maio/12 e agosto/12.

Figura 60 - Distribuição do D50 dos sedimentos praias ao longo do litoral de Aquiraz nos meses de maio/12 e agosto/12.

Figura 61 - Variação do diâmetro médio (D50) dos sedimentos na duna frontal no período entre janeiro e abril de 2012.

Figura 62 - Variação do diâmetro médio (D50) dos sedimentos da faixa de praia nas marés de sizígia no período entre janeiro e abril de 2012.

Figura 63 - Malha de monitoramento da praia do Japão com pontos de coleta no período de alta frequência.

Figura 64 – Comportamento das ondas no período de monitoramento.

Figura 65 - Variáveis utilizadas na avaliação das respostas do sistema praia-duna aos eventos de ressaca do mar.

Figura 66 - Modelo digital do terreno do mês de janeiro na sizígia e quadratura em 2012.

Figura 67 - Remobilização de sedimentos do oceano para o continente na praia do Japão (Aquiraz) capeando áreas de dunas frontais e estradas de acesso.

Figura 68 - Taxas de erosão e sedimentação da praia do Japão associadas aos eventos de ressaca do mar.

Figura 69 - Valores da energia da onda na arrebentação no período de monitoramento durante as marés de sizígia e quadratura.

Figura 70 - Taxas de erosão no período de alta energia para o ano de 2012.

Figuras 71 - Balanço de sedimentos entre o sistema praia-duna durante os episódios de ressaca do mar.

Figura 72 - Variação morfológica entre o período de ressaca e pós-ressaca associada às marés de sizígia e quadratura.

Figura 73 - Critérios para classificação da vulnerabilidade do litoral de Aquiraz.

Figura 74 - Classificação das vulnerabilidades quanto às características topográficas e oceanográficas da zona costeira.

Figura 75 - Correlação entre os geoindicadores e a correspondente aplicação na avaliação quantitativa da vulnerabilidade do ambiente costeiro.

Figura 76 - Correlação entre os geoindicadores e a correspondente aplicação na avaliação qualitativa da vulnerabilidade do ambiente costeiro.

Figura 77- Classificação das vulnerabilidades quanto às características estruturais, geomorfológicas e antrópicas.

Figura 78 - Levantamento dos principais impactos no litoral do Ceará (variável: ação antrópica) nos últimos 40 anos.

Figura 79 - Perfil topográfico dos pontos 01 a 06 no período sazonal.

Figura 80 - Perfil topográfico dos pontos 07 a 11 no período sazonal.

Figura 81 - Dados quantitativos e qualitativos na classificação da vulnerabilidade.

Figura 82 - Classificação da vulnerabilidade das praias de Aquiraz

Figura 83 - Mapa de Vulnerabilidade das Praias de Aquiraz

Figura 84 - Valores das médias AEPRs e o recuo adicional ajustado da praia da Prainha para os retornos de 10, 25 e 50 anos.

Figura 85 - Mapa de risco à erosão das praias de Aquiraz com projeção de 10 anos.

Figura 86 - Valores das médias AEPRs e o recuo adicional ajustado da praia do Japão para os retornos de 10, 25 e 50 anos.

Tabela 87 - Mapa de risco à erosão das praias de Aquiraz com projeção de 25 anos.

Figura 88 - Valores das médias AEPRs e o recuo adicional ajustado da praia do Porto das Dunas para os retornos de 10, 25 e 50 anos.

Figura 89- Mapa de risco à erosão das praias de Aquiraz com projeção de 50 anos

1. INTRODUÇÃO

A busca por respostas às variações morfológicas e sedimentares das regiões litorâneas mundial, notadamente as praias arenosas é crescente. Nas últimas décadas a principal preocupação é com as mudanças climáticas (aumento do número de furacões, tempestades, ciclones extratropicais) e suas repercussões nos oceanos, biota e zona costeira. A inundação tem recebido destaque, pois na medida em que o mar avança, o alcance das ondas se torna mais contundente, dizimando campos de dunas e transportando/depositando sedimentos para o continente, ocasionando a erosão e recuo da linha de costa (MATIAS, *et al* 2010). Em áreas com a urbanização consolidada os problemas são maiores e decorrentes da destruição da infraestrutura. A compreensão do mecanismo *overwash* ainda é incipiente, porém, é geologicamente importante (HAYES, 1967), pois a capacidade de prever a ocorrência e as consequências dos danos provocados são de suma importância na proteção dos litorais.

Este cenário, comum nas praias dos EUA, Europa e Brasil, leva ao risco que pode vir de várias atribuições: riscos costeiros, riscos a inundações, riscos a erosão, riscos ao banhista, risco a economia dentre outros. E por risco, entende-se que é a probabilidade de algo acontecer gerando danos permanentes e, esse é o ponto chave dos estudos e pesquisas, na previsão de outras problemáticas futuras.

A proposta de tese focalizou, precipuamente, no impacto das ondas de ressaca do mar que podem gerar mecanismos integrados de *swash* e *overwash*, como tem sido observado sobre as avenidas (Beira-mar de Fortaleza, Caponga e Águas Belas em Cascavel) ou para retaguarda do cordão de dunas frontais (Praia do Futuro em Fortaleza) sem ocorrer *backwash* diretamente para o mar. Entretanto, em praias menos urbanizadas, as ondas atuam diretamente sobre o perfil praial, erodindo bermas e dunas frontais com *swash e backwash*, alimentando a corrente de deriva litorânea. Fenômenos dessa natureza foram estudados por Ceia (2009), Ramos e Dias (2000) na Península de Cacela e Ria Formosa em Portugal, ocorrendo também em outros países da Europa e por Ferreira *et al* (2006) na América do Norte.

A inserção do *overwash*, como um dos principais assuntos, foi a de investigar as possibilidades no litoral de Aquiraz vir a ter, em uma projeção futura, o alcance das ondas (*runup*), sobre as dunas frontais e, quem sabe, sobrepô-las, finalizando em inundações. Alguns trechos apresentam-se predispostos, na medida em

que, a erosão e o recuo da linha de costa são um fato percebido nas análises das imagens de satélite multitemporais.

A topografia também corrobora ao avanço e potencial das ondas por ser do tipo ligeiramente plana no estirâncio a ligeiramente inclinada na berma. Esses, dentre outros fatores motivaram o estudo dos processos de *overwash*/ressacas do mar na praia de Aquiraz. Ademais esta região está na rota de desenvolvimento do turismo, com projetos de construção de resorts e residenciais financiados principalmente pelo capital estrangeiro.

A determinação do risco envolve outro parâmetro que é a vulnerabilidade, ou seja, o grau de adaptação/recuperação a modificações no lugar seja por causas naturais seja por causas antrópicas. Ele pode ser de baixa a altíssima vulnerabilidade, mas isso vai depender do tipo de ambiente e da pressão exercida pelas atividades humanas, o que neste caso específico, seria a zona costeira e ambientes interligados, como a planície lacustre, fluvial, fluvio-lacustre e dunar.

Os mecanismos integrados de *swash* e *overwash* são temas interessantes e relevantes para a gestão de áreas costeiras. Partindo desse pressuposto, um dos objetivos desse estudo é estabelecer a relação existente entre a ocupação da zona costeira e os eventos de alta energia com prováveis ocorrências de *overwash*, *estabelecendo assim indicadores de riscos e vulnerabilidade costeira*. Donnelly *et al*, (2006) define *overwash* como um evento natural que causa grande escoamento de água e sedimentos para fora das cristas de praia não retornando ao lugar de origem (mar, oceano, baía ou lago).

O ambiente costeiro, precisamente o sistema praia-duna é o foco dessa pesquisa. A escolha da área foi motivada pelo interesse de entender, a partir das condições naturais, quais os mecanismos de adaptação ao cenário de aumento dos eventos de alta energia em uma região que passa por um momento de migração da população da capital para moradia, comércio, turismo e lazer nestas praias, e isso, tem trazido sinais de erosão, avanço do mar e modificação morfológica e sedimentar, adicionado aos períodos de eventos de alta energia “ressaca do mar”, tem instigado à investigação e análise desses fatores e o que pode ser solucionado por meio de previsão para 10,25 e 50 anos.

Na busca de agrupar informações para embasar a identificação da vulnerabilidade e riscos da costa de Aquiraz, a estrutura do trabalho está organizada em seis capítulos:

No Capítulo 2 trata da *Caracterização da Área de Estudo*, nos seus aspectos sociais (ocupação, construção e uso) e ambientais com destaque às praias e campo de dunas, arcabouço geológico-geomorfológico, dinâmica eólica e parâmetros oceanográficos (ondas e marés).

No Capítulo 3 mostra a *Evolução Costeira de Aquiraz nos Últimos 50 anos*. Nele a linha de costa é escolhida como indicador da evolução costeira e objeto no entendimento das mudanças ocorridas nesse período através da Geotecnologia e Geoprocessamento de Imagens, que ao final, interliga a variação da posição da linha de costa e a erosão local.

No Capítulo 4 apresenta *Processos Associados à Ondas e Marés*, do qual, descreve a parte de coleta e análise de dados dos tipos de marés e ondas que influenciam na costa cearense, com ênfase na onda *swell* em cada praia de Aquiraz e, especificamente, na praia do Japão.

Nos Capítulos 5 e 6 é discutida a *Dinâmica Sedimentar e Topográfica Associada à Entrada de Swell* em uma forma mais ampla, pois abrange a análise topográfica em perfis praias e dunar, classificação do grão nos dois ambientes e o volume sedimentar na investigação do balanço sedimentar para o período de coleta. Deste resultado, identificará a influencia do período de alta energia nos processos erosivos e de migração sedimentar.

No Capítulo 7 conclui com *Vulnerabilidades e Riscos do Ambiente Costeiro de Aquiraz* perfazendo o resultado final dos capítulos anteriores. O método das taxas de evolução da linha de costa prevê a área estudada até 50 anos após verificação de indicadores do aumento do nível do mar no litoral cearense e finaliza com o mapa de risco e vulnerabilidade, importante para o gerenciamento costeiro e contribuição científico social.

Nos capítulos estão destacadas as metodologias de coleta e processamento de dados, algumas questões teóricas, os principais resultados e discussões.

1.2 Hipótese

As mudanças na linha de costa e os processos erosivos (faixa de praia e dunas frontais) no litoral de Aquiraz têm como principal causa os eventuais fenômenos de origem natural, como as ressacas do mar;

Objetivos

Identificar e analisar as vulnerabilidades e riscos associados aos eventos de alta energia nas praias semi-urbanas e naturais do Litoral de Aquiraz, gerando informações úteis aos planos de adaptação, reordenamento territorial e manejo da zona costeira.

1.2.1 Específicos

- Estabelecer a evolução da linha de costa nos períodos de 1958 a 2014 e de 2009 a 2014 para identificar as tendências à erosão e progradação da linha de costa, os fatores naturais e antropogênicos associados a estes processos;

- Caracterizar as variáveis oceanográficas e climáticas controladoras dos processos costeiros, destacando os que caracterizam os eventos de alta energia no período estudado (2011-2013) e suas implicações na dinâmica e impactos nas praias naturais e semi-urbanas;

- Analisar a dinâmica sazonal dos sedimentos do sistema praia-duna e entender como as repercussões dos eventos de alta energia alteram as características sedimentares e os mecanismos de *by pass*;

- Entender quais as respostas dos eventos associados às ressacas do mar em praias com baixa ocupação, gerando informações úteis para a indicação de áreas adequadas a ocupação, de mecanismos de adaptação e de mitigação de impactos por inundações costeiras.

- Avaliar, indicar e mapear a vulnerabilidade e risco à erosão propondo medidas de adaptabilidade as atividades socioeconômicas e de uso e ocupação da faixa de praia.

Estado da Arte

Os fenômenos naturais que podem dar origem a situações de catástrofe, com especial incidência nas zonas costeiras, estão associados a situações de temporais (ventos muito fortes, agitação marítima, marés meteorológicas), a cheias (nos estuários e nos sistemas lagunares), deslizamentos e instabilidades de encostas e a *tsunamis*. Uma das questões fundamentais a discutir é a maior ou menor previsibilidade da ocorrência de fenômenos extremos, em termos de frequência e de intensidade. Outra questão muito relevante tem a ver com as consequências previsíveis associáveis a esses fenômenos, traduzidas em termos de perdas de vidas humanas, danos patrimoniais, perdas de atividades econômicas e alteração dos ecossistemas. (COELHO & VELOSO-GOMES, 2005).

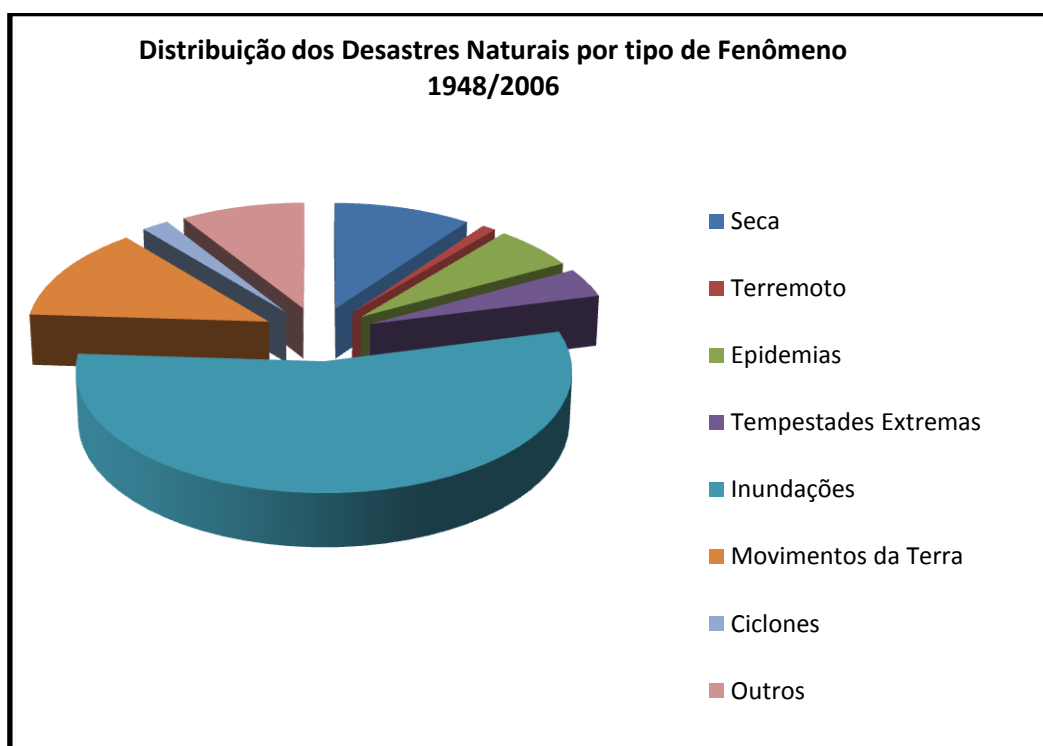
Os eventos de alta energia são eventos instantâneos e que promovem mudanças acentuadas na morfologia, sedimentologia e danos à infraestrutura urbana instaladas na zona costeira, precisamente no sistema praia-duna. A pós-praia e as dunas frontais (*foredunes*) são importantes para a proteção da orla costeira, porque elas agem como uma defesa natural aos eventos de alta energia para as áreas de terras altas. (PARK & EDGE, 2010). O sistema praia-duna é caracterizado pela interação de duas áreas distintas: a área submersa, controlada pela hidrodinâmica marinha e a área emersa, controlado pela dinâmica dos ventos. Pequenas mudanças podem-se definir o equilíbrio natural cada uma destas áreas. (ROIG-MUNAR *et al*, 2012).

A comunidade científica brasileira tem utilizado o termo ressaca com diferentes definições, mas para o litoral de Fortaleza [e do Estado como um todo], as ressacas são originadas, principalmente, pela entrada de ondas de longo período (*swell*), que provocam a sobre-elevação do nível do mar, por meio do empilhamento da massa de água junto à costa. (PAULA, *et al*, 2011). O mesmo autor enfatiza que deverá considerar-se o *storm surge* como fenômeno associado às ressacas e não como parte dela.

Intrinsecamente ligadas à ocupação humana por sua relação de causa e efeito, as características geomorfológicas da costa, associadas à dinâmica climática e oceanográfica, conferem relevância ímpar às questões relacionadas a inundações. Assim, a consequente perda de espaço físico para desenvolvimento das atividades econômicas e sociais que lhe são inerentes se destaca a partir de uma análise priorística dos riscos de desastres naturais a que estariam submetidos esses espaços de transição dos domínios continental e marinho. (TESLLER, *in* Ministério do Meio Ambiente, 2006).

Preocupado com essa problemática, esse mesmo autor realizou um levantamento utilizando o banco de dados internacional sobre desastres naturais (*International Disaster Database – OFDA/CRED – www.em.dat.net – Université Catholique de Louvain*, Bruxelas, Bélgica), do qual indica que, em torno de 55% dos eventos com causas naturais que atingiram o Brasil entre 1948 a 2006 estiveram relacionados com inundações fluviais e/ou avanços do mar (**FIGURA 01**).

Figura 01 - Distribuição dos desastres naturais por tipo de fenômeno no Brasil (1948 - 2006).



Fonte: Tessler, *in* Ministério do Meio Ambiente, (2006).

Na região Metropolitana de Fortaleza, estudos mostram que a chamada “Estação de Ressacas” do Norte do Nordeste começa sempre no final de dezembro (Aloísio dos Santos, do Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias - INPH, conversa pessoal); (VIANA, 2000) e estende-se até abril com entrada de ondas *swell*.

As ressacas do mar, [termo local utilizado para os eventos de alta energia] ao longo do litoral do Ceará têm consequência direta na erosão das praias e das dunas e, por ventura, ocasionam inundação da zona costeira (LIMA, 2012; PAULA, *et al*, 2011). A veracidade dessas informações é compatível com as de RITCHIE & PENLAND (1988) ao afirmarem que o *overwash* é causado por frentes frias e são mais frequentes entre outubro e maio, e as tempestades tropicais e furacões, são mais frequentes entre junho e setembro, correspondentes aos períodos de verão no Hemisfério Sul e inverno no Hemisfério Norte.

As estruturas de engenharia costeira, a ocupação humana e outras atividades socioeconômicas aumentaram a vulnerabilidade da costa aos processos oceânicos (por exemplo, ondas de ressaca) e potencializaram o risco de erosão costeira e de galgamentos oceânicos, às vezes causando fortes danos físicos, econômicos, sociais e patrimoniais (PAULA, 2012). Estimativas recentes mostraram que 1,2 bilhões de pessoas vivem nos primeiros 100 km de distância da linha de costa e nas altitudes inferiores a 100 m, onde a densidade populacional é cerca de três vezes maior do que a média global (SMALL & NICHOLLS, 2003).

Resultado disso está nas mudanças no padrão e extensão da erosão costeira e das inundações, ocasionado risco de diversos graus. Conforme, Boruff *et al* (2005), para avaliar o risco potencial de eventos naturais ao longo a costa, é importante identificar e avaliar os elementos que contribuem para isso, ou seja, risco e vulnerabilidade. Nesse sentido, poder-se-á definir Vulnerabilidade Ambiental como a capacidade de resposta numa situação de catástrofe. Quanto maior for à capacidade de resposta menor é a vulnerabilidade ambiental, assim como, os danos causados.

A avaliação do risco inclui também a caracterização das incertezas inerentes ao processo de inferir o risco (ALVES, *et al*, 1999). O Risco Ambiental, por sua vez, define-se como a caracterização dos potenciais efeitos adversos resultantes da exposição a perigos ambientais (COELHO & VELOSO-GOMES, 2005; ALVES, *et al*, 1999; ESTEVES, 2011).

À luz disto, a costa é considerada como uma das áreas mais vulneráveis do planeta e, por conseguinte, a comunidade científica tem significativamente aumentado as atividades no desenvolvimento de técnicas para avaliar a sua vulnerabilidade. (Di PAOLA, *et al*, 2011). Uma das ferramentas que tem se destacado pela sua rapidez e de boa aplicabilidade nos resultados quanto à vulnerabilidade são os geoindicadores.

Por geoindicadores, BERGER & IAMS (1996) determinaram que são medidas (magnitudes, frequências, taxas e tendências) de processos geológicos e fenômenos ocorrendo na superfície ou próximo dela, sujeitas a alterações que são significativas no entendimento das mudanças ambientais ao longo de períodos de 100 anos ou menos. Tais processos são de natureza física (geológico-geomorfológico, climático, hidrológico, etc.), química (salinidade, pedogênese, floculação, deposição, absorção, adsorção, etc.) e bioecológica (produção, estocagem, consumo, estrutura das comunidades, etc.) (Tagliani, 1997 *apud* RUDOFF & BONETTI, 2010).

No litoral do município de Aquiraz, pelos poucos trabalhos realizados com praias e dunas frontais, a observação e os registros dos geoindicadores foram determinantes, a fim de comparar a parte empírica e observacional dos dados coletados com os tratados e analisados em laboratório, corroborando e validando os resultados descritos nos capítulos posteriores.

Vários artigos, teses e relatórios técnicos têm escrito sobre fenômenos como eventos de alta energia e dos processos de galgamento (*overwash*). No entanto, há ainda “espaços vazios” no entendimento que esta pesquisa/estudo pretende abordar, notadamente, quando se trata escassez na produção científica no Brasil. Uma das principais lacunas no estudo dos eventos de alta energia é o número limitado de levantamentos na área. Além do principal fenômeno que é a tempestade, que não ocorre de maneira contundente no Nordeste brasileiro, os estudos ficaram concentrados no Sudeste e Sul do país, onde as frentes frias e ciclones extratropicais são mais presentes.

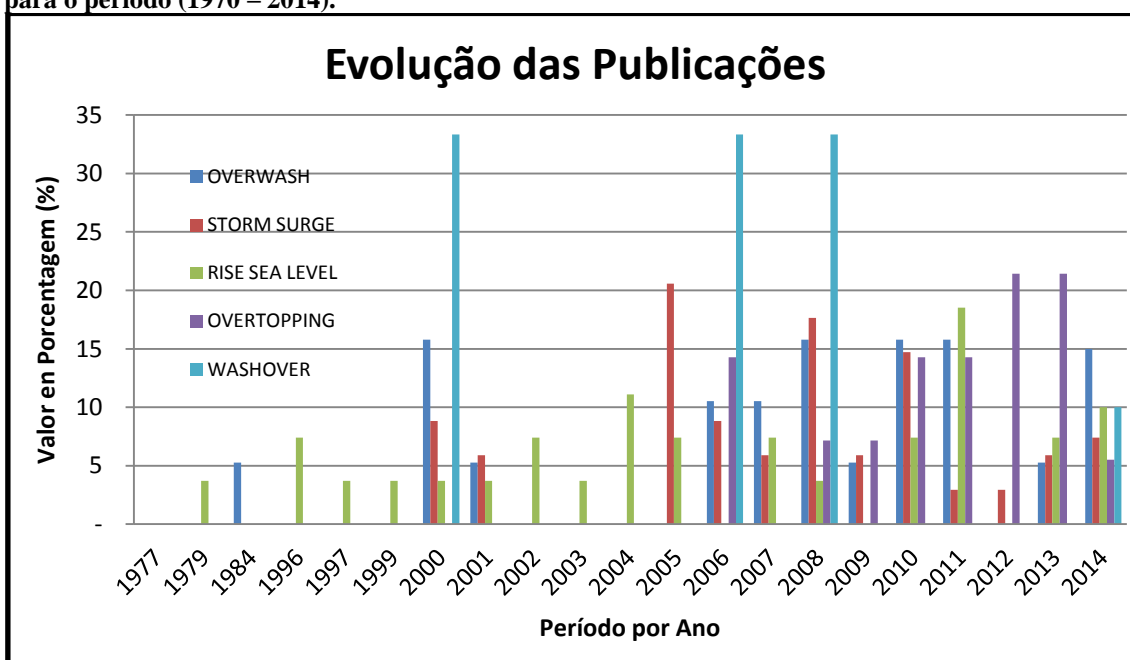
Partindo dessas informações, a importância desse estudo está materializada nos inúmeros artigos e teses publicados desde o século XIX (**FIGURA 02**) com grande expansão para os dias atuais, na medida em que, são temas fascinantes nas diversas áreas ligadas ao meio ambiente. Ao mesmo tempo é necessário o aprofundamento dos estudos dos mecanismos e especificidades da sua origem, devido às repercussões frequentemente catastróficas. O estudo das praias envolve uma série temporal que em conjunto torna-se possível o acompanhamento de paradigmas. Estes podem se

agrupados dentro de quatro áreas, a geológica, geomorfológica, oceanográfica e da sedimentológica, das quais serão descritas abaixo.

Até o primeiro semestre de 2014, mais de 111 artigos foram publicados em revistas internacionais contendo algum assunto que tivesse correlação com eventos de alta energia (*overwash*), sem contar com as teses, notas científicas, congressos internacionais que aqui não foram expostas, mas que pode ser resumidamente visualizado na **Figura 03**.

Destes 36% tinha o *overwash* como objeto de estudo, 37% teve como foco as tempestades, eventos de alta energia, "ressaca do mar" (*storm surge*), 27% tem o aumento do nível do mar (*rise sea level*) como fator dos eventos de alta energia, 14% destaca o galgamento (*overtopping*) como mecanismo importante na deposição de sedimentos no pós-praia e 3,8% usa o termo *washover* como a morfologia do depósito do *overwash*.

Figura 02 - Relação do número de publicações internacionais e nacionais e o ano correspondente para o período (1970 – 2014).



**Fontes diversas contidas nas referências bibliográficas e que não foram explícitas no texto.

Destaca-se também algumas revistas conceituadas na área de geociências, geologia, ciências marinhas dentre outras áreas com estudo específico na zona costeira. O *Journal Coastal Research* é a revista que contém a maior número de publicações

referentes aos temas supracitados (89,8%) com estudos desde a década de 1970. Depois vem a *Marine Geology* com 6,4% nos temas *storm surge* e *overwash* a partir de 1977. Em seguida a *Coastal Engeneering* (5%), *Nature Hazards* (1,8%), Quaternary Geocronology (1,8%), *Canadian Journal of Earth* (1,1%) com artigos tratando do *overwash* e *storm surge* no período de 69 anos (1936 – 2005), *Geomorphology* (0,9%), *Geology* (0,9%), *Coastal Dinamic* (0,9%), *Geological Acta* (0,9%), *Hidrobiologia* (0,9%), *Estuaries and Coasts* (0,9%), com publicações mais recentes (entre 2003 a 2014).

Figura 03 - Paradigmas do estudo das praias aos eventos de alta energia.

Paradigma	Escala	Características	Principais Artigos	Principais Conferências Internacionais
Tempestades <i>Storm Surge</i>	Eventos Instantâneos	Ciclones Extratropicais/ Frentes Frias	Donnelly <i>et al.</i> , 2005 Calliari <i>et al.</i> , 2010 Todd & Walton, 2005; Houser, 2012	- <i>Seventh European Conference on Severe Storms, Finland (2013)</i> - <i>12th International Storm Surges, Congress Risk and Management of current and future Storm Surges. Germany. (2010)</i>
Galgamentos <i>Overtopping</i>	Eventos Instantâneos	Relação entre o <i>continuum</i> de onda /acresção vertical do <i>swash</i>	Sallenger <i>et al.</i> , 2000 Orford e Carter, 1982 Park & Edge, 2010	- <i>3rd International Conference on Physical Coastal Processes, Management and Engineering, Spain (2013). Discussed about Wave modelling</i>
<i>Overwash</i>	Eventos Instantâneos	Sobreelevação do nível do mar acima da maré normal/ extensão do <i>overtopping</i>	Donnelly <i>et al.</i> , 2001 Ritchie & Penland, 1988 Matias <i>et al.</i> , 2010	- <i>Coastal Symposium - ICS2013. Coastal hazards and extreme storms, UK.</i>
<i>Washover</i>	Anos - Décadas	Resposta deposicional pelo <i>overwash</i>	Leatherman, 1976 Hochel and Wampfler, 1989 Bray and Carter, 1992	- <i>8th IAG International Conference on Geomorphology. Paris (2013)</i>
Aumento do Nível do mar <i>Rise Sea Level</i>	Eventos Climáticos e Geológicos	Elevação da temperatura da superfície do mar/ interglaciação	Nicholls & Tol, 2006; Hunter, 2011 Houston & Dean, 2013	- <i>International Conference on Climate, New York (2008/2012)</i> - <i>Marine Science Symposium, Lisbon (2013)</i>
Risco E Vulnerabilidade	Eventos Instantâneos/ Anos - Décadas	Erosão Costeira/ Inundações/ Ação antrópica	Nicholls <i>et al.</i> , 2007 Ciavola <i>et al.</i> , 2007 Boruff <i>et al.</i> , 2005	<i>III International Congress II Luso-Brazilian and I Ibero-American RISKS, Brazil (2014)</i>

Fonte: Adaptado de Short (1999)

No Brasil, as publicações ainda são modestas, tanto pela incipiência de dados, bem como, os assuntos tratados são adaptados à realidade local, devido às condições oceanográficas, atmosféricas e continentais, notadamente no Nordeste, onde a incidência de tempestades e ciclones é originada fora do país. Assim, o maior número de trabalhos concentram-se nas regiões Sul e Sudeste, principalmente, pela ocorrência de frentes frias e ventos de baixa pressão.

Sinopse dos Eventos de Alta Energia no Litoral do Ceará

Eventos de ressaca seguidos de *overwash* ocorrem sazonalmente nos 573 km do litoral cearense como consequência da sobre-elevação dos níveis das águas do mar produzidos por fatores climáticos que vão desde a passagem do *swell* e, este associada às marés meteorológicas, a eventos astrológicos como as marés equinociais.

O processo se dá pela transferência de areia sentido pós-praia, e este material é depositado/encontrado em vários tipos de dunas costeiras. A erosão costeira e um provável aumento relativo do nível do mar interferem na altura e estabilidade das dunas frontais, tornando áreas mais propícias aos ataques das ondas e da frequência e impacto do *overwash*.

Na última década, a maior parte do litoral cearense foi reduzida, tornando praias mais estreitas, com granulometria de média a muito grossa e dunas frontais reduzidas de altura ou com alguns canais entre dunas por onde passaram as ondas de ressaca. Esse evento de alta energia tem sido observado na área de estudo com consequências danosas às estruturas construídas na pós-praia e na destruição de restaurantes, barracas e casas, em noticiários e entrevistas com moradores realizados por Oliveira (2009).

Os ciclones extratropicais impactam a região costeira do Ceará, como é o caso da ressaca provocada em março de 2001, resultando em prejuízo econômico em alguns setores da orla de Fortaleza (CE) (SILVA, *et al*, 2011). As consequências desses eventos de alta energia são temas constantes na imprensa local, principalmente, os ocasionados pela coincidência das maiores amplitudes das marés (~3.2 m) associadas a maior frequência das ondas *swell* com períodos superiores a 10 s. Reunidos aos

noticiários, vários trabalhos de mestrado e doutorado foram publicados tendo como principal foco os eventos de alta energia (**FIGURA 04**).

*“A força das ondas chegou a arremessar pedras, destruir bancos e até paredes. Parte do asfalto foi tomado pela areia. No calçadão, as marcas da ressaca ficaram nos montes, que cobriam alguns trechos. Pela manhã, ônibus e vários carros ficaram atolados. Um deles passou mais de quatro horas com os pneus enterrados à beira do asfalto. À tarde, a situação voltou a se repetir. “Havia muita água e areia na pista quando passamos por aqui. O motorista encostou o carro para os passageiros descerem e não conseguiu mais sair”, conta o cobrador Francisco Tenório Ferreira. “Quanto mais ele tentava tirar o ônibus, mais se atolava na areia molhada”.”. **Ressaca do Mar Causa Transtornos na Orla (26-10-99), Felipe Abud/ Antônio Carlos Vieira.***

*“Por meio metro as águas não voltaram a ultrapassar o espigão da Praia de Iracema ontem pela manhã. **CICLONE** — As ondas altas registradas no litoral norte brasileiro são decorrentes de um ciclone extratropical que está sendo observado há alguns dias no Atlântico Norte. O fenômeno está acompanhado de ventos com intensidade superior a 16m/s, sendo registrada no litoral dos Estados Unidos, fronteira com o Canadá devido à intensidade do ciclone, muitas ondas estão se propagando para o hemisfério sul e atingindo o litoral norte do Brasil. Cid Barbosa **Ondas Fortes e Maré Alta Preocupam os Institutos e Defesa Civil (03/2001)**”.*

*“O clima do Atlântico Norte está gerando ondas tipo “swell” que devem chegar com força ao litoral, especialmente no período de novembro a abril. As ondas terão alturas máximas entre 2,5 e três metros, com períodos máximos de 12 a 16 segundos. Quem explica a previsão é o técnico em hidrografia Aloísio Araújo, do Instituto Nacional de Pesquisas Hidrográficas (INPH). O Centro de Hidrografia da Marinha, através do Serviço Meteorológico Marinho, alertou para o mau tempo, o que significa ventos fortes, com rajadas de vento, ressaca atingindo a costa, ondas grandes e visibilidade restrita em alto mar. De acordo com o gerente do Departamento de Meteorologia da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme), Davi Ferran, as ondas esperadas até o dia 21 podem não ocasionar destruição na orla. Isso porque as tábuas de marés não devem apontar registros muito altos, devido à fase da lua, que, no período, não estará cheia ou nova. **LITORAL CEARENSE: Ondas altas causam riscos aos banhistas. Contribuição de www.diariodonordeste.com.br 17 de janeiro de 2009.**”*

*“Com a ressaca do mar no litoral do Fortaleza, a maré alta encheu as ruas da Avenida Beira Mar de areia da praia e atola veículos na via. Os carros passam no trecho com dificuldade, e alguns precisam ser empurrados para sair da areia” **Portal G1-Ceará, em 12 de março de 2013, as 18h35.***

Figura 04 - Exemplos de alguns eventos de noticiadas em jornal e trabalhos científicos nos últimos 10 anos.

Localização	Data	Danos
Fortaleza	10/2005	Destruição de barracas
	01/2009	Destruição do calçadão
Aquiraz	08/2007	Destruição de barracas, restaurantes e dunas/ galgamento
	10/2007	Destruição em parte da Duna no Iguape
	09/2007	Destruição de barracas, restaurantes e dunas/ galgamento
	2008	Escarpas dunares, destruição de barracas e restaurantes
Caucaia	03/2008	Destruição de dunas e faixa de praia
	03/2013	Galgamento e destruição da obra de contenção
Caponga	03/2008	Destruição de dunas e faixa de praia
	02/2011	Erosão das dunas frontais/ galgamento*
	06/2012	Erosão da praia e dunas frontais / galgamento**
	09/2011	Erosão das dunas frontais/ máximo <i>runup</i> *
	01/2009	Destruição de dunas e faixa de praia, restaurantes
Fleixeiros	01/2009	Destruição de dunas e faixa de praia, restaurantes
Mundaú	01/2009	Destruição de dunas e faixa de praia, restaurantes
Alagoinha	01/2009	Destruição de dunas e faixa de praia, restaurantes
Icapuí	01/2009	Destruição de dunas e faixa de praia, restaurantes
	01/2011	Escarpa nas falésias e erosão na pós-praia***

Fontes: Lima (2012), Aquino (2013), Oliveira (2009).

Nos últimos 57 anos, foram registrados 162 eventos de ressaca, isto é, cerca de três episódios de ressacas por ano em Fortaleza (PAULA, *et al*, 2011). Vale ressaltar também, que a maior contribuição do trabalho foi a partir da década de 1980, quando as ressacas foram uma ameaça para as estruturas urbanas. **(FIGURAS 05 e 06)**

No caso de Aquiraz, Região metropolitana de Fortaleza, há situações em que as ressacas atingem as dunas frontais e cristas praias e noutra situação, as ondas chegam próximo às construções (e.g. Porto das Dunas/*Beach Park*). Na desembocadura do Pacoti ocorre o galgamento seguido de escoamento para o interior do estuário **(FIGURA 07)**. Apenas tornará noticiário e importância quando atingir aos grandes empreendimentos, afetando a economia dos grupos de empresários estrangeiros.

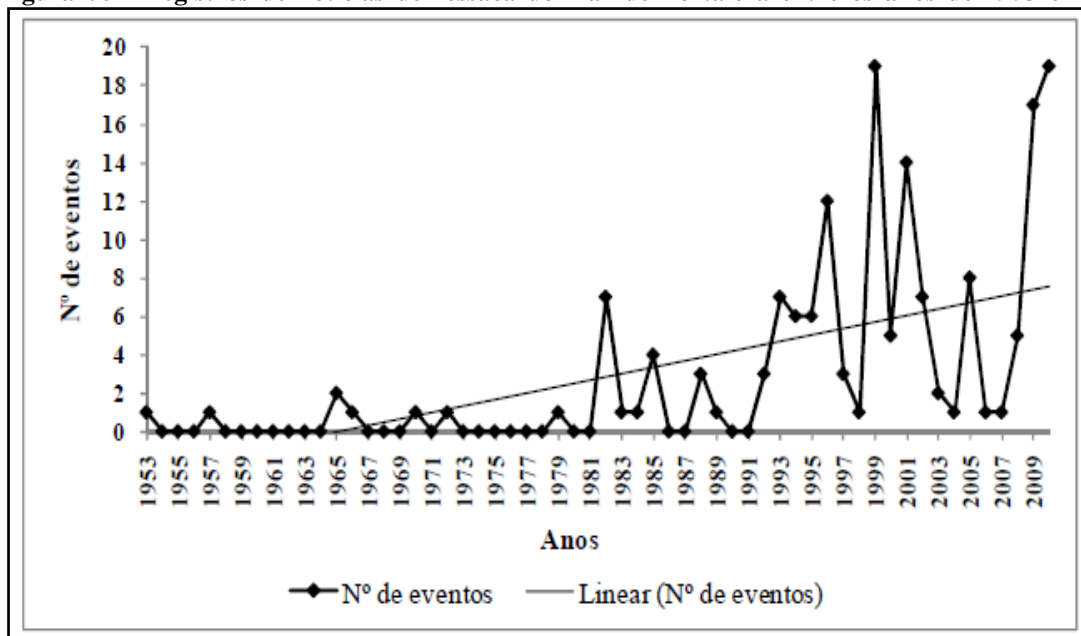
Figura 05 - Maré equinocial e ondas *swell* na praia de Fortaleza.



Fonte: Jornal OPovo.

Disponível em: <http://www.opovo.com.br/app/opovo/fortaleza/2013/03/13/noticias/rnalfortaleza,3021476/ondas-podem-passar-de-quatro-metros-na-beira-mar.shtml>

Figura 06 - Registros de notícias de ressaca do mar de Fortaleza entre os anos de 1953 e 2010.



Fonte: Paula *et al.*, (2011)

Além da capital, poucos municípios são destaques na imprensa quando do efeito da ressaca do mar. As inundações e erosão provocada pelas ressacas do mar em uma duna não ocupada não tem aspectos de drama social e consequentemente não é normalmente divulgada pelos órgãos de comunicação social; contudo, quando se verificam danos físicos em edificações (como casas ameaçadas de desabamento, destruição de estradas e calçadões), existe interesse potencial dos leitores e, por consequência, os jornais noticiam o fato (PAULA, *et al*, 2011). Em outras palavras, o registro das ressacas do mar em jornais ocorre em função do nível de ocupação do litoral.

Figura 07 - Inundação do pontal arenoso na desembocadura do estuário do Rio Pacoti em abril de 2012.



Fonte: Pinheiro, L.S. (2012)

A partir dessas informações, percebe-se que poucos trechos do litoral cearense ainda encontram-se preservados ou em estágio inicial de recuo da linha de costa e erosão costeira (MAIA, *et al* (2005), PINHEIRO, *et al* (2001), OLIVEIRA, *et al* (2005), MORAIS, *et al* (2006), ROCHA, *et al*, (2011), PAULA, *et al*, (2013), AGUIAR, *et al*, (2013)). Esses problemas afetam não somente o ambiente praias, mas todos os ecossistemas que deles sobrevivem, além da população ribeirinha e de toda infraestrutura existente. Mesmo praias adjacentes, a dinâmica frequentemente acontece diferenciada, uma vez que, conforme, RITCHIE & PENLAND (1988) estas mudanças não são uniforme ao longo de toda a extensão da linha de costa, mas sim são afetados pela posição da zona costeira, largura e gradiente da praia, taxa e cobertura da vegetação e da estrutura e formas de relevo pré-existent.

Os eventos de alta energia podem vir de duas maneiras: uma através de ciclones e tempestades tropicais e extratropicais do Hemisfério Norte (Schwartz 1975 *apud* HOUSER, 2012; MORTON, *et al.* 2000) e chegam ao Nordeste brasileiro na forma de *swell*. Nesse caso, o fenômeno é tratado como parte das tempestades, porém Paula (2012) defende que o fenômeno é associado às ressacas e não como parte dela. A outra maneira seria quando associadas aos ventos locais (*nonstorms*), como é o caso do litoral do Ceará.

No segundo semestre, precisamente de agosto a outubro, ventos alísios de SE são capazes de transferir energia para as ondas e, se formadas durante as marés de sizígia, provoca o empilhamento das águas (*set-up*) próximo à costa que, dependendo da topografia da praia, o espriamento máximo (*runup*) pode alcançar a crista da duna frontal ou alguma estrutura urbana resultando em possíveis galgamentos e/ou inundações.

A diminuição no volume sedimentar é identificado como um fator determinante para a fragilidade do ambiente costeiro. Vizinho ao município de Aquiraz, o estuário do rio Malcozinhado, em Águas Belas, desde a década de 1950 é impactado pela diminuição da vazão fluvial e migração do canal, resultando em erosões na desembocadura e redução no fornecimento de sedimentos às praias adjacentes (PINHEIRO, *et al.*, 2006).

O grau de consolidação urbana é um fator importante no índice de vulnerabilidade. As praias da Prainha, Japão e Porto das Dunas no Município de Aquiraz com extensão, totalizando os trechos de monitoramento em 11km, localizadas no município de Aquiraz, são na sequencia praias semi-urbanizadas, naturais com alguma ocupação e densamente ocupada, respectivamente. A infraestrutura é voltada predominantemente para o turismo e o lazer. Obviamente as respostas serão diferentes quanto aos eventos de alta energia, bem como, na determinação dos riscos costeiros e graus de vulnerabilidades.

A praia Prainha de Aquiraz possui extenso campo de dunas móveis. Cristas praias também são encontradas na área, ora recobertas por alguma vegetação gramínea, ora retrabalhadas pela ação dos ventos e das ondas. Esta praia é ocupada, majoritariamente, por barracas de praia localizadas no pós-praia, onde as ondas alcançam as estruturas e, durante as marés de sizígia, arrastam materiais (coqueiros

artificiais, pedaços de madeira, suporte dos guarda-sóis, etc) para o estirâncio (FIGURA 08).

Mais a retaguarda distribui-se pousada, hotéis e casas de veraneio. Seguindo a faixa de praia sentido longitudinal, escarpas nas dunas podem ser vistas medindo mais de 1,5 metros e linhas de preamar que ultrapassam essa escarpa. No pós-praia são encontradas conchas e alguns cascalhos esparsos formando uma linha que identifica até onde foi o máximo alcance do espriamento. A topografia é moderadamente inclinada o que ainda favorece o *runup* da onda.

Figura 08 - Ocupações de barracas e estruturas na pós-praia. A posição e o desenvolvimento da escarpa no limite da pós-praia indica a atuação e o alcance das ondas na Prainha de Aquiraz.



Fonte: próprio autor, 2012.

A praia do Japão adjacente àquela, é ainda considerada uma praia natural, pois as construções, apesar de consideráveis em área e extensão, ainda não foram fatores decisivos para degradação da praia, uma vez que, os processos erosivos demandam mais tempo. Por outro lado, o desmonte de dunas para ocupação e passagem de carros é preocupante considerando a sua importância no balanço sedimentar.

Anterior a isto, o extenso campo de dunas do tipo frontal, durante as marés de sizígia no primeiro semestre, formaram escarpas nas dunas com 1,60 m de altura (medidas com régua de topógrafo). Indicadores desses eventos são também os sedimentos mais grossos e conchas na base da duna há mais de 20 metros do estirâncio. Foi verificada características de canais de possível *overwash*, principalmente nas dunas com menor altura, confirmada em análise sedimentológica, a predominância de sedimentos grossos à sotavento da duna no período de ressaca. **(FIGURA 09)**. O mais intrigante desse setor é o nível de erosão em relação às praias vizinhas que são expressivamente mais ocupadas.

Figura 09 - Concentração de sedimentos mais grossos na pós-praia e formações de escarpas na praia do Japão.



Fonte: próprio autor: 2011.

Diferente das demais, a praia do Porto das Dunas, sempre foi conhecida pelos inúmeros *resorts* e o parque aquático *Beach Park*. A urbanização é densa e conseqüentemente, a modificação na paisagem é notória, pois não é visto dunas e a faixa de praia é mais estreita comparada às outras praias de Aquiraz. As ondas chegam

muito próximas às instalações dos *resorts* e casas de veraneio, o que a faz durante a maré alta, pouco transitável pelos visitantes. **(FIGURA 10)**

Figura 10 - A densa ocupação da praia do Porto das Dunas e alcance das ondas próximas às estruturas durante a maré cheia.



Fonte: próprio autor, 2012.

Mediante o que foi discutido há muito que se avançar no conhecimento dos eventos de alta energia e suas implicações na costa do Ceará, principalmente quando se fala no aumento da sua ocorrência e intensidade decorrentes das mudanças climáticas globais. Urge buscar meios eficientes que possibilitem a convivência com eventos dessa natureza para evitar tantos transtornos ao litoral, que são observados desde a destruição da infraestrutura urbana a salinização de aquíferos costeiros. A implantação de um sistema de previsão e recuperação, com participação efetiva dos órgãos de governo e de equipes multidisciplinares é imprescindível para a compatibilização dos processos naturais, o crescimento das cidades e a gestão integrada da zona costeira.

2. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Aspectos Gerais e de Ocupação

O município de Aquiraz está localizado na porção nordeste do Estado, ocupa uma área de 482,8 Km², com distância aproximada de 24,70 Km (sede) da cidade de Fortaleza. Está integrada na costa leste do Estado do Ceará, totalizando 30 km de praias. **(FIGURA 11)** Situada na Microrregião geográfica 12, Aquiraz limita-se ao norte com o Oceano Atlântico; ao sul com Horizonte e Cascavel; a leste com Pindoretama; e a oeste com Eusébio, Itaitinga e Fortaleza. A Sede municipal está localizada nas coordenadas 3°54'05''S (latitude) e 38°23'28''W (longitude), ha uma altitude de 14,23m.

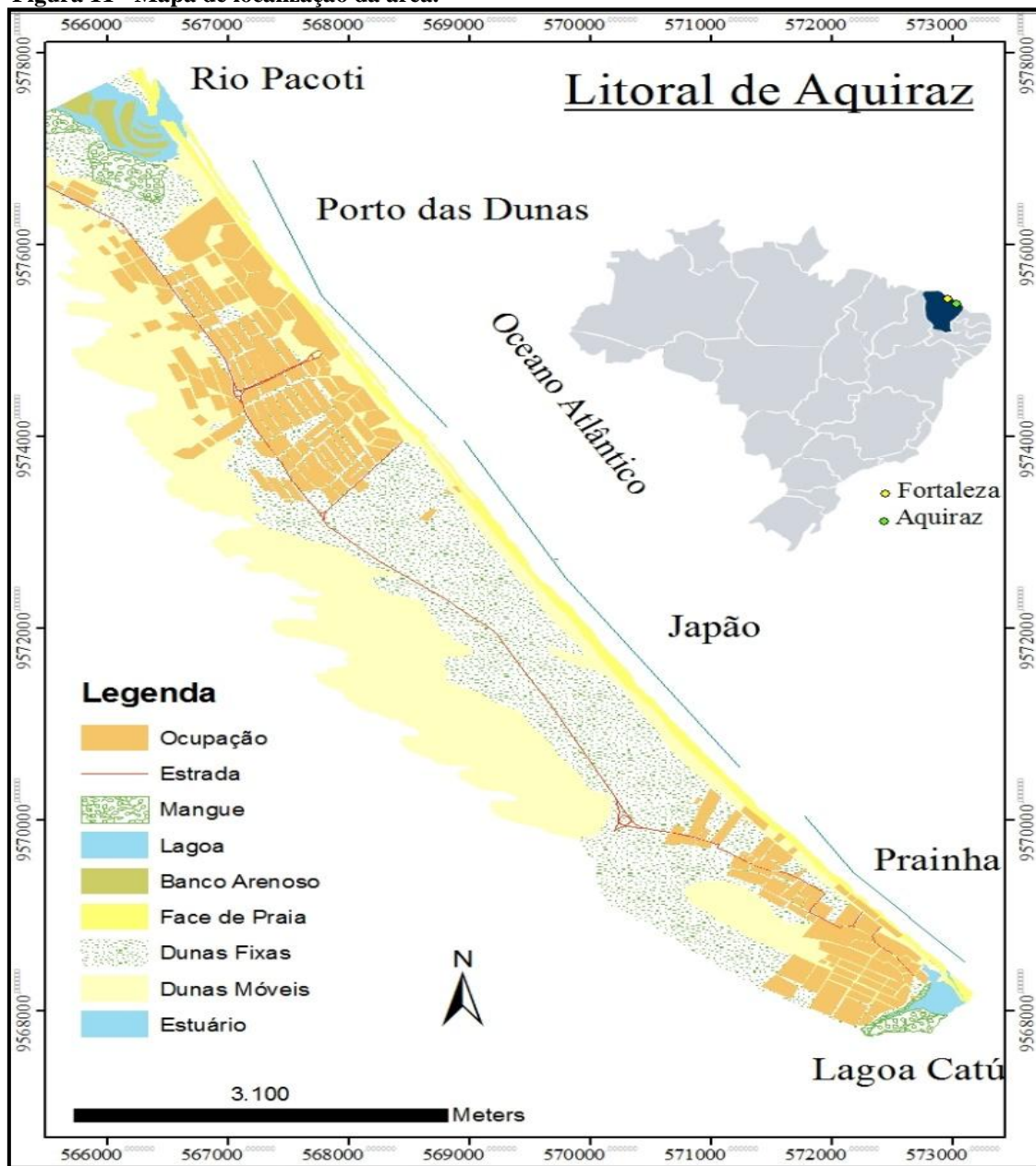
Aquiraz é palavra indígena e significa — “água logo adiante”. A referência à água deve-se à proximidade do rio Pacoti. Tem patrimônio natural de rara beleza, banha-se pelos dois rios Pacoti e Catu. O grande número de lagoas, de cordões dunares, aliados à beleza cênica das praias do Porto das Dunas, Prainha, Presídio, Iguape, Barro Preto e Batoque, tornam o município atrativo ao lazer e turismo. (PDDU, 2005; FREIRE, 2009). A vila de Aquiraz foi criada em 1699, passou a ser capital do Estado em 1713, subordinada ao governo de Pernambuco, com o nome de São José do Ribamar. A vila prosperou e ampliou sua infraestrutura e, em 1915 foi elevada a cidade. Em 1933, foi suprimido o Município, sendo finalmente restaurado em 1938.

A ocupação desses espaços litorâneos, segundo DANTAS (2002) se expande com o crescimento de Fortaleza, atribuindo às ordens econômicas e demográficas. Esse crescimento está associado aos projetos desenvolvimentistas de organismos públicos, nos fins da década de 1950, com a política de industrialização promovida pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE, no final dos anos 1960, reforçando o papel da capital propulsor do aumento da população em relação ao Ceará e da zona urbana.

A urbanização vai se dá paralelamente ao processo de ocupação do município e especificamente no litoral, a partir da década de 1980, trouxe certo avanço no que diz respeito à infraestrutura, vias de acesso, transporte, que ora ainda se faz precária em Aquiraz. Observa-se que no setor leste de Aquiraz (compreendido entre a praia do Barro Preto e Prainha Velha) a configuração espacial, em termos de ocupação,

não é tão significativa quanto às praias da Prainha (margem oeste do rio-lagoa Catú) seguindo para a Praia do Porto das Dunas (*Beach Park*).

Figura 11 - Mapa de localização da área.



Fonte: Elaborado por Oliveira Maia, G.G.de (2013)

Por outro lado, a presença de casas de luxo e pousadas sobre dunas e faixa de praia neste trecho, foi percebida nas últimas décadas do século passado e, ainda em expansão nos primeiros anos do século XXI, em detrimento as antigas moradias que se localizam mais recuados da linha de costa, próximas às margens de lagoas e rios ou em áreas propícias ao cultivo. (OLIVEIRA, 2009).

Pela sua importância natural, cultural e econômica, Aquiraz, em 1990, reconhecida pela vocação turística, através do Programa de Desenvolvimento do Turismo no litoral do Ceará – PRODETURIS/CE junto a Secretária do Turismo do Estado do Ceará – SETUR, enquadrou-se na região III, que além deste também faz parte os municípios de Cascavel, Beberibe, Aracati, Icapuí, Pindoretama e Fortim, conhecida como *Rota do Sol Nascente*.

Em 1991 a população residente em Aquiraz era de 46.305 habitantes, enquanto que, em 2010 a população contou com 72.628 habitantes, um aumento de 63,75%, na totalidade do município, com destaque para a população urbana que tem 92,37% desse total (IPECE, 2011). Essa tendência tem grande influência nos residentes de Fortaleza que se deslocaram/deslocam para o município pela infraestrutura oferecida como facilidade de acesso entre cidades, a oferta de terrenos, tranquilidade de trânsito, além dos serviços de educação, comércio e lazer que estão atraindo a população a permanecer no local.

O litoral da Prainha e do Porto das Dunas se insere exatamente nessa realidade, pois apesar de encontrar-se relativamente preservado em alguns pontos, as dunas perdem espaço para os empreendimentos turísticos de alto valor agregado, em que ao mesmo tempo se amplia o desenvolvimento econômico para a região, ocasiona inúmeros prejuízos ambientais. (CAMARA *et al*, 2010).

O turismo materializado nos *resorts* de permanência temporária e os residenciais tem alavancado a procura de outras capitais a visitarem o Ceará. Praias como o Porto das Dunas na figura do Parque Aquático e *Resort Beach Park* tem sido o carro chefe desde a década de 1980 nessa modalidade de lazer. Porém, na última década, o ambiente litorâneo tem sido alvo de muitas construções, notadamente, faixa de praia e campo de dunas.

Em 2009 foram notificados seis resorts entre Porto das Dunas e Prainha: *Aquaville Resort*, *Oceani Resort*, *Portamaris Resort*, *Beach Park Suítes & Resort e Beach Park Acqua Resort*, Dom Pedro Lagura integrado ao Eco – *Resort Aquiraz Riviera*. Em 2013, as praias de Aquiraz, além dos citados tem-se o *Ocean Golf Course*, *Carmel Charm Resort*, *Catu Lake*, dentre outros que estão em processo de finalização.

A população em 2010 era de 72.628 habitantes (IPECE, 2011). O turismo materializado nos *resorts* de permanência temporária e os residenciais tem alavancado a economia da região. Praias como o Porto das Dunas na figura do Parque Aquático e

Resort Beach Park tem sido o carro chefe desde a década de 1980 nessa modalidade de lazer. Porém, na última década, o ambiente litorâneo tem sido alvo de muitas construções, notadamente, faixa de praia e campo de dunas.

Porto das Dunas como espaço turístico, representado pelo território dominado pelos *resorts*, reproduz características que podem comprometer seu desenvolvimento em longo prazo, quando provavelmente os recursos naturais e construídos não serão suficientes para sua sustentação enquanto núcleo valorizado, tanto pelo capital turístico como imobiliário (FREIRE, 2009).

Na praia do Japão, área de dunas frontais e sem construções *a priori*, está em processo de ocupação como, por exemplo, de condomínios fechados. A sua localização, ambiente de tabuleiros e mais a retaguarda do campo de dunas, ainda não surtiu impactos severos diretamente na zona de praia, mas como Aquiraz é conhecida pelos seus lençóis freáticos e lagoas interdunares, acabam por sofrer alguma modificação no ambiente.

É comprovada que ao interferir nas dinâmicas naturais das praias e ambientes associados, os processos de erosão e avanço do mar são uma certeza, principalmente quando há deficiência sedimentar devido à ocupação e construções *onshore e offshore*. É nessa problemática que o estudo preocupa-se e verifica se ao longo dos últimos 50 anos, a urbanização teve e tem papel relevante no impacto ambiental ou se os eventos sazonais e/ou de alta energia são os principais atuantes ou reforçam a ação antrópica.

Aspectos Geológicos e Geomorfológicos

A linha de costa de Aquiraz tem direção SE-NW. A geologia é representada pelas rochas Pré-Cambrianas, sedimento Tércio-Quaternário da Formação Barreiras que se apresentam como Tabuleiros Pré-Litorâneos. Esses depósitos afloram próximo ao litoral formando patamares escalonados recuados entre 50 a 200 metros da praia, no sentido NE-SW, acompanhando o sistema de falhas que corta o Estado do Ceará. (CARVALHO *et al.*, 1994; LOPES *et al.*, 2011). Próximo ao litoral é recoberta pelos sedimentos eólicos, não havendo o afloramento do tipo falésia neste setor, apenas pontualizados mais para o interior do município e principalmente nas áreas agricultáveis.

O Cenozóico está representado pelo morro Caruru localizado próximo à foz do estuário do rio Pacoti (MORAIS, 1980). Apresenta vulcanismo preenchendo zonas de faturamento de tensão das rochas encaixantes de idade oligocênica (28,6 - 9 milhões de anos), apresentando similitude química e petrográfica com os fonólitos de Fernando de Noronha (Vandoros & Oliveira, 1968 *apud* ALMEIDA *et al.*, 2006).

A cobertura sedimentar costeira é constituída por depósitos Quaternários, representados principalmente pelos sedimentos arenosos. Os depósitos eólicos se estendem por toda a costa, sendo formados por areias finas a médias, bem a moderadamente selecionadas, com cores que variam no intervalo de branca a avermelhada. (CARVALHO *et al.*, 2006; BRANDÃO, 1998). Estes depósitos, invariavelmente, formam dunas de portes variados, que têm sido agrupadas em distintas gerações (CARVALHO & MAIA, 1990; CARVALHO *et al.*, 1994; MAIA, *et al.*, 1998; MAIA *et al.*, 2005) que, em geral, comportam os diferentes tipos morfológicos. (FIGURA 12)

Figura 12 - Afloramento da Formação Barreira na Prainha de Aquiraz.



Fonte: Próprio autor, 2011.

Na desembocadura do rio Pacoti, foram definidos vários perfis de variação do nível do mar representados pelos terraços marinhos holocênicos, no curso da crista de praia, rochas de praia (*beach rocks*), plataforma de abrasão, geração de dunas, lagoas, lagoas e paleomangues (OLIVEIRA & MEIRELES, 2010). Na barra do Pacoti, afloram arenitos de praia (*beach rocks*) (FIGURA 13), formando corpos alongados na zona de estirâncio e na zona de arrebentação, constituídos por sedimentos praias, cimentados por carbonato de cálcio e magnésio, com diagênese de média a alta (NASCIMENTO & CARVALHO, 2006).

Figura 13 - Presença de *beach rocks* e afloramentos na desembocadura do rio Pacoti.



Fonte: Próprio autor (2011)

Os compartimentos geomorfológicos da área de estudo são na direção do oceano-continente, os seguintes: faixa de praia (*beachface*), dunas frontais, planícies de deflação eólica e dunas fixas (OLIVEIRA e MEIRELES, 2010). Os depósitos fluvio-marinhos colonizados por manguezais estão representados pelas desembocaduras dos estuários do rio Pacoti e Catú.

Aspectos Fisiográficos

O quadro fisiográfico da área de estudo é representado pelas dunas e praias. Essa subcompartimentação das feições do modelado é estabelecida com base nos domínios estruturais de SOUZA (2000). Assim, o domínio dos depósitos sedimentares Cenozóicos é constituído pelas exposições Terciário-Quaternárias da Formação Barreiras e pela ocorrência subatuais e atuais de paleodunas, colúvios, sedimentos de praia e aluviões.

A faixa de praia e o campo de dunas representam os subcompartimentos de maior representatividade espacial da planície litorânea. A faixa de praias arenosas apresenta, comumente, extensos estirâncios, cuja continuidade só é interrompida pela ocorrência de falésias vivas elaboradas em sedimentos da Formação Barreiras. (MORAIS *et al*, 2006).

A compartimentação macro do litoral de Aquiraz é estabelecida no sentido oceano-continente pela face de praia (*beachface*) e bancos arenosos que podem ser denominados, segundo Hesp (2002), por terraços de dunas frontais. Em seguida, pelas dunas móveis representadas pelas dunas frontais (*foredunes*) pela sua maior extensão nas praias estudadas e pelas dunas fixas divididas segundo sua idade cronológica em três gerações. Nos depósitos fluvio-marinhos, a planície fluvio-marinha é representada pelo rio Pacoti e a planície fluvial pelo rio Catú.

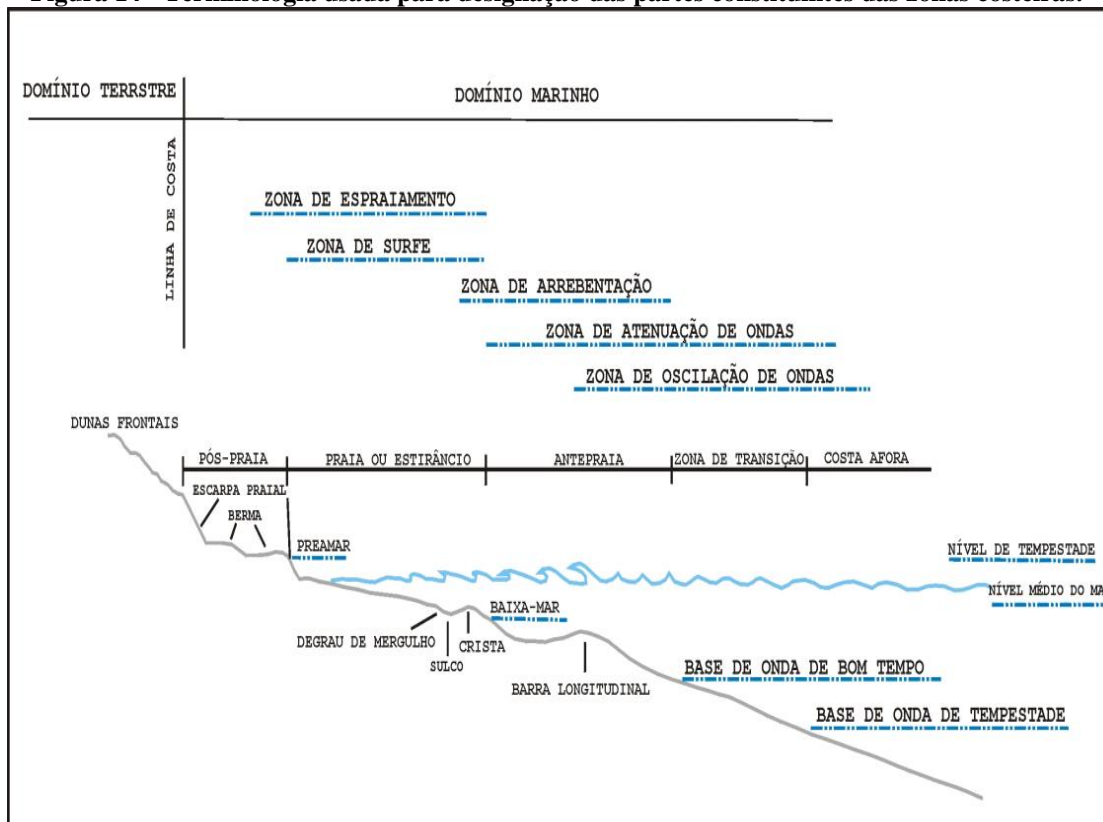
2.2.1 Praia

Praias ocorrem em todas as linhas de costa sedimentares expostas a ondas. Elas são entre os sistemas físicos mais dinâmicos da superfície da Terra, e ocorre em costas onde quer que haja sedimento suficiente para as ondas depositem-nas acima do nível do mar. Quase sempre, tanto a sua morfologia externa quanto a suas características internas podem apresentar modificações induzidas por atividades de correntes longitudinais e de maré. (SHORT, 1999; SUGUIO, 2003)

As praias constituem sistemas dinâmicos, onde elementos básicos como ventos, água e areia interagem, resultando em processos hidrodinâmicos e deposicionais

complexos (Brown & McLachlan, 1990 *apud* WRIGHT & SHORT, 1984), e compreendem uma porção subaérea (supra e mediolitoral) e outra subaquática que inclui a zona de arrebentação e se estende até a base orbital das ondas (WRIGHT & SHORT, 1984) Portanto, considera-se, que o perfil de uma praia possa ser dividido, no sentido continente – oceano, em: pós-praia (*backshore*), praia ou estirâncio (*foreshore*), antepraia (*shoreface*) e zona de transição (*transition zone*). (FIGURA 14).

Figura 14 - Terminologia usada para designação das partes constituintes das zonas costeiras.



Fonte: Wright & Short (1984).

Disponível em: <http://dc236.4shared.com/doc/XmSOzMBw/preview.html>

Especificamente na área, a topografia extraída por perfis transversais a linha de costa foram identificadas como moderadamente inclinadas a inclinadas (MOURA & MORAIS, 2011) marcada por exposições de rochas de praia, as quais formam cordões paralelos à linha costa, próximo à desembocadura dos principais rios (BRANCO *et al*, 2005).

No perfil de inverno, a praia apresenta uma inclinação média de 5° tendendo a horizontalidade, com ângulos mais fortes na bermas. Neste período, observa-se a concentração de sedimentos grossos nos níveis superior e inferior do estirâncio. No

Perfil de verão, tem-se uma praia com inclinação média de 15°, onde os sedimentos são mais homogêneos e a linha de berma melhor definida. O material apresenta-se com areias finas a média no nível superior do estirâncio e medias a grossas no inferior. (CARVALHO *et al*, 1994) (FIGURAS 15 e 16).

O clima de ondas é um dos principais parâmetros que irá determinar a tendência de uma praia em ser refletiva, dissipativa ou intermediária e até mesmo na sua variação entre esses estágios. Com base nos trabalhos desenvolvidos SHORT, (1979; 1993), WRIGHT & SHORT, (1984), WRIGHT *et al*, (1985), pôde-se obter a classificação morfodinâmica das praias do Ceará e, particularmente do litoral em questão.

Figuras 15 e 16 - Praias do setor Oeste de Aquiraz.



Fonte: próprio autor (2012)

Na análise morfodinâmica houve o predomínio dos estágios intermediários de praia em cúspide, com porcentagem de 58,4% (PINHEIRO, *et al*, 2003) na praia do Iguape e predominância do tipo refletiva (27% a 35%) com estágios intermediários do tipo Barra e Calha Longitudinal (25%) e Terraço de baixa-mar (12,5%) (OLIVEIRA, 2009), nas demais praias no leste de Aquiraz. Com relação as praia a oeste, Moura (2012) identificou que 51,3% são de estágios intermediários, 25% estágios refletivos e 23,6 % para estágios dissipativos. São praias que possuem bancos arenosos dispostos paralelos da linha de costa e fortes correntes de retorno. Alguns setores possuem a antepraia mais inclinada características de praias refletivas.

A cor dos sedimentos das praias informa quais minerais as compõem e quais deles ocorrem com maior predominância, isto também revela a fonte/origem desses sedimentos. Sendo assim, CARVALHO *et al* (1994) identificaram que em Aquiraz, as areias variam de amarelados a acinzentados composto basicamente por grãos de quartzo. Como acessórios observam-se, com frequência, turmalina verde, turmalina preta, monazita, ilmenita, muscovita, fragmentos de algas e conchas.

Ambientes associado às praias é de suma importância para sua manutenção sedimentar. São os ambientes fluvial e/ou flúvio-marinhos com rios que cortam os continentes transversalmente a linha de costa e que deságuam, na sua maioria, no oceano. Destes, limitando a área de estudo, têm-se os rios Catú e o Pacoti respectivamente. O primeiro, atualmente, em sua desembocadura, evoluiu para uma lagoa, devido a fatores naturais (transporte eólico e migração da duna) e antrópicos (construção de barragens e assoreamentos por desmatamento). O segundo possui caráter relevante para a Região Metropolitana, pelo abastecimento, principalmente da capital, como a contribuição hídrica e sedimentar às praias a sotavento do rio.

Outra fonte essencial para estas praias é proveniente das dunas e, no litoral de Aquiraz está bem representado, tanto pelo seu aporte quanto pelo fator clima que favorece a migração sentido praia ou rio, que serão mais detalhados a seguir.

2.2.2 Duna

Dunas eólicas costeiras ocorrem onde existe grande suprimento de sedimentos arenosos com granulometria fina, ventos constantes de mover as areais e um local apropriado onde estas podem se acumular. As planícies costeiras são, portanto, ambientes apropriados, onde estas condições são observadas em diversos locais. No entanto, a morfologia das dunas é largamente controlada pelo clima, em função da interação com a vegetação, que se desenvolve principalmente nas áreas úmidas, e que age no sentido de fixar os campos de dunas. (SILVA *et al*, 2005).

A função da duna além do fornecimento de areias para alimentação da praia, também serve de anteparo/proteção da zona costeira a entrada de fortes ondas e períodos de marés meteorológicas e astrológicas. As areias das dunas também são

objeto de estudo quando comparadas as areias de praia, das quais, conforme Shepard & Young (1961) indicam a direção e posição aproximada da linha de costa numa sequência estratigráfica, pois diante a variação do nível do mar, praia e dunas podem ser encobertas formando uma sequência estratigráfica ou na ocorrência de uma subsidência do terreno.

De maior expressão no estado do Ceará (barcanas, barcanoides, transversais e frontais), essas dunas migram na direção do continente, capeando gerações de dunas mais antigas, terrenos dos tabuleiros e obstruindo as drenagens costeiras e desembocaduras fluviais. (MUEHE, 2006).

A riqueza desse ambiente é observada em toda a extensão do litoral de Aquiraz, nas mais diversas características morfodinâmicas e fisiográficas. Majoritariamente são do tipo ativas (MCKEE, 1979), dentre as quais são destacadas as dunas barcanas, longitudinais, parabólicas, *blowouts* e frontais (*foredunes*), esta de maior expressão pela sua extensão e objeto de estudo juntamente a faixa de praia. Dunas frontais (*foredunes*, *dunes bordières*) são cristas dunares arenosas vegetalizadas formadas nos setores mais próximos do mar das faixas de pós-praia.

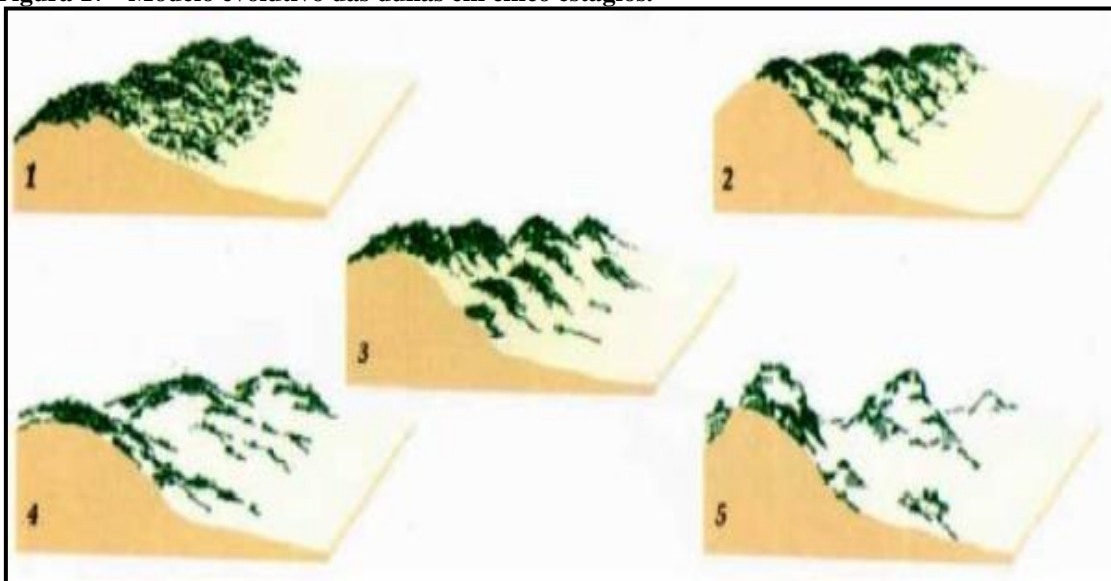
As dunas seguem um modelo evolutivo de médio a longo termo dividido em cinco estágios, que podem ser aplicados em costas prográdantes, estáveis ou em erosão. Os estágios extremos compreendem o estágio 1 caracterizado por dunas com topografia simples, lateralmente contínuas e bem vegetadas (90-100%), e o estágio 5 onde grande parte das dunas frontais foram removidas por ação dos ventos e/ou ondas, permanecendo apenas montículos remanescentes e segmentos dos cordões. (HESP, 1988; 2002). Esta duna localiza-se por quase toda a extensão estudada, notadamente, a praia do Japão. (FIGURA 17)

Elas podem ser formadas em uma diversidade de ambientes litorâneos: na faixa de praia em mar aberto, baías semifechadas, estuários, lagos e lagoas lagoas (Zenkovich, 1967; Goldsmith, 1989, Nordstrom, 1992 *apud* HESP, 2002), em praticamente todos os tipos de climas, das áreas tropicais ao Ártico, e.g. Wong (1978 *apud* HESP, 2002). Os estágios da duna frontal são bem semelhantes às dunas de Aquiraz. Por exemplo, na praia do Japão, ocorrem os estágios 1, 2 e 3. Na Prainha, pouco é visualizado devido a ocupação, assim como, no Porto das Dunas, do qual em ambas a duna é apresenta no estágio 5. Assim, conclui-se que, os estágios/evolução tem

relação com a degradação por meios naturais quanto antrópicos, além de um forte indicador da dinâmica local e de alguns diagnósticos do que possa ter ocorrido em médio a curto prazo.

As cadeias de dunas transversais quando isoladas formam as dunas barcanas onde estão com as extremidades na direção do vento e parte côncava em direção contrária. Segundo BRANCO *et al* (2003) estão localizadas próximas ao Catú e mais para o sentido da Prainha. Dunas dômicas são as que têm o formato circular com a presença de vegetação no seu topo. Sua formação está relacionada à área de deflação eólica com retirada da areia de sua base, ou seja, área de ocorrência erosiva. Podem ser encontradas na praia do Porto das Dunas e espaçadas próximas à desembocadura do Pacoti. (FIGURAS 18 e 19).

Figura 17 - Modelo evolutivo das dunas em cinco estágios.



Fonte: HESP, 1988 in <http://www.praia.log.furg.br/praiaduna/estagios%20morfo-ecologicos.htm>.
Consulta em: 14 de fevereiro de 2014.

É de fundamental importância o monitoramento da migração das dunas móveis e da preservação das dunas fixas e paleodunas, uma vez que, os lençóis freáticos e mananciais advêm de sua fixação e sedimentação propícia quando associados à formação barreira, afim da aplicação de medidas de planejamento e gestão nas atividades socioeconômicas existentes a serem desenvolvidas na zona costeira.

Figuras 18 e 19 – Na sequencia duna frontal na praia do Japão e duna dômina na praia do Porto das Dunas.



Fonte: Próprio autor (2012; 2007).

Aspectos Climáticos

Na região litorânea de Aquiraz, o clima é do tipo Tropical Quente Sub-úmido, com temperatura média que varia entre 26° a 28°. O período chuvoso ocorre entre os meses de janeiro a maio e a pluviosidade média anual é de 1.379,9 mm. (IPECE, 2012). A precipitação no Estado do Ceará, de um modo geral, ocorre entre os meses de janeiro a maio, com concentração nos meses de abril e maio. Nos demais meses, acontecem chuvas localizadas, principalmente, no litoral, porém, os valores chegam a quase nulos. Essa restrição da quadra chuva deve-se além do fator clima, a ocorrência de outro fenômeno chamado Zona de Convergência Intertropical – ZCIT. **(FIGURA 20)**

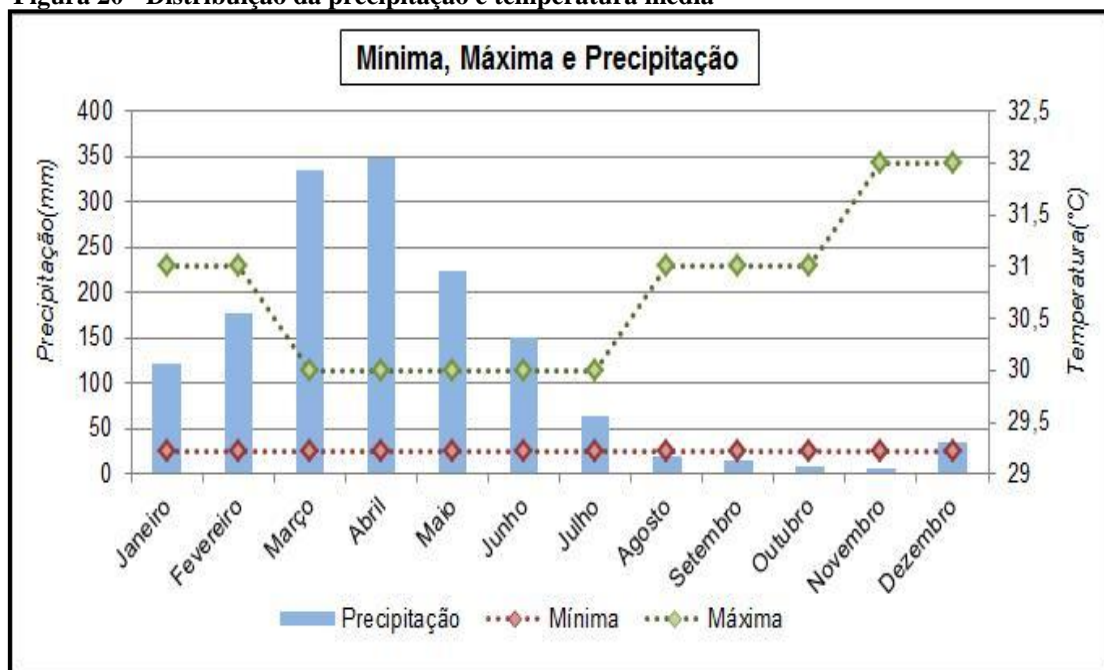
A ação eólica no litoral do Estado do Ceará é destacada pelo seu potencial e abundância no transporte das areias das dunas e das praias, na formação das ondas e marés e das correntes longitudinais e superficiais oceânicas. Portanto, tem papel essencial na dinâmica costeira, particularmente, no município de Aquiraz. Assim, a área estudada está localizada na região nordeste brasileiro, e o sistema de ventos predominante são os ventos alísios na faixa Equatorial. Segundo os dados obtidos pelo Banco de Dados Meteorológicos – BDMEP/INMET, para a série histórica compreendida entre 1970 e 2013, mostram que, a direção predominante dos ventos no

primeiro semestre do ano é de E-NE (60°-90°) com predominância para E, e no segundo semestre E-SSE, tendendo para SE (120°-150°). As velocidades médias variam ao longo do ano entre 4 e 10 m/s (MAIA, 1998). Nos períodos de estio prolongados e com temperaturas mais elevadas, a tendência é o enfraquecimento do vento (XAVIER & XAVIER, 1987; FUNCEME, 2013).

Com relação à alimentação das praias, a precipitação é importante quando promove o aumento do volume hídrico dos rios, contribuindo no transporte de sedimentos para as praias e na manutenção dos ambientes costeiros.

Santos & Manzi (2011) estudaram quatro índices de eventos climáticos extremos derivados da precipitação diária para o Estado do Ceará e as anomalias da TSM envolvendo várias metodologias, dentre eles o de Zang *et al* (2005) e índices estatísticos do *software* RClindex 1.9.0. Assim, foi observado um aumento ($p < 0,05$ ou 95%) de dias consecutivos secos para Canindé e Fortaleza. Isso significa que em 10 anos, terá um aumento de 2 a 3 dias seco e diminuição dos eventos fortes de precipitação para as localidades.

Figura 20 - Distribuição da precipitação e temperatura média



Fonte: FUNCEME (2013)

Essa tendência, para a zona costeira, é algo preocupante, pois atinge diretamente, no volume hídrico dos rios, perdendo a capacidade de transportar os sedimentos para o oceano e manutenção dos ambientes fluviais e lagunares e faixa de praia. Por outro lado, as dunas móveis ficam expostas a ação dos ventos, diminuindo assim, sua altura, volume e morfologia.

Aspectos Oceanográficos

O clima de ondas apresenta uma forte sazonalidade, associada diretamente ao comportamento dos ventos dominantes. Quando os ventos dominantes são os alísios de Nordeste, as ondas alcançam à costa do Ceará completamente desenvolvidas com direção variando entre 0° e 60° na forma de *swell*. No restante do ano, com a migração da Zona de Convergência Intertropical - ZCIT para norte e o predomínio dos ventos alísios de sudeste, as ondas atingem a costa na forma de *sea* com direção entre 60° e 120°. (CLAUDINO-SALES *et al*, 2006ab).

No litoral do Ceará, 72 % das ondas predominantes são as do tipo *sea* com períodos entre 4 e 9 segundo dados coletados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias – INPH (2001). Por outro lado, no primeiro semestre, as ondas *swell* são as que dominam a costa cearense, principalmente, entre final de dezembro a abril, com picos entre 10 a 16 segundos. No segundo semestre (setembro-outubro) também há entrada de *swell*, que na maioria das vezes, promove a engorda da praia, pela melhor dissipação de energia comparada ao primeiro semestre, conhecida como as ondas de alta energia.

A altura máxima ($H_{m\acute{a}x}$) da onda, medida há 20 metros de profundidade no ponto de quebra, no porto do Pecém, entre 1997 e 2001, em estudos realizados por SILVA *et al* (2011), apresentou uma média anual de 2,05 metros, destacando fevereiro com valores de 2,37 metros em 1997. Em 2000, a altura máxima foi verificada entre agosto e outubro medindo 2,58 metros e, em 2001, no mês de janeiro, foi observada altura máxima de 2,49 metros. Enquanto que, a altura significativa na arrebentação (H_b) foi em média 1,58 metros com picos de até 2,68 metros em 2000.

Valores semelhantes foram medidos, para a mesma data, no porto do Mucuripe, com os dados obtidos através de um ondógrafo do tipo boia, instalado nas

coordenadas 03°29'31"S - 38°59'03"W, há 18 metros de profundidade da costa pelo Instituto Nacional de Pesquisa Hidroviária (INPH, 1998) utilizado nos estudos de Schettini *et al* (2011).

As marés na região são representadas por ondas semidiurnas com período médio de 12,4 h e defasagem média de 50 minutos (MORAIS, 1980). Outros tipos de marés também são importantes à dinâmica costeira que somada à ocorrência de ondas *swell*, com maior energia promovem mudanças significativas na morfologia praial, como é o caso das marés meteorológicas e equinociais. (SUGUIO, 1992; TEIXEIRA *et al*, 2007).

As marés tem função importante no clima de onda de uma praia. Normalmente, a zona de arrebentação varia de acordo com o ciclo de maré, mudando assim, de tamanho, altura e forma de arrebentação. Essa mudança também intervém na quantidade de sedimentos postos em suspensão pelas ondas em cada ciclo de maré. Da mesma forma, as correntes de marés também participam no transporte sedimentar, quando na interface entre uma preamar e baixamar, no entanto, em costas baixas e marés de grandes amplitudes terão maior significância.

Dependendo do seu agente a maré pode ter algumas características particulares. Uma delas é a maré meteorológica que significa, conforme Pugh (1987), a diferença entre a maré observada e a maré astronômica. Viana (2000), citado por PAULA (2012) calculou que ondas de 20 segundos viajam no oceano com velocidade média de 1.375 km/dia, de maneira que um pacote de ondas causadas por um furacão em 45N levaria 3,8 dias para chegar ao litoral de Fortaleza.

O mesmo autor observou por meio de imagens do satélite *Topex/Poseidon* que no dia 18/10/99 havia a formação de um furacão na região dos Açores. Complementar a essas informações, o INPH noticiou por meio do seu técnico em Fortaleza, no dia 23/10/99, registrados pelo seu ondógrafo (instalado ao largo do Porto do Pecém) ondas com ($H_{m\acute{a}x}$) de 4 metros e (H_s) de 1,7 metros, (T_p) de 20 segundos com direção de 35°.

A corrente longitudinal tem direção predominante para NW cujas velocidades na região de Fortaleza variam de 8 cm/s^{-1} a 68 cm/s^{-1} na superfície e de 7 cm/s^{-1} a 12 cm/s^{-1} no fundo (MAIA,1998). MOURA e MORAIS (2011) utilizando equações semiempíricas, estimaram para a zona costeira de Aquiraz para o período

entre 2007 e 2008 velocidades de correntes longitudinais de 0,01 m/s no período de chuvas e de 0,04 m/s no período de estiagem.

Considerações Finais

Qualquer ambiente natural está sujeito às modificações ao longo dos tempos e o ambiente costeiro não foge a essa regra. Reforça-se ainda que se tornou um espaço atrativo e cobiçado pelo setor econômico, com destaque para o turismo e a moradia de luxo. Portanto, é visto frequentemente a perda de praias, dunas, manguezais, demais ecossistemas e recursos hídricos pela pressão exercida com as construções e usos exploratórios, causando vulnerabilidades e riscos de várias naturezas (dentre elas, risco a erosão) e dizimação das populações ribeirinhas.

Mediante o que foi dito, se faz necessário, o conhecimentos dos agentes que compõem o ambiente costeiro de cada local, sua geologia e, conseqüentemente, as feições morfológicas que evoluíram até o presente e que se apresentam como tal. Incluem-se também, os parâmetros climáticas e oceanográficos que atuam constantemente, pois como é sabido, trata-se de um ambiente dinâmico e, esse comportamento é fundamental ao planejamento e uso racional dos recursos naturais e manutenção desses ambientes.

Outra importância, a partir dos dados, está na busca de soluções aos problemas identificados como erosão, inundação e recuo da linha de costa, eventos extremos, dentre outros e como esses mesmos problemas podem ser previsto e/ou evitados futuramente.

EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA DE AQUIRAZ E IMPACTOS

Introdução

As taxas de recuo da linha de costa constituem um dos melhores índices de monitoramento da erosão costeira, principalmente quando esta atinge estágios avançados. Na maior parte dos casos, este índice é mais explícito e, frequentemente, mais confiável do que somente a avaliação do volume erodido (DIAS *et al*, 2005). Os recuos da linha de costa são causados e potencializados pela falta de sedimentos, obras de engenharia, aumento do nível do mar e eventos de alta energia (DOUGLAS, 1991; SMITH *et al*, 2004; ROSATI, 2005; PATSCHI & GIGGIS, 2006; MASSELINK *et al*, 2009; BENDER *et al*, 2010).

A diminuição da quantidade de sedimentos é responsável pelo recuo da linha de costa em várias regiões do país e podem ser decorrentes das diversas atividades humanas no interior das bacias hidrográficas, da fixação das áreas de *by pass* de sedimentos na própria zona costeira, dragagens, obras costeiras e a ocupação (MASSELINK & RUGHES, 1998; LEONT'YEV, 2003; TOLDO Jr, *et al*, 2004; DEAN & DALRYMPLE, 2004; CIAVOLA, *et al*, 2007; RUGHES & NADAL, 2009).

A sazonalidade dos processos climatológicos e oceanográficos, como é observada no Nordeste do Brasil, são responsáveis por alternâncias entre ciclos de erosão e assoreamento de praias. A adaptação ao cenário de elevação do nível do mar e o aumento de frequência dos eventos de alta energia é um grande desafio na atualidade para o reordenamento territorial e manejo de costas urbanizadas, considerando os impactos na infraestrutura e nos serviços a ela associados (CALLIARI, *et al*, 1998; MORAIS, *et al*, 2009; MACEDO, *et al*, 2012).

Dessa forma, ocorrem características/compartimentação na zona costeira que podem sugerir aspectos de erosão e diminuição da largura da faixa praial. Segundo Muehe (1996), as feições mais usuais para determinar a linha de costa e utilizadas nos monitoramentos como indicadores de erosão são as seguintes: base da duna frontal, linha de vegetação, base da falésia e a linha de inundação da berma máxima nas preamares de sizígia.

Existe uma preocupação na determinação e avaliação dos impactos na costa, pois, várias áreas costeiras no Brasil estão sob estado de alerta sejam eles por processos avançados de erosão e inundações mais frequentes. No Nordeste brasileiro, especificamente na cidade de Recife, a praia de Boa Viagem perdeu aproximadamente 2,5 km de faixa arenosa desde a década de 1990 (MAI, 2010). O diagnóstico divulgado pelo Ministério do Meio Ambiente – MMA (2010) aponta que metade do litoral da Paraíba (70 km) está ameaçada pela erosão.

No Litoral Cearense, nos próximos dez anos, quatro praias desaparecerão, são elas Barreira (Icapuí), Caponga (Cascavel), Icarai (Caucaia) e Morgado (Acarau) (MORAIS, *et al.*, 2006). Na região metropolitana de Fortaleza se destacam os estudos de MEIRELES (2008), PINHEIRO (2000), PINHEIRO *et al* (2001), MORAIS *et al* (2006), MAIA *et al* (1998), OLIVEIRA *et al* (2005) OLIVEIRA & MEIRELES (2008; 2010).

Em outras zonas costeiras, notadamente, na Europa e EUA, Ceia *et al* (2010) destacam que as tempestades foram apontadas como as principais causas do avanço do mar e destruição de dunas frontais e faixa de praia no Sistema da Ria Formosa, em Portugal. Nas praias de Sidney, na Austrália, o recuo da linha de costa é associado aos eventos de tempestades e a quantificação dos seus impactos foram utilizadas como variáveis no planejamento costeiro (CALLAGHAN *et al*, 2009).

É perceptível que os fenômenos naturais e forçantes humanos assumem escala a nível mundial, mas principalmente são observados nas escalas regionais e locais, onde a severidade desses eventos se dá consonante a latitude, geologia, parâmetros oceanográficos, morfologia, granulometria, nível de ocupação e exploração da zona costeira. Para o estudo mais detalhado, recursos cada vez mais sofisticados estão a favor da ciência, desses podemos citar as imagens de satélite e fotografias aéreas.

As imagens de sensores remotos de diferentes épocas são importantes saídas no monitoramento das zonas costeiras, pois convertem a análise multitemporal em uma excelente ferramenta para auxiliar estudos geomorfológicos costeiros, ao estender informações pontuais de uma área para um contexto geográfico, possibilitando o entendimento da história evolutiva destes sistemas (TREBOSSSEN *et al*, 2005; CHU *et al*, 2006).

Em face do exposto, o objetivo deste capítulo foi estabelecer a evolução da linha de costa do município de Aquiraz no período de 1958 a 2014 e de 2009 a 2014 para identificar as tendências à erosão e assoreamento, os tensores naturais e antropogênicos associados a estes processos.

Vale ressaltar que todo e qualquer estudo sobre a zona costeira deve levar em consideração a identificação dos processos que nela operam, bem como a definição dos fatores e a compreensão dos mecanismos que controlam, além de contribuir com a informação necessária para um desenvolvimento racional, um manejo e uma conservação da zona costeira e de seus recursos (MARTINS *et al*, 2004). Nessa etapa, tanto em imagens quanto em trabalhos em campo foram verificadas todas as feições existentes e trabalhadas como indicadores.

3.2 Metodologia

Para o estudo foram utilizadas imagens *Quickbird* para a projeção *Datum* WGS 1984 - Zona 24S de 2004 e 2009, na escala de 1:4000, cedidas pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente – SEMACE, imagens *LANDSAT* de 1988 e 1999 com *Datum* WGS 1984 - Zona 24S e escala de 1:60.000, cedido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, imagens *Quickbird* de 2013 e 2014 para a projeção *Datum* WGS 1984 - Zona 24S e escala de 1:4000, extraídas do *Google Earth*, e fotografias aéreas na escala de 1:8.000 datada de 1975 cedida pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA e de 1958 na escala de 1:4000 pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Quanto às demais características (Divisão de Processamento de Imagens - DPI e Representatividade do Pixel no Terreno em metros) estão descritas na **Figura 21**.

Foi gerado o mosaico das fotografias em formato digital. O georreferenciamento das faixas foi realizado no *software* ArcGis 9.3, pela licença do laboratório de oceanografia geológica – LOG, a partir de 04 pontos de controle, como as estradas, pois eram as únicas identificações presentes e com maior nitidez encontradas tanto nas fotografias aéreas quanto nas imagens de satélites.

A imagem escolhida como base cartográfica para os cálculos foi a de 2014, e as demais, com a finalidade de comparação, foram às fotografias de 1958, 2009 e

2013. As únicas imagens que deram resultados duvidosos foram da *LANDSAT* devido à Representatividade do Pixel do Terreno ser igual ou acima dos 5,0 metros, o que significava menor detalhe ao aumentar a escala da imagem, embaçando-a.

Figura 21 - Características das fotografias aéreas e imagens de satélite.

Ano	Imagem	Escala	DPI	Fonte	Representatividade do Pixel no terreno (m)
1958	Fotografia aérea AerofotoNordeste	1:4000	300	DNOCS	0,34
1975	Fotografia aérea AerofotoNordeste	1:8000	300	CPRM	0,68
1988	LANDSAT/Spot	1:60000	300	LGCO	≥5,00
1999	LANDSAT/Spot	1:60000	300	LGCO	≥5,00
2004	QuickBird	1:4000	300	SEMACE	0,60
2009	QuickBird	1:4000	300	SEMACE	0,60
2011	Caminhamento com GPS	1:1000	1000	A autora	0,60
2013	QuickBird	1:4000	300	SEMACE	0,60
2014	QuickBird	1:4000	300	SEMACE (Base cartográfica)	0,60

Fontes diversas descritas anteriormente.

Quanto à linha de 2011 foi obtida pelo caminhamento por toda linha de preamar com o auxílio do aparelho *global position system* – GPS da marca Garmin, com precisão mínima de 3m, registrando não somente a linha de preamar, mas também áreas de ocupação e de erosão. O erro estimado do GPS de mão para o caminhamento na costa foi em metros (QUINTELA, 2014).

3.2.1 Critérios de Avaliação da Linha de Costa

A escolha do melhor indicador vai depender da morfologia mais evidente em determinada zona costeira ou aquela que melhor será visualizada nas imagens e fotografias e; ou àquela feição que, no decorrer dos resultados, forneceu maior

confiabilidade (CARVALHO & GHERARDI, 2005). Em diversos trabalhos, os critérios de avaliação da linha de costa adotados para representar indicadores de erosão foram as seguintes feições: base da duna frontal, linha de vegetação, base da falésia e a máxima linha d'água alcançada.

A linha máxima d'água alcançada foi o escolhido para esse trabalho, pois é o indicador mais nítido atribuído às tonalidades da areia entre a parte seca e a parte molhada, identificadas nas imagens e fotografias, além de serem visualizadas em toda série temporal. Mesmo assim, é preciso ter o cuidado de obter informações importantes como: data da imagem, qual a fase da lua que influenciará na maré, posição e horário para que não possa mascarar ou confundir a interpretação das feições cometendo erros classificados como grosseiros (**FIGURA 22**).

Alves-da-Silva e Ventura (2011) fazem uma alusão acerca do problema da interpretação quando afirmam que a linha de costa é intemporal e de dimensão fractal, separando a terra do mar e move-se a cada instante em função da maré, das condições dinâmicas do mar, e dos sedimentos móveis que aí se deslocam ou depositam. Nesta perspectiva é necessário introduzir o conceito de Faixa Litoral Ativa como sendo toda a superfície por onde se move a LDC [Linha de Costa], e que é de morfogênese ativa.

Porém, além da linha de costa, fundamental para abordagem por meio das imagens de satélite e fotografias aéreas, o estudo também se deteve ao critério morfológico duna frontal, pois esta se introduz como um fator preponderante quando se trata dos eventos de alta energia e o alcance das ondas próximas às dunas (espraçamento), na base (colapso), até a crista (galgamento) e ultrapassando-a (inundação), bem descrita por Sallenger (2000).

Dessa forma é necessário que todo e qualquer estudo sobre a zona costeira leve em consideração a identificação dos processos chave que nela operam, bem como a definição dos fatores e a compreensão dos mecanismos que controlam. (MARTINS *et al.*, 2004).

Nessa etapa, tanto em imagens quanto em campo foram verificadas todas as feições existentes e trabalhadas como indicadores. Uma delas poderia ser a duna frontal, porém, há trecho que inexistente devido à ocupação e, portanto, prejudicaria os resultados. Assim, a linha de preamar foi a melhor visualização em todos os setores e, dentre a mais utilizada a ser aplicada nos cálculos a seguir.

Figura 22 - Série de fotografias e imagens de satélite destacando a linha de costa como principal critério de avaliação da linha de costa em Aquiraz.

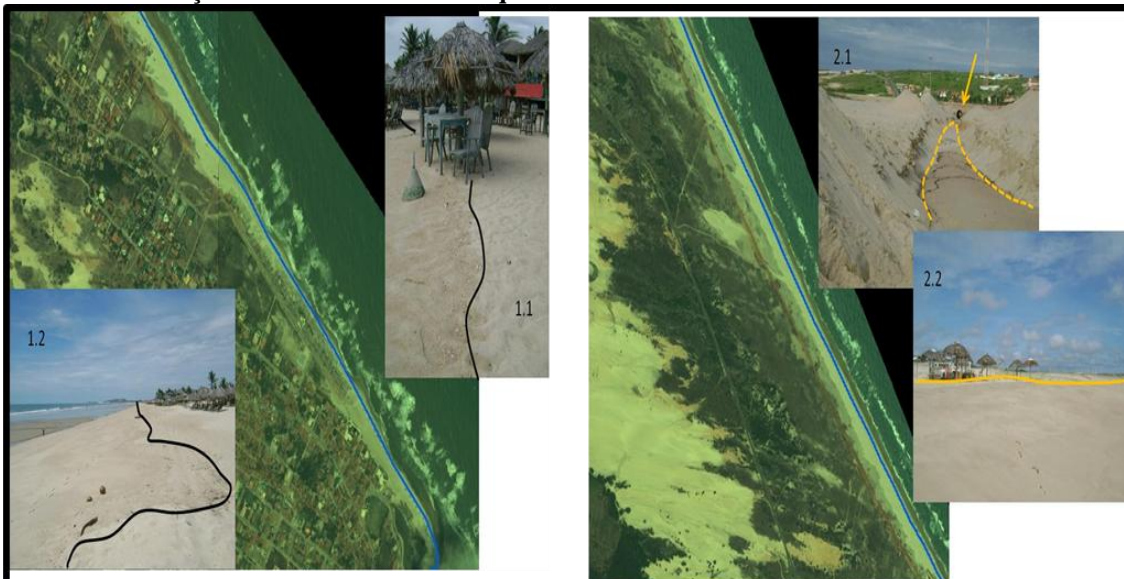


Figura. Setor bastante urbanizado por *resorts*, casas de luxo e parque aquático como o *Beach Park*, localiza-se na praia Porto das Dunas, onde pode ser observada na figura 3.1 as ondas espraíam muito próximas aos muros do *Beach Park*. Na figura 3.2 abertura de galerias formam escarpas na faixa de praia e escoamento de sedimentos. Fonte: próprio autor, 2011

Figura. Setor bastante urbanizado por *resorts*, casas de luxo e parque aquático como o *Beach Park*, localiza-se na praia Porto das Dunas, onde pode ser observada na figura 3.1 as ondas espraíam muito próximas aos muros do *Beach Park*. Na figura 3.2 abertura de galerias formam escarpas na faixa de praia e escoamento de sedimentos. Fonte: próprio autor, 2011

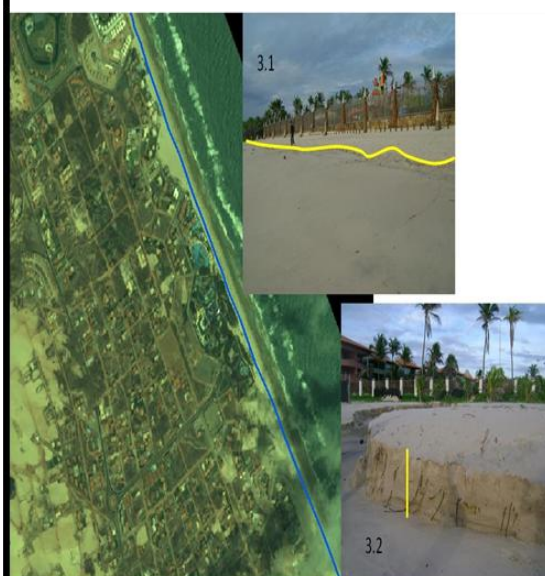


Figura. Mostra o setor 01 com a Prainha de Aquiraz bastante ocupada principalmente nas margens do rio Catú à direita da imagem; barracas na pós-praia. Fonte: próprio autor, 2011

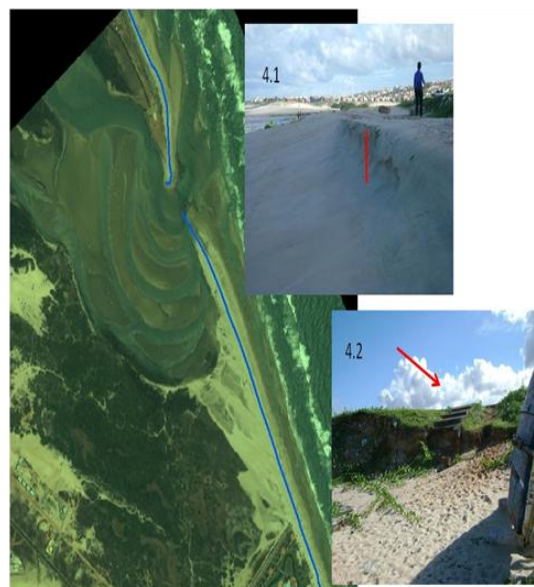
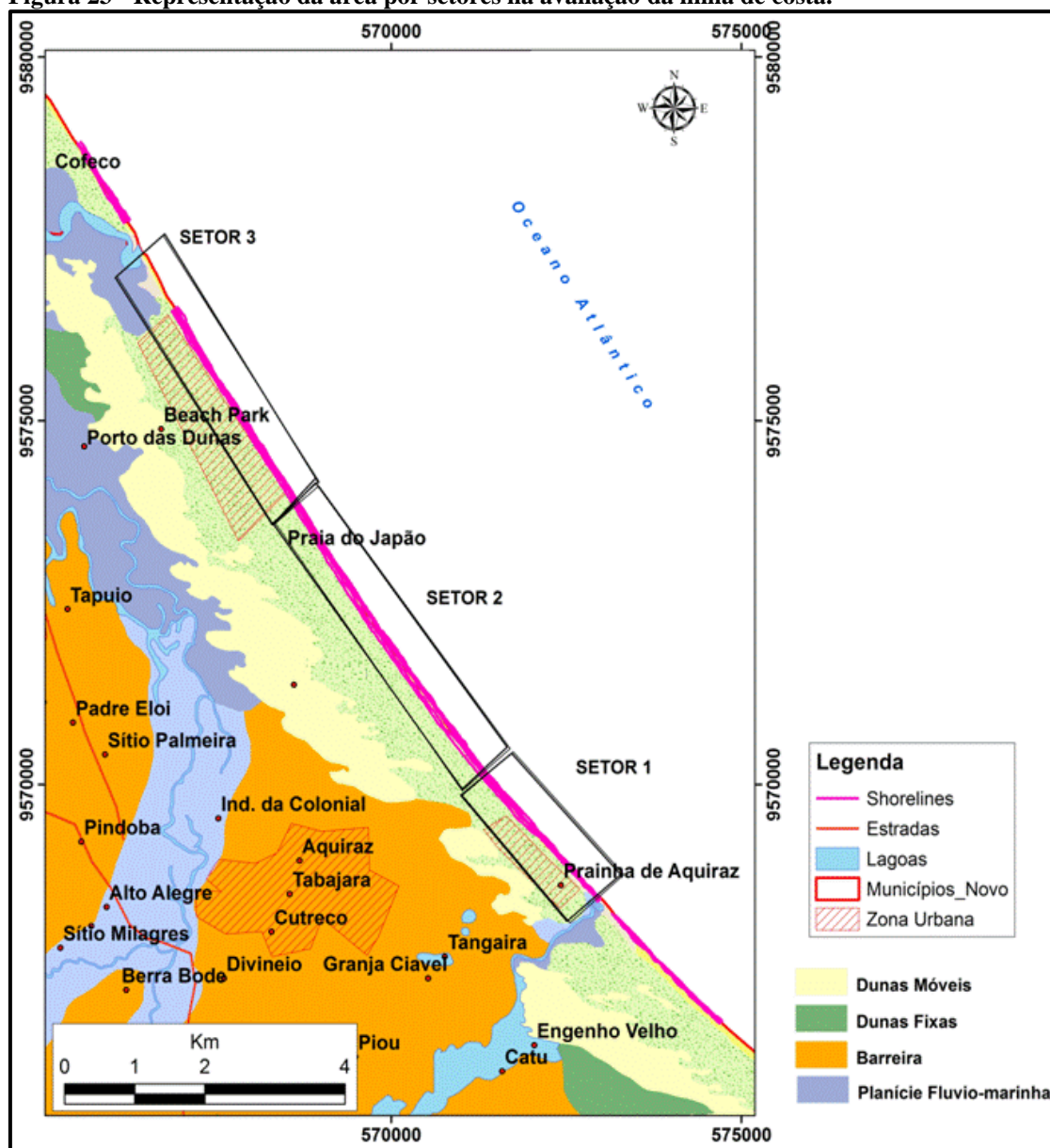


Figura. Este setor está localizado na praia do Japão. Área recoberta por dunas fixas e móveis como as do tipo frontal e sem urbanização; a figura 2.1 exemplifica o impacto antrópico nas dunas para construção de *resorts*; e figura 2.2 indica a linha d'água na preamar chegando às barracas. Fonte: próprio autor, 2011

Fonte: próprio autor (2011, 2012)

As taxas de mobilidade da linha de costa foram calculadas para as praias da Prainha, do Japão, Porto das Dunas e Cofeco, no município de Aquiraz. São praias classificadas, segundo as tipologias de Moraes (2007) como: Urbano residencial ou turística adensada (Porto das Dunas), Suburbana com ocupação pouco adensada (Prainha Velha e Cofeco), Balneário Consolidado e ocupada por população tradicional (Prainha) e isolada ou semi-isolada (Japão). (FIGURA 23).

Figura 23 - Representação da área por setores na avaliação da linha de costa.

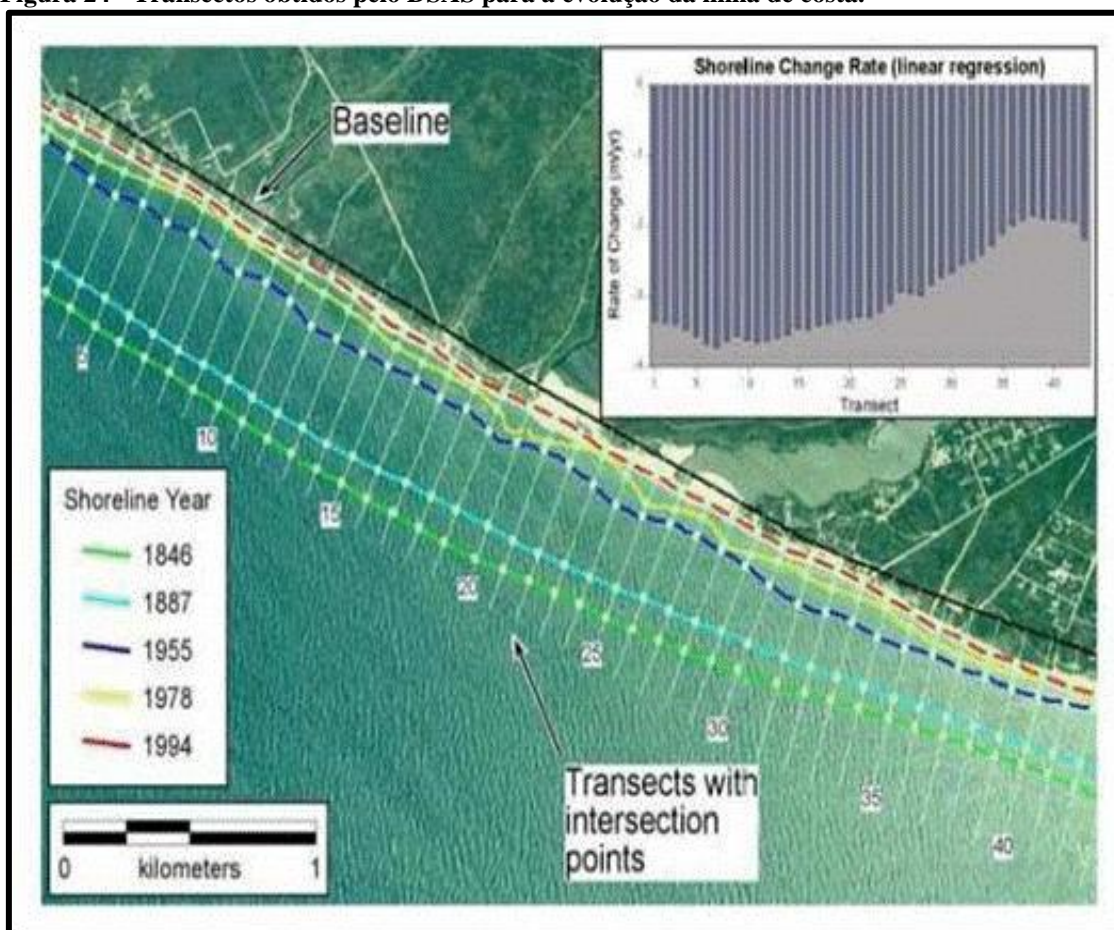


Fonte: Elaborado por Gastão, 2014.

3.2.2 Uso do Digital Shoreline Analysis System – DSAS 4.2

Nesta etapa, as linhas de costas foram vetorizadas em formato *shapefile*, através de dados temporais na ferramenta *Geographic Information System - GIS*, a fim de, quantificar a variação da linha de costa e notificar pontos mais críticos na área. A análise quantitativa da linha de costa foi obtida através da extensão *Digital Shoreline Analysis System – DSAS 4.2* desenvolvida por Thielert *et al* (2005) para a plataforma ArcGis®, gratuitamente fornecida <http://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/DSAS/>, da qual funciona no *Environmental Systems Research Institute* (ESRI). (FIGURA 24).

Figura 24 - Transectos obtidos pelo DSAS para a evolução da linha de costa.



Fonte: Thielert *et al* (2005).

http://geotools.csc.noaa.gov/program/Previous%20Programs/GeoTools%20presentations/Thurs/G02_Himmelstoss.pdf

O DSAS trabalha gerando transectos ortogonais a uma linha de base determinada pelo usuário (*baseline*) em um espaçamento definido e calcula então, as taxas de mudanças através de métodos estatísticos distintos que são mostrados em uma tabela de atributos. (FARIAS & MAIA, 2009; 2010)

Para calcular a taxa de variação da linha de costa (polígono praial) a partir de fotografias aéreas e mapas, os métodos computacionais mais utilizados são: **(a) ponto de terminação ou *End Point Rate (EPR)***, através do qual é medida a distância horizontal entre duas posições de linha de costa no tempo, preferencialmente ao longo de vários trechos da praia e envolvendo apenas dois períodos de tempo (é o método *proxy* mais utilizado nos Estados Unidos); **(b) média das *EPRs* ou *Average of EPRs (AEPR)***, através da qual diferentes *EPRs* são calculadas para vários períodos, sendo a taxa final a média aritmética do conjunto de valores obtidos; **(c) Regressão Linear Ponderada (*Weighted Linear Regression*)**, método estatístico no qual a melhor medida é dada pela soma dos quadrados das diferenças (mínimos quadrados) entre as várias posições da linha de costa obtidas no tempo e medidas em vários trechos da praia; **(d) Média dos Mínimos Quadrados (*Least Mean Squares*)** (DOLAN *et al.* 1991, HUNEYCUTT *et al.* 2001, ESTEVES *et al.* 2009).

Para o cálculo da área de cada setor foi utilizado o método **Regressão Linear Simples - LRR** da qual considera as inflexões existentes ao longo de cada linha de costa (Farias e Maia, 2010). Os valores negativos representam as áreas com erosão, enquanto que os valores positivos significam progradação na área.

Foram obtidas as áreas e calculadas as variações nos cinco períodos de referência: (1958 – 2014); (1988 – 2014); (2009 – 2014); (2013 – 2014). Em cada polígono de praia foram traçados transectos de controle, perpendiculares à linha de costa e aproximadamente equidistantes entre si, seguindo a metodologia de Souza & Luna (2009; 2010). Na verificação e comprovação do recuo ou avanço da linha de costa, os transectos foram distribuídos de tal forma que abrangem os pontos de monitoramento praial.

3.2.3 Cálculo da largura anual das praias e taxas de mobilidade

Os métodos *End Point Rate* (EPR) e *Average of EPR's* (AEPR) foram utilizados para o cálculo da largura anual das praias em cada transecto, obtida pela média aritmética. Seguindo a mesma metodologia, o EPR corresponde à diferença entre os valores de largura de cada transecto por período de referência e a AEPR é a média aritmética de cada EPR calculada para o conjunto de todos os anos assim como, foram calculadas as médias totais de variação de largura para cada praia, bem como, a média total das AEPR's. A metodologia utilizada e as técnicas de geoprocessamento permitiram o cálculo da taxa média de retrogradação ou progradação na razão entre a média das AEPR's e o intervalo de tempo considerado (56 anos).

3.3 Resultados e Discussões

3.3.1 Setor 1- Margens Esquerda do Rio Catú - Prainha de Aquiraz

A faixa de praia neste setor tem extensão variando de 250 m a 600 m com perfis de inclinação moderada (3° a 11°). É um setor com ocupação na pós-praia e faixa praias a desvio do curso dos rios por meio de barramentos e migração de dunas nos períodos de estiagem. De 1958 a 2014 entre os pontos 1 e 16 predominaram os processos de assoreamento com taxas que variaram de 0,50 a 1,5 m/ano. Entre os pontos 17 e 27 as taxas de erosão variaram de 0,30 a 1 m/ano (**FIGURA 25**).

Nesse setor a praia variou entre 1,65m/ano (T2) e -0,91 m/ano (T23) para o período de 1958 – 2014; 1,22m/ano (T5) e -0,96m/ano (T27) para o período de 1975-2014; 0,77m/ano (T12) e -1,87m/ano (T27) para o período de 1988-2014; -0,58m/ano (T4) e - 3,14m/ano (T27) para o período de 1999-2014; 0,95m/ano (T3) e -3,16m/ano (T27) para o período de 2004-2014; 2,79m/ano (T25) e -3,01 m/ano (T27) para o período de 2009-2014; 9,67m/ano (T17) e -2,74m/ano (T24) para o período de 2011-2014; 1,82m/ano (T17) e -28,19 m/ano (T27) para o período de 2013-2014. (**FIGURA 26**).

Nos últimos cinco anos, o transecto 27 foi o que se destacou com o trecho de maior erosão, localizado próximo da desembocadura da lagoa do Catú. Este setor é

bastante dinâmico. Destaca-se também a presença de casas de veraneio, barracas e a colônia de pescadores que formam atividades com uso e ocupação dos espaços costeiros e, isso tem sido notificado, na medida em que, a presença de estruturas favoreceram o aumento da erosão na Prainha.

Por outro lado, dos transectos 18 ao 27, todos sofreram perdas sedimentares, notadamente em 2009 e 2013. Este último foi o que obteve os maiores valores negativos, variando de -1,29m/ano e -28,19 m/ano. Assim, pode-se afirmar que a erosão foi mais severa deslocando-se sentido a desembocadura do Catú (T27), bem como, a tendência erosiva e de recuo da linha de costa se deu em pontos onde a ocupação é mais expressiva.

Observando o gráfico da figura 25, entre 1958 a 2014 houve uma acresção até o transecto 16 e depois houve uma perda considerável seguindo o percurso para a esquerda (sentido praia do Japão). Em contrapartida, entre 2009 e 2014, os mesmos transectos que tinham ganho sedimentos, estiveram experimentando erosão e recuo da linha de costa. Apenas tem como destaque, o transecto 25 que obteve um valor positivo nos resultados. Isso pode ser justificado pela mobilização dos donos de barracas em reformas no local, como por exemplo, levadas de areias são trazidas e assentadas na frente das barracas aumentando a largura e planificação do terreno.

Outro transecto que já foi mencionado aqui está o 27, bem próximo da desembocadura da lagoa e, como ambientes lagunares e fluviais, a movimentação da linha de costa e dos sedimentos são bem mais elevados que os ambientes vizinhos e, provavelmente, essa mobilização vai diminuindo a medida em que se afasta da desembocadura.

É nesse setor, que a montante, localiza-se a lagoa do Catú, uma desembocadura de um rio de nome homônimo, que por processos naturais foi barrado no seu baixo curso. O Rio Catú é considerado como curso fluvial de pequeno porte. No entanto, a Lagoa do Catú junto ao litoral, possui área e volume consideráveis (2,42 km² e 7.455.610m³, respectivamente) que é responsável por parte do abastecimento da Sede do município de Aquiraz. (GOMES, 2003; GOMES *et al*, 2008).

Figura 25 - Variações na linha de costa na praia da Prainha nos transectos para os períodos (1958-2014), (1975-2014), (1988-2014), (1999-2014), (2004-2014), (2009-2014), (2012-2014), (2013-2014) obtidas pelas médias (EPRs). Em destaque os transectos que correspondem aos pontos de monitoramento.

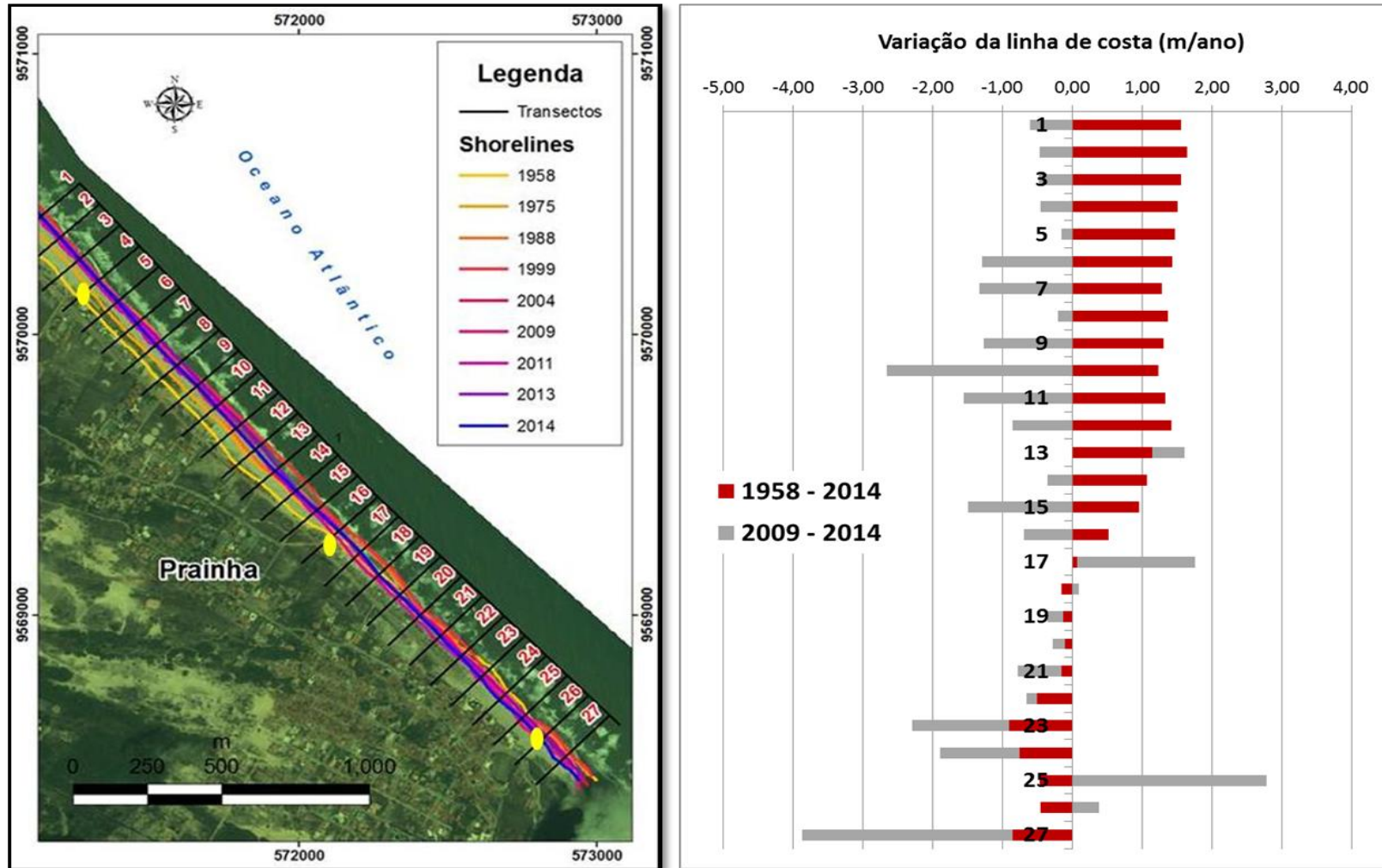
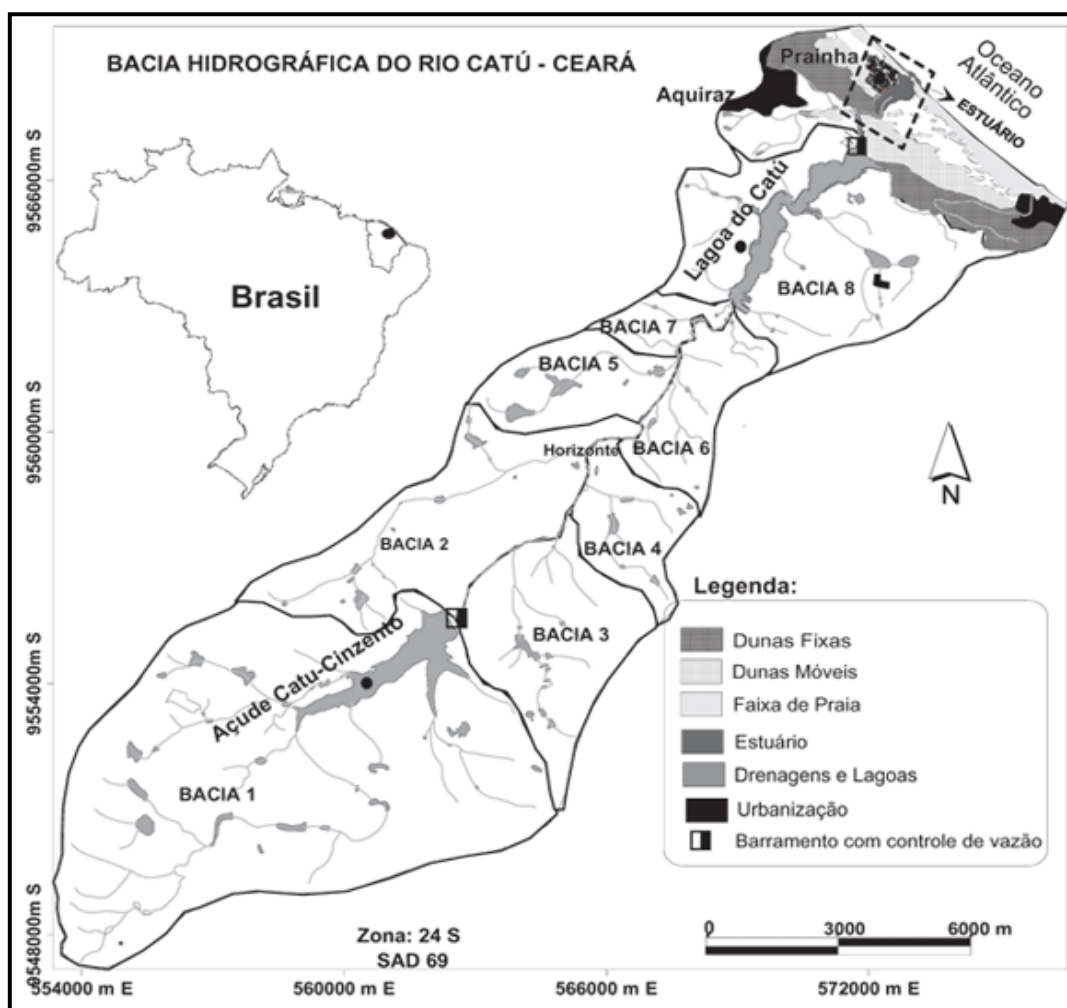


Figura 26 - Variações na linha de costa na praia da Prainha nos transectos para os períodos (1958-2014), (1975-2014), (1988-2014), (1999-2014), (2004-2014), (2009-2014), (2012-2014), (2013-2014) obtidas pelas médias (EPRs). Em destaque os transectos que correspondem aos pontos de monitoramento.

Transector	EPR 1958 - 2014	EPR 1975 - 2014	EPR 1988 - 2014	EPR 1999 - 2014	EPR 2004 - 2014	EPR 2009 - 2014	EPR 2011 - 2014	EPR 2013 - 2014	AEPR
1	1,56	1,04	-0,11	-1,36	0,78	-0,60	2,14	-3,61	-0,02
2	1,65	1,09	-0,25	-1,02	0,01	-0,47	3,90	-5,25	-0,04
3	1,56	0,94	-0,33	-0,87	0,95	-0,48	1,57	-5,65	-0,29
4	1,51	1,07	-0,39	-0,58	0,81	-0,46	2,25	-2,92	0,16
5	1,47	1,22	-0,43	-0,59	0,89	-0,15	4,39	-6,43	0,05
6	1,44	1,19	-0,92	-0,89	0,46	-1,29	2,51	-13,63	-1,39
7	1,29	1,06	-0,88	-0,99	0,12	-1,33	1,92	-19,77	-2,32
8	1,37	0,97	-0,62	-1,28	0,23	-0,20	1,65	-19,65	-2,19
9	1,31	0,95	-0,92	-1,51	0,21	-1,27	0,00	-19,26	-2,56
10	1,23	0,81	-0,09	-2,13	0,31	-2,66	0,00	-21,30	-2,98
11	1,33	0,64	0,57	-2,44	-0,19	-1,56	0,00	-26,11	-3,47
12	1,42	0,96	0,77	-2,69	-0,08	-0,86	0,00	-23,75	-3,03
13	1,14	0,54	0,73	-3,04	0,96	0,47	0,00	-13,60	-1,60
14	1,07	0,58	-0,44	-2,90	0,60	-0,36	3,53	-4,83	-0,34
15	0,96	0,42	0,09	-1,65	0,74	-1,50	5,37	-1,63	0,35
16	0,52	0,47	0,05	-1,42	0,15	-0,69	8,57	-2,29	0,67
17	0,07	0,51	-0,95	-2,17	0,63	1,69	9,67	1,82	1,41
18	-0,16	0,22	-1,41	-3,02	0,31	0,09	5,33	-1,37	0,00
19	-0,13	0,13	-1,03	-2,22	-0,04	-0,22	4,68	-1,29	-0,02
20	-0,11	0,08	-0,67	-1,70	-0,57	-0,17	6,17	-6,43	-0,43
21	-0,16	-0,28	-0,94	-2,33	-1,36	-0,62	6,52	-2,94	-0,26
22	-0,50	-0,39	-0,65	-2,38	-0,64	-0,16	3,20	-8,28	-1,23
23	-0,91	-0,77	-1,09	-1,30	-0,59	-1,39	2,73	-20,76	-3,01
24	-0,75	-0,85	-1,33	-1,43	-0,78	-1,14	-2,74	-25,99	-4,38
25	-0,47	-0,42	-0,62	-0,92	-0,46	2,79	2,52	-16,56	-1,77
26	-0,45	-0,66	-1,54	-2,91	-2,16	0,38	0,00	-18,10	-3,18
27	-0,86	-0,96	-1,87	-3,14	-3,16	-3,01	0,00	-28,19	-5,15

Modificações quanto volume e vazão foram sentidos a partir de 1993, quando segundo Gomes (2003) a Prefeitura de Aquiraz realizou uma intervenção no barramento natural da lagoa na tentativa de aumentar o armazenamento de água e garantir o abastecimento do município. No ano seguinte, as precipitações situaram-se acima da média, resultando em inundações das planícies aluviais à montante da estrutura e colocando em risco as urbanizações e atividades agroindustriais ali existentes. À jusante (e.g. praia da Prainha), os impactos no estuário foram imediatos, com o aceleramento do fechamento da foz pela ação da deriva litorânea e deflação eólica. (PINHEIRO & MORAIS, 2010). (FIGURA 27)

Figura 27 - Bacia hidrográfica do Catú com barramentos de pequeno e médio portes e áreas com controle de vazão.



Fonte: Pinheiro & Morais, 2010.

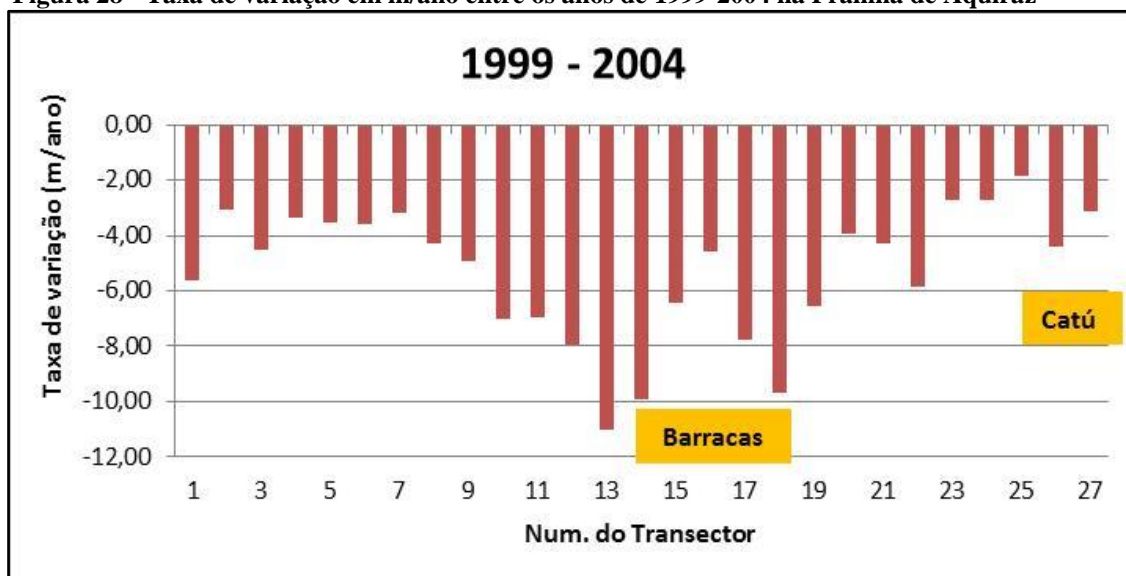
Os processos erosivos com recuo da linha de costa mais significativos foram observados a partir do final da década de 1980, coincidindo com o período do barramento. Anteriormente, a erosão é presente entre os transectos T18 ao T27, porém, no final década de 1990, todo o trecho mostrou-se bastante impactado pela construção e demais ocupações e, isto pode está associado à construção de um vertedouro na área do barramento natural das dunas através da Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará – SRH, com o intuito de regularizar as vazões e evitar as inundações e impactos no estuário e zona de praia.

Em 2003, foi concluída a barragem Catú-Cinzento, com capacidade de $27,1 \times 10^6 \text{ m}^3$ e vazão regularizada de $0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, e seguidamente, a ocupação das margens

ultrapassou 85%. Consequências disso se deu com a diminuição do espigão hidráulico (após a construção do reservatório Catú-Cinzeno, em 2002, a contribuição reduziu para 4.10^6 m^3) e do contínuo aporte de areia promovendo a migração da drenagem de Leste para Oeste, bem como, ocasiono o acumulo de sedimentos no reservatório. (PINHEIRO & MORAIS, 2010). Percebe-se que, paralelamente a esse período, todo o setor passou a sofrer erosão, exceto no período (2011-2014) onde os últimos setores voltaram a crescer, e posteriormente, a erosão só tendeu a aumentar. Os valores entre os anos de 1999 e 2004, exibidos na **FIGURA 26** exemplificam bem esse período marcado entre a construção do barramento.

Esse processo ocasiona o aumento de sedimentos no reservatório, modificando o seu tempo útil, mudanças na qualidade da água armazenada e na biota local. Na parte jusante do reservatório, o regime do rio sofre modificações, devido ao controle artificial das descargas líquidas e de sedimentos. Com isso acarreta o aprofundamento do rio podendo causar significativas mudanças na foz. (PINHEIRO & MORAIS, 2010). Essas informações compiladas aos dados atuais confirmam a redução sedimentar neste setor e, conseqüentemente, os períodos progressivos de erosão e recuo da linha de costa como é exemplificado na **FIGURA 28**.

Figura 28 - Taxa de variação em m/ano entre os anos de 1999-2004 na Prainha de Aquiraz



3.3.2 Setor 2 - Praia do Japão

Na praia do Japão o destaque é para o extenso campo de duna do tipo frontal e por não possuir ocupação relevante. Nela foram demarcados cinco pontos de monitoramento: Ponto 04 – Barraca Feitiço; Ponto 05 – Ruínas; Ponto 06 – Barraca Pescador; Ponto 07 – Barraca do Tadeu; Ponto 08 – Estrada. Os perfis vão desde um ponto fixo na estrada passando pelas dunas até chegar a antepraia, com extensão de 250m - 230m – 210m – 172m – 151m respectivamente.

As ondas nesse trecho chegam à altura média de 0,90 cm, no ponto de quebra, e o espraiamento possui extensão da linha de baixa-mar entre 48m para o continente no Ponto 08 e 130 m no Ponto 07. Quanto à taxa de variação da linha de costa foram gerados 30 transectos perpendiculares à linha de base e distanciados a 150 m numa extensão em torno de 4500 m.

Para o período de 1958-2014 a praia em todos os transectos foi de acresção variando entre 1,21m/ano (T1) e 1,78m/ano (T16); igualmente ocorreu no período de 1975-2014, variando entre 0,50 m/ano (T30) e 1,61m/ano (T22). No período 1988-2014 ocorrem processos de recuo por quase todos os transectos, apenas alguns com valores positivos não alcançaram 0,50 m/ano de avanço da linha de costa.

Nesse caso, a variação foi desde 0,46m/ano (T12) a -1,71m/ano (T28), seguidamente no período 1999-2014 o recuo foi mais expressivo, variando entre 0,19m/ano (T3), apenas este de valor positivo, e -2,96m/ano (T30). Houve um avanço da linha de costa na maioria dos transectos, com pequenas variações negativas no período de 2004-2014, com 1,82m/ano (T24) e -0,26m/ano (T2). (**FIGURA 29**)

No período 2009-2014 a retrogradação se instala e bem mais forte variando entre -0,29m/ano (T21) e -4,33m/ano (T27). Volta a avançar na maioria dos transectos, com valores negativos nos último transectos (próximos à Prainha) no período de 2011-2014, com valores variando de 2,88m/ano (T20) e -2,20m/ano (T27). E, por fim, no período de 2013-2014, a erosão tem valores bem significativos comparados aos demais, variando entre - 0,24m/ano (T17) e -11,09m/ano (T13) (**FIGURA 30**)

Observando os valores para cada período os dois primeiros foram de ambiente estável a acresção da linha de costa, pois não houve nenhum local com erosão. Na década de 1980 a maioria dos transectos apresentaram valores negativos e valores positivos pouco significativos. A localização desses valores negativos tende aos

extremos da praia, ou seja, aonde possui algum tipo de ocupação (final da Prainha e Início do Porto das Dunas). São justamente esses extremos onde há maior intervenção humana de diversas naturezas, porém, ainda não tão fortes capazes de gerar tamanha erosão e recuo da linha de costa. Outra menção também se faz na diminuição da altura da duna frontal, pois em determinados trechos, a duna se torna descontínua. (**Vide FIGURA 29**).

Foi na década de 1990 que a erosão instalou-se em todo o setor, destacando os transectos próximos à praia da Prainha (T19 ao T30). E, a partir daí, os níveis de erosão só aumentaram nos dois extremos da praia.

Figura 29 - Variações na linha de costa na praia do Japão nos transectos para os períodos (1958-2014), (1975-2014), (1988-2014), (1999-2014), (2004-2014), (2009-2014), (2012-2014), (2013-2014) obtidas pelas médias (EPRs). Em destaque os transectos que correspondem aos pontos de monitoramento.

Transector	EPR 1958 - 2014	EPR 1975 - 2014	EPR 1988 - 2014	EPR 1999 - 2014	EPR 2004 - 2014	EPR 2009 - 2014	EPR 2011 - 2014	EPR 2013 - 2014	AEPR
1	1,21	0,82	-0,43	-0,95	0,74	-1,98	2,87	-9,49	-0,90
2	1,22	0,73	-0,20	-0,92	-0,26	-2,83	-0,11	-9,45	-1,48
3	1,29	0,93	-0,10	0,19	-0,20	-2,13	0,31	-4,65	-0,55
4	1,46	1,05	-0,23	-0,99	-0,05	-1,76	2,25	-2,32	-0,07
5	1,29	1,10	-0,05	-0,85	0,10	-2,53	2,33	-1,18	0,03
6	1,40	1,35	0,00	-0,76	0,39	-1,43	0,10	-1,56	-0,06
7	1,36	1,20	0,50	-0,48	0,81	-0,76	0,70	-3,47	-0,02
8	1,29	0,99	-0,36	-0,27	0,60	-1,37	-0,09	-4,61	-0,48
9	1,46	0,85	-0,44	-0,27	-0,01	-1,97	1,07	-7,90	-0,90
10	1,33	0,77	-0,67	-0,34	0,16	-0,85	1,31	-7,29	-0,70
11	1,44	1,04	-0,40	-1,83	-0,06	-1,99	0,74	-10,16	-1,40
12	1,51	0,74	0,46	-1,86	0,73	-1,52	0,23	-10,17	-1,24
13	1,56	1,11	0,20	-1,69	0,47	-1,64	0,81	-11,09	-1,28
14	1,57	1,38	0,29	-1,13	1,11	-0,83	0,99	-3,83	-0,06
15	1,75	1,53	-0,82	-1,17	0,96	-1,27	1,02	-0,58	0,18
16	1,78	1,45	-0,27	-1,34	1,26	-1,64	0,48	-0,61	0,14
17	1,63	1,22	0,33	-0,93	1,33	-0,85	1,30	-0,24	0,47
18	1,59	1,34	0,10	-1,97	1,25	-0,87	1,04	-2,03	0,06
19	1,65	1,31	0,22	-2,26	0,92	-1,33	1,46	-1,23	0,09
20	1,67	1,51	0,18	-1,95	1,26	-0,12	2,88	-1,85	0,45
21	1,77	1,58	0,33	-1,16	1,27	0,29	2,78	-4,22	0,33
22	1,66	1,61	0,03	-1,18	0,56	-0,01	1,92	-6,73	-0,27
23	1,61	1,32	0,08	-1,59	0,72	-0,60	0,58	-8,76	-0,83
24	1,65	1,56	-0,26	-1,82	0,82	-0,99	0,79	-2,86	-0,14
25	1,58	1,40	-0,72	-2,44	0,55	-1,80	-0,13	-1,79	-0,42
26	1,64	1,16	-0,22	-1,50	0,41	-3,53	-0,75	-4,84	-0,95
27	1,73	1,35	-0,42	-1,85	-0,11	-4,33	-2,20	-1,21	-0,88
28	1,45	1,26	-1,71	-1,96	-0,15	-3,66	-0,62	-1,64	-0,88
29	1,61	0,87	-1,30	-1,48	0,70	-2,00	2,32	-1,92	-0,15
30	1,44	0,50	-0,59	-2,96	0,13	-2,60	-0,34	-0,98	-0,68

Nos períodos de 2004 e 2011 as taxas foram positivas praticamente em todos os transectos da praia, diferentemente do que foi verificado no ano de 2009. Em 2013, elevadas taxas de erosão estão entre os transectos (T1) e (T13), nas proximidades com a praia do Porto das Dunas.

Nos anos de monitoramento (2010 – 2012) conjuntamente a dados mais antigos da área, mostra que o setor recebe grande energia proveniente das ondas associadas às marés de sigízia, materializadas nas escarpas formadas durante a maré alta, onde a faixa de praia fica totalmente recoberta.

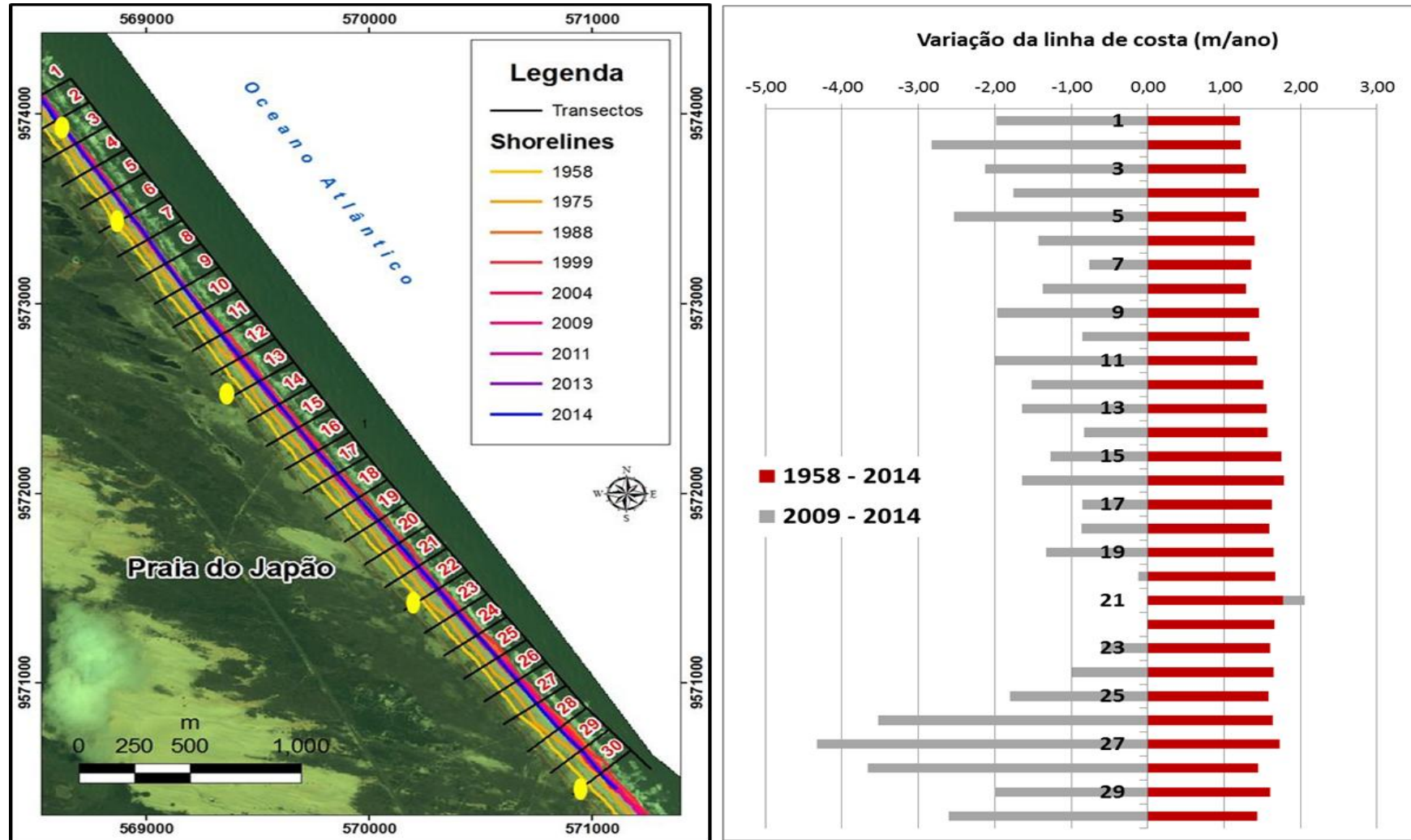
Atualmente (2013-2014) o impacto neste setor está sendo bem maior, pois a terraplanagem de dunas e remoção das areias para construção de condomínios e *resorts* vem comprometendo as dunas frontais e faixa de praia. Resultado disso são os valores negativos encontrados neste período, reforçando a erosão que já era presente, mesmo quando não havia ocupação ou intervenções mais ostensivas. **(FIGURA 31 e 32)**

As médias totais de cada *EPR* (*AEPR*) são as seguintes: no período 1958-2014 a média foi de 1,52m, 1,17m para o período de 1975-2014. Com processos erosivos de -0,22m no período de 1988-2014, -1,32m no período de 1999-2014, acresce em 0,55m em 2004-2014, -1,63m no período de 2009-2014, volta a crescer no período de 2011-2014 com 0,87m e com forte erosão nos períodos de 2013-2014 com a média de - 4,29m.

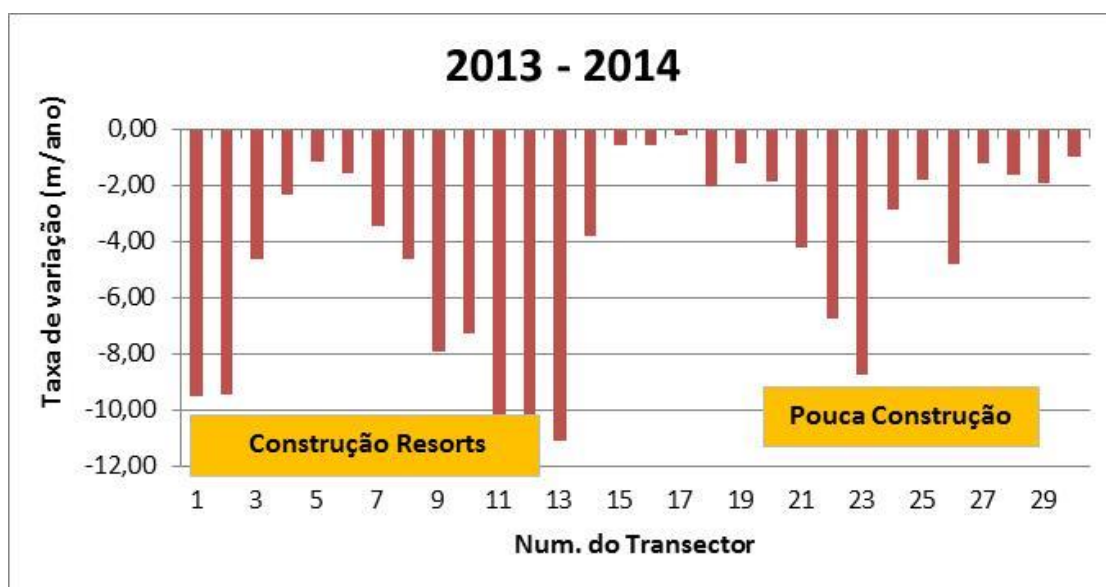
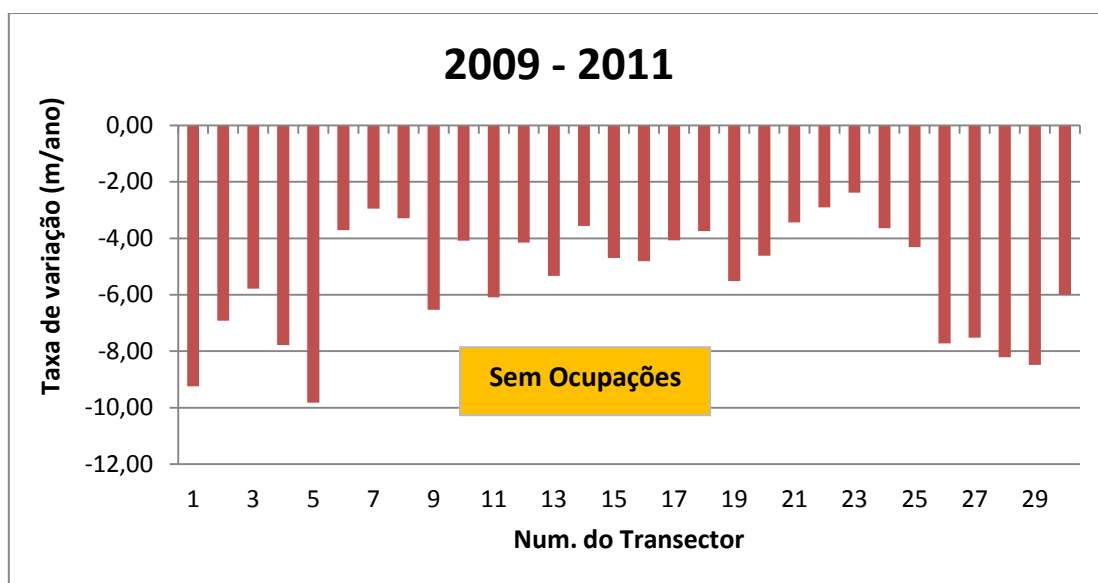
O *déficit* sedimentar nesta praia pode ser proveniente dos inúmeros barramentos a montante (Prainha e Iguape) que dificultam/barram esse sedimento ao alcançar o mar pelos rios e lagoas. De ordem natural, a incidência das ondas poderá também estar sendo alterada pelas construções de estruturas rígidas em praias de municípios vizinhos (por exemplo Caponga, em Cascavel).

Correlacionado os dados acima, mostra que as técnicas levantadas se complementam e reafirmam a situação tratada. A praia do Japão possui características naturais e dinâmicas que se destacam, na medida em que, é considerada uma praia com pouca ocupação, mas os processos erosivos e de recuo são mais evidentes. Foram essas razões que o sistema duna-praia especificamente foi estudado numa malha de 100 x 200 m, em dois períodos do mês, pré e pós-ressacas do mar (setembro/ 2011 a abril/2012), a fim de, compreender melhor quais mecanismos e forças estão atuando mais no local que nas áreas adjacentes.

Figura 30 - Evolução da linha de costa da praia do Japão obtida através das médias da EPRs para o período de 1958, 1975, 1988, 1999, 2004, 2009, 2011, 2013 e 2014 com 30 transectos. O círculo em amarelo indicam os cinco pontos monitorados.



Figuras 31 e 32 - Taxa de Variação entre os anos 2009 – 2011 e 2013 - 2014 na praia do Japão



3.3.3 Setor 3 - Praia Porto das Dunas

É o setor mais urbanizado de Aquiraz. Totalmente voltado para o turismo e veraneio no qual as suas instalações e estruturas estão sobre dunas móveis e faixa de praia, com fortes interferências na dinâmica costeira. São dois Pontos monitorados: Ponto 09 – *Oceani Resort* e Ponto 10 – *Beach Park* e, justamente, a escolha dos pontos

estão ligados à verificação da influência da crescente urbanização e novas construções a beira mar nos processos erosivos e de recuo da linha de costa.

Os Pontos possuem distâncias aproximadas de 1km e faixas de praia chegando a 159 m neste sentido. As ondas nesse setor variaram entre 0,89 e 0,91cm e na maré baixa e cobrem em média 370 m de comprimento do perfil de praia e duna frontal.

Para o cálculo da evolução costeira, foram gerados 30 transectos com distanciando 100 m, totalizando 2.950 m. Assim, também abrangeram outros *resorts*, pousadas e hotéis instalados nesse trecho georreferenciados através do caminhamento bimestral utilizando o *GPSmap 62s - GARMIM* e, posteriormente, plotados no *software MapSource*. **(FIGURA 33)**

Os *EPRs* para linha de costa foi de acresção entre os períodos de 1954-2014 e 1975-2014, dos quais variou em: 1,12m/ano (T26) e 0,46 m/ano (T7) no período de 1958-2014 e 1,82m/ano (T6) e 0,35m/ano (T29) no período de 1975-2009. No período 1988-2014, majoritariamente foi de erosão, salvos os transectos (T25, T26 e T28) com valores positivos (0,15 e 0,16 respectivamente), porém, abaixo dos períodos anteriores.

Esse período variou entre 0,16m/ano (T28) e -1,41m/ano (T2). A partir do período 1999-2014, os valores foram todos negativos. Nesse caso, variou -0,71 m/ano (T23) e -3,66m/ano (T2); entre 2004-2014 a variação foi de -0,33m/ano (T3) e -1,58m/ano (T18); entre 2009-2014, variou de -0,20m/ano (T26) e -4,45m/ano (T30); no período 2011-2014 a linha variou de 1,67m/ano (T25) e -3,98m/ano (T13) e, por fim, no período 2013-2014, a variação foi de -1,47m/ano (T21) e -13,89 m/ano (T18). **(FIGURA 34)**

Diferente das praias anteriores, o período de 2011- 2014 sempre houve acresção, o que não ocorreu na praia do Porto das Dunas. Esta praia também tem apresentado com erosão mais significativamente nos seus limites que na porção central. Entre os transectos T13 e T21, está localizado o conhecido *resort* e clube aquático *Beach Park*, construído em 1985 e, desde então, o parque só ampliou e junto com ele, dezenas de outros *resorts* foram construídos mais recentemente, formando um mega complexo turístico sobre dunas e faixa de praia.

Todavia, somente em 2013 que se pôde observar uma erosão mais severa, o que vem intrigar de como tantas intervenções não atingiu anteriormente esse trecho. A interferência antrópica é tão marcante como é o caso desta praia, trazendo danos ao ambiente costeiro e todo ecossistema envolvido.

Figura 33 - Evolução da linha de costa da praia do Porto das Dunas obtida através das médias da EPRs para o período de 1958, 1975, 1988, 1999, 2004, 2009, 2011, 2013 e 2014 com 30 transectos. O círculo em amarelo indicam os três pontos monitorados.

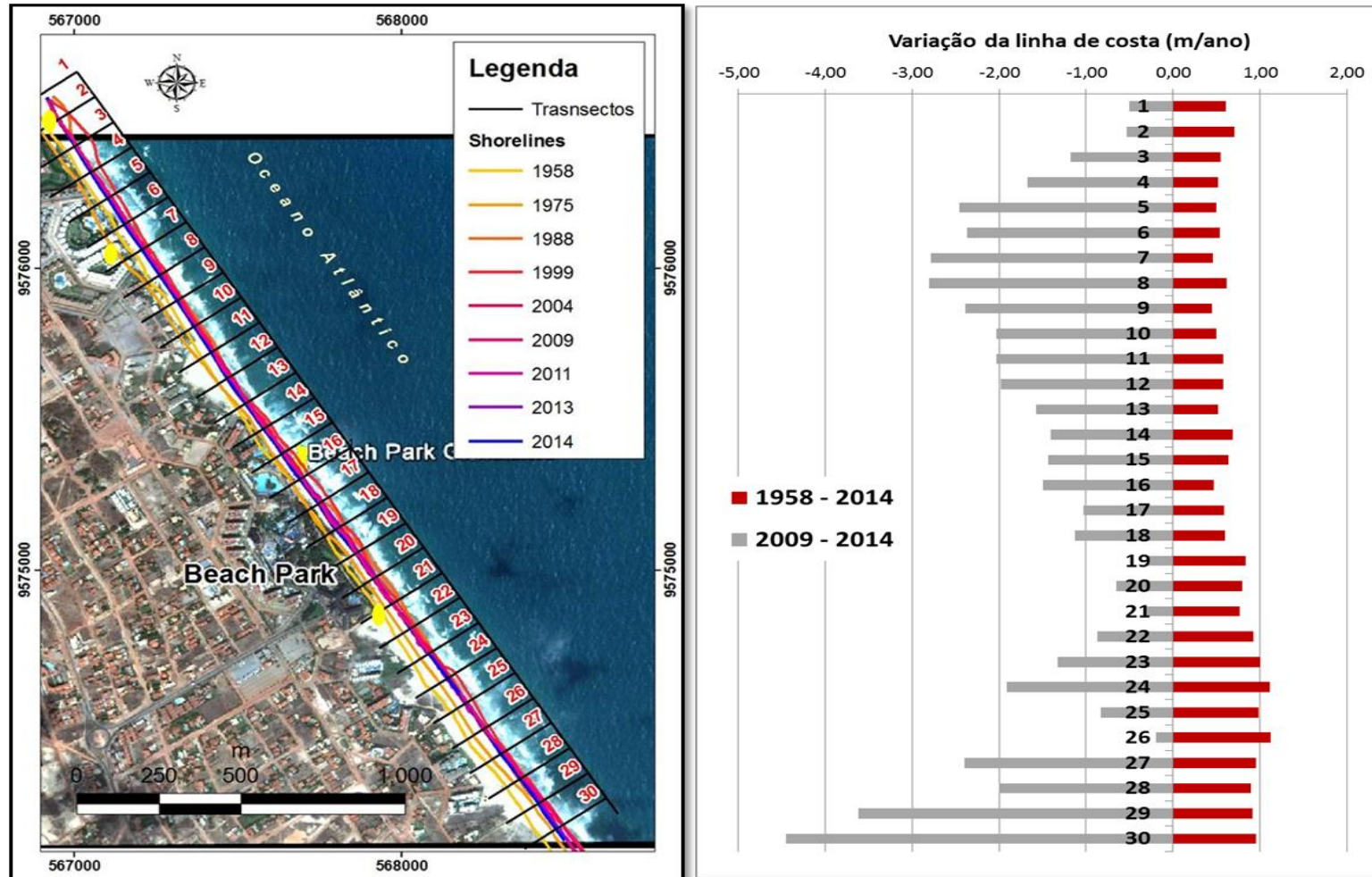


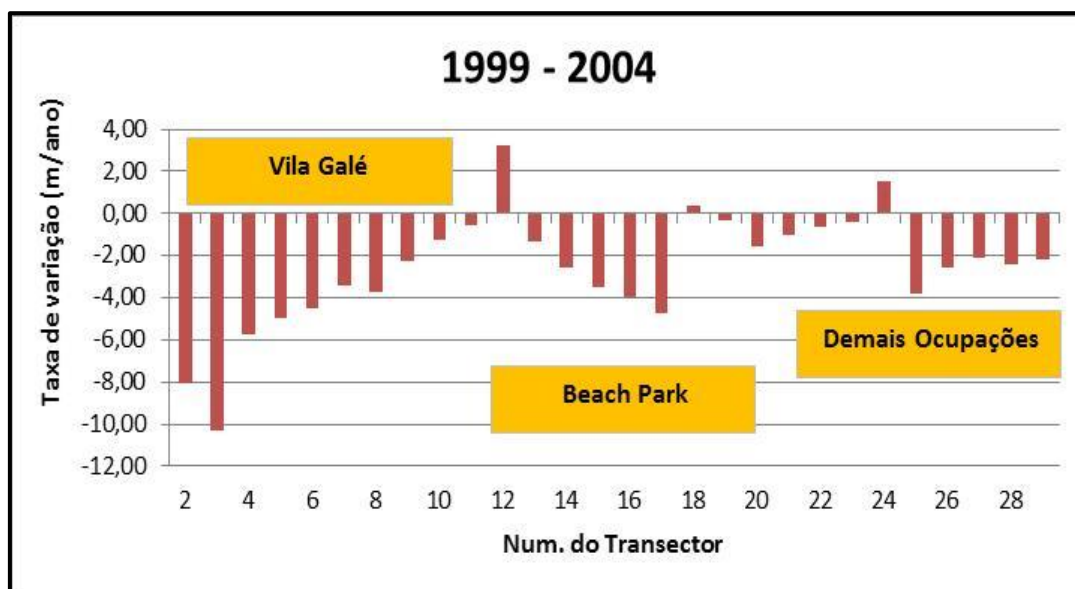
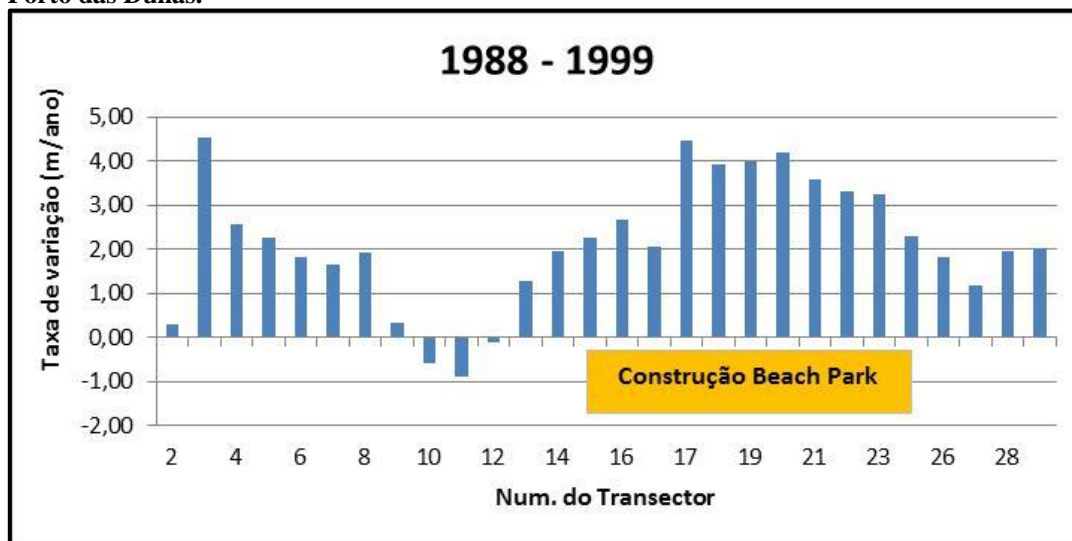
Figura 34 - Variações na linha de costa na praia do Porto das Dunas nos transectos para os períodos (1958-2014), (1975-2014), (1988-2014), (1999-2014), (2004-2014), (2009-2014), (2012-2014), (2013-2014) obtidas pelas médias (EPRs). Em destaque os transectos que correspondem aos pontos de monitoramento.

Transector	EPR 1958 - 2014	EPR 1975 - 2014	EPR 1988 - 2014	EPR 1999 - 2014	EPR 2004 - 2014	EPR 2009 - 2014	EPR 2011 - 2014	EPR 2013 - 2014	AEPR
1									
2	0,71	1,63	-1,41	-2,67	0,02	-0,53	-1,28	-3,85	-0,92
3	0,55	1,57	-0,20	-3,66	-0,33	-1,18	-2,46	-6,56	-1,53
4	0,52	1,31	-0,26	-2,33	-0,63	-1,67	-2,26	-8,91	-1,78
5	0,50	1,54	-0,26	-2,09	-0,64	-2,46	-1,98	-11,23	-2,08
6	0,54	1,82	-0,34	-1,93	-0,63	-2,37	-2,65	-7,15	-1,59
7	0,46	1,69	-0,13	-1,44	-0,45	-2,79	-1,35	-5,55	-1,20
8	0,62	1,29	-0,05	-1,51	-0,42	-2,81	-1,51	-3,14	-0,94
9	0,45	1,19	-0,56	-1,21	-0,70	-2,39	-1,29	-3,02	-0,94
10	0,50	1,31	-0,88	-1,09	-1,01	-2,03	-0,65	-7,01	-1,36
11	0,58	1,12	-0,86	-0,85	-1,00	-2,03	-2,35	-4,96	-1,29
12	0,58	0,80	-0,01	0,05	-1,53	-1,98	-3,62	-3,47	-1,15
13	0,52	0,52	-0,07	-1,07	-0,95	-1,58	-3,98	-2,78	-1,17
14	0,69	0,54	-0,21	-1,79	-1,42	-1,41	-2,35	-2,21	-1,02
15	0,64	0,66	-0,16	-1,93	-1,15	-1,44	-2,15	-8,04	-1,70
16	0,47	0,74	-0,05	-2,03	-1,08	-1,50	-2,25	-10,40	-2,01
17	0,59	0,86	-0,57	-2,52	-1,40	-1,03	-2,61	-10,50	-2,15
18	0,60	0,78	-1,06	-2,12	-1,58	-1,13	-2,57	-13,79	-2,61
19	0,84	0,54	-1,15	-1,74	-0,81	-0,30	-0,47	-9,04	-1,52
20	0,80	0,57	-1,14	-0,80	-0,75	-0,65	-0,96	-8,08	-1,38
21	0,77	0,65	-1,12	-1,18	-0,49	-0,32	-1,71	-1,47	-0,61
22	0,93	0,70	-0,74	-0,84	0,00	-0,87	-0,24	-5,09	-0,77
23	1,00	0,72	-0,58	-0,71	-1,35	-1,33	-0,20	-4,05	-0,81
24	1,11	0,78	-0,46	-1,91	-0,73		1,28	-2,10	-0,29
25	0,99	0,87	0,15	-1,43	-0,24	-0,83	1,67	-3,70	-0,32
26	1,12	0,95	0,15	-1,09	-0,34	-0,20	-1,02	-5,43	-0,73
27	0,96	0,79	-0,21	-1,23	-0,80	-2,40	-1,66	-8,65	-1,65
28	0,90	0,56	0,16	-1,16	-0,55	-2,00	-1,31	-8,84	-1,53
29	0,92	0,35	-0,06	-1,59	-1,28	-3,62	-2,23	-7,82	-1,92
30	0,96	0,39	-0,94	-1,74	-0,86	-4,45	-2,92	-5,74	-1,91

O setor nos dois primeiros períodos encontra-se equilibrado quanto à dinâmica sedimentar, deposição e evolução da linha de costa. Contudo, a partir do terceiro período, a área passa por processos erosivos nos transectos próximos a praia do Japão e bem significativos também entre 2009 e 2013 nos transectos mais próximos da desembocadura do Pacoti.

O período crítico inicia entre 1999 (uma década depois da construção do *Beach Park*) onde todos os transectos mostram-se com erosão, o que posteriormente, tem uma disposição progressiva no decorrer dos períodos, exceto até 2009, com diminuição dos valores negativos (**FIGURAS 35 e 36**). De 2011 para 2014 foi verificado um salto nos valores que representam a erosão nesta praia.

Figuras 35 e 36 - Taxa de variação em m/ano dos períodos 1988-1999 e 1999-2004 na praia do Porto das Dunas.



O setor mais afetado está situado nos transectos onde está inserido o *Beach Park* e vizinhos *resorts* (T11 ao T21), dos quais, para sua expansão e construção foi necessária a retirada do campo de dunas móveis e assoreamento de lagoas interdunares. Isso remete num *déficit* sedimentar, associado a eventos de energia como as ressacas do mar, provocam deslocamentos dessas areias para o largo (*offshore*) e, por vezes, não retorna à faixa de praia, finalizando num quadro irreversível a seu equilíbrio dinâmico.

Os dados das medias totais (*AEPRs*) vem também afirmar o processo erosivo ocorrido na área com relação dinâmica e seus impactos: 0,72m (1958-2014);

0,94m (1975-2014); -0,45m (1988-2014); -1,57m (1999-2014); -0,80 m (2004-2014); -1,69 m (2009-2014); -1,62m (2011-2013) e -6,30m (2013-2014)

Como a praia é a última (setor oeste) a demanda sedimentar deve ser a mais comprometida, pois já não mais existem dunas e pós - praia que a alimente, resta ainda uma considerável faixa de praia, para nessa ocasião, e praias anteriores que estão também em processos erosivos e de retrogradação. Dessa forma, a estabilidade é um ponto crítico e tendencioso a perdas futuras de estruturas urbanas e todo o complexo de resorts devido ao avanço do mar.

3.3.4 Setor 3 - Trecho Desembocadura do rio Pacoti - Praia da Cofeco

O trecho abrange tanto a desembocadura do rio Pacoti quanto parte da praia da Cofeco ou Abreulândia situado no litoral de Fortaleza. São três pontos monitorados atendendo a dinâmica do estuário e os níveis de ocupação: Ponto 11 – Guarita (margem direita); Ponto 12 – Restaurante (margem esquerda); Ponto 13 – Colônia de Férias. **(Figura 36)**. Foram gerados 28 transectos com distanciando 50 m, totalizando 2.350 m.

São Pontos com visíveis processos de erosão, especialmente na margem esquerda do Pacoti, onde há destruição de restaurantes, acesso a praia como escadas e dunas frontais escavadas pelas ondas. Possui faixa de praia que variaram entre 300m e 500 m de extensão e escarpas na pós-praia de 1m. A altura da onda predominante foi de 0,89 m e espraiamento que ultrapassa a faixa de praia escoando para o rio, conhecido como galgamento (*overwash*). O mecanismo ocorre quando o *runup* consegue ir para além da duna frontal ou estrutura rígida com altura da sobre-elevação em 4m.

Diferente dos demais setores, o segundo período já mostra tendências erosivas se distanciando da margem do rio. Entre 1988 – 2009, a erosão é presente em todos os transectos, salvo os transectos centrais (T9 ao T16) e, posteriormente, diminui a erosão com evidente aumento da linha de costa (2004-2009), notadamente os transectos mais afastados da desembocadura do Pacoti.

A variação da linha de costa nesta praia, segundo os dados das *EPRs*, foi apresentada com os seguintes valores; para o período (1954-2014) variou entre 1,77m/ano (T26) e 0,42m/ano (T2); para o período de (1975-2014), houve erosão nos

primeiros setores (T1 ao T10) e os demais com valores positivos indicando acreção. Assim, a variação ficou entre 1,86m/ano (T26) e - 0,65m/ano (T3). O período (1988-2014) variou entre 0,81m/ano (T11) e -0,57m/ano (T4). A partir do período de 2004-2014, a praia da Cofeco teve um aumento significativo de sedimentos e faixa de praia, variando entre 3,18m/ano (T11) e -0,23m/ano (T23). Entre (2009-2014), a variação foi de 6,38m/ano (T11) a -1,57m/ano (T22) e, finalizando com o período (2013-2014), a praia foi a única que avançou e cresceu, com valores entre 35,46m/ano (T25) e 5,44m/ano (T9). Portanto, a tendência dessa praia é de acreção, aumentando os valores positivos no sentido de Fortaleza para a desembocadura do Pacoti. **(FIGURA 37)**

Dentro do período de 1954 – 2014, segundo ROCHA (2013), a área da foz do Rio Pacoti não apresentava intervenções antrópicas, sendo ocupada por largas faixas de dunas móveis sem a visualização de quaisquer estradas de acesso. O leito do rio está entalhado na zona de contato geológico dos depósitos Quaternários e da Formação Barreiras, havendo vestígios de leitos meandantes abandonados. Nestas áreas, há considerável presença de apicuns/salgados.

Para o período de 1975 – 2014, o mesmo autor informa que, para o ano de 1975, a observação da imagem revela que as atividades antrópicas cresceram no interior do estuário com a consolidação das salinas ocupando antigas áreas de apicum. Verifica-se ainda um aumento da área de dunas fitoestabilizadas e as primeiras construções na área da praia da Cofeco.

A partir desse período, foi verificada uma acentuação na ocupação da margem esquerda do Pacoti seguido da praia da Cofeco, com valores negativos nas extremidades da área, como por exemplo, na margem esquerda com variação de -0,78 m/ano e na praia com variação de -0,57 m/ano. A colônia de férias construída na parte central da praia, não promoveu erosão, mas sim houve avanço da linha de costa para o mar, notificadas nos demais períodos (2004-2014), (2009-2014), (2013-2014) **(FIGURA 38)**. Entretanto, a ocupação trouxe impactos diversos na pós- praias (dunas fixas e móveis) e tabuleiros, prejudicando sistemas ambientais, como o sistema estuarino e área de manguezal.

O comportamento da linha de costa foi bastante diferente a cada ano, confirmando que os ambientes estuarino-lagunares são extremamente dinâmicos, havendo um perfil mais estável apenas na sua margem direita visto que o *spit* desta área é naturalmente rígido formado por estruturas de rochas de praia. (ROCHA, 2013).

Figura 37 - Variações na linha de costa na praia da Cofeco nos transectos para os períodos (1958-2014), (1975-2014), (1988-2014), (1999-2014), (2004-2014), (2009-2014), (2012-2014), (2013-2014) obtidas pelas médias (EPRs). Em destaque os transectos que correspondem aos pontos de monitoramento.

Transector	EPR 1958 - 2014	EPR 1975 - 2014	EPR 1988 - 2014	EPR 2004 - 2014	EPR 2009 - 2014	EPR 2013 - 2014	AEPR
1						17,29	17,29
2	0,48					23,67	12,08
3	0,65	-0,48		2,82	4,85	20,16	5,60
4	0,50	-0,65	-0,57	2,32	4,10	17,19	3,82
5	0,74	-0,53	-0,49	1,63	2,80	16,88	3,51
6	0,88	-0,56	-0,44	1,35	3,63	11,20	2,68
7	0,96	-0,53	-0,35	1,16	3,80	11,76	2,80
8	0,94	-0,31	-0,11	1,56	3,97	11,85	2,98
9	0,90	-0,25	0,12	1,89	3,93	5,44	2,01
10	0,95	-0,05	0,37	2,22	4,67	12,98	3,52
11	1,09	0,41	0,81	3,18	6,38	28,21	6,68
12	1,04	0,42	0,67	2,80	4,95	22,13	5,34
13	1,01	0,48	0,59	2,44	4,62	25,09	5,71
14	1,09	0,48	0,66	3,00	4,10	19,98	4,89
15	1,15	0,51	0,48	2,26	3,45	18,01	4,31
16	1,20	0,60	0,07	2,42	3,25	19,76	4,55
17	1,27	0,70	-0,10	2,40	3,84	19,32	4,57
18	1,38	0,74	-0,32	2,44	3,19	17,92	4,23
19	1,42	0,94	-0,50	1,69	2,85	16,44	3,81
20	1,35	1,13	-0,44	1,66	1,47	17,27	3,74
21	1,11	1,09	-0,76	1,01	-0,07	15,68	3,01
22	0,91	0,90	-0,78	-0,08	-1,57	9,94	1,55
23	1,05	0,88	-0,15	-0,23	-1,50	13,21	2,21
24	1,17	1,00	-0,01	0,77	-0,44	22,84	4,22
25	1,46	1,20	-0,08	1,98	1,73	35,46	6,96
26	1,77	1,68	0,32	2,63	1,98	42,68	8,51
27	1,73	1,86	0,18	2,52	1,26	34,47	7,00
28	1,51	1,49	-0,06	2,07	0,18		1,04

As mudanças ambientais deflagrados pelos diversos atores sociais (turistas, empresários, governos, comunidade civil, etc.) – principalmente, através da ocupação e uso dos recursos naturais desordenadamente – provocam diminuição da qualidade ambiental do Pacoti (NASCIMENTO & CARVALHO, 2005).

As médias totais da área (AEPRs) mostram que somente em 1988-2014 houve erosão por quase todos os transectos (-0,33m) e os demais períodos ocorreu acreção; (1954-2014) com 1,10m; (1975-2014) com 0,50 m; (2004-2014) com 1,91 m;

(2009-2014) com 2,74m; e (2013-2014) com destacável 19,51m, reafirmando os dados anteriormente tratados.

Atualmente, não há mais construções nessa praia, uma vez que, uma boa parte está com características de abandono e até restaurantes representados por ruínas. Algumas décadas atrás era um local bastante frequentado pelos fortalezenses, pois havia condomínios fechados voltados ao lazer de famílias.

O problema, como foi visto em todas as praias é da falta de sedimento que está sendo aprisionado durante o transporte pela deriva ou pelo controle antrópico (construções e ocupações) que faz com que as praias mais a oeste, assim como a desembocadura, não estejam recebendo suficientemente para minimizar a erosão e recuo da linha de costa.

A construção de casas de veraneio e *resorts* é frequente e crescente, na medida em que, a população de Fortaleza se desloca para essas praias não somente por lazer, mas ultimamente, para moradia, o que vem acarretando nos últimos 40 anos em indícios de erosão e prejuízos econômicos e ambientais com o avanço do mar (OLIVEIRA, 2009).

Fica evidente que, dentro do período de 1958 – 2004 as taxas apresentaram avanço da linha de costa nos trechos que apresentam um maior contingente populacional representado pela ocupação e, principalmente de grande porte, como é o caso da praia do Porto das Dunas. **(FIGURA 39)**. Em contrapartida, na **Figura 40**, dentro do período 2009 – 2014 aponta que apenas após o rio Pacoti, na praia da Cofeco, que houve avanço da linha de costa, contrastando com os valores em sua maioria negativos, especialmente, nas praias do Japão e Prainha, confirmando que os dados supracitados estão correlacionados com a paisagem e dinâmica apresentadas no litoral de Aquiraz, com destaque para frente das dunas frontais e zona de berma.

Figura 38 - Evolução da linha de costa da praia da Cofeco obtida através das médias da EPRs para o período de 1958, 1975, 1988, 1999, 2004, 2009, 2011, 2013 e 2014 com 28 transectos. O círculo em amarelo indicam os três pontos monitorados.

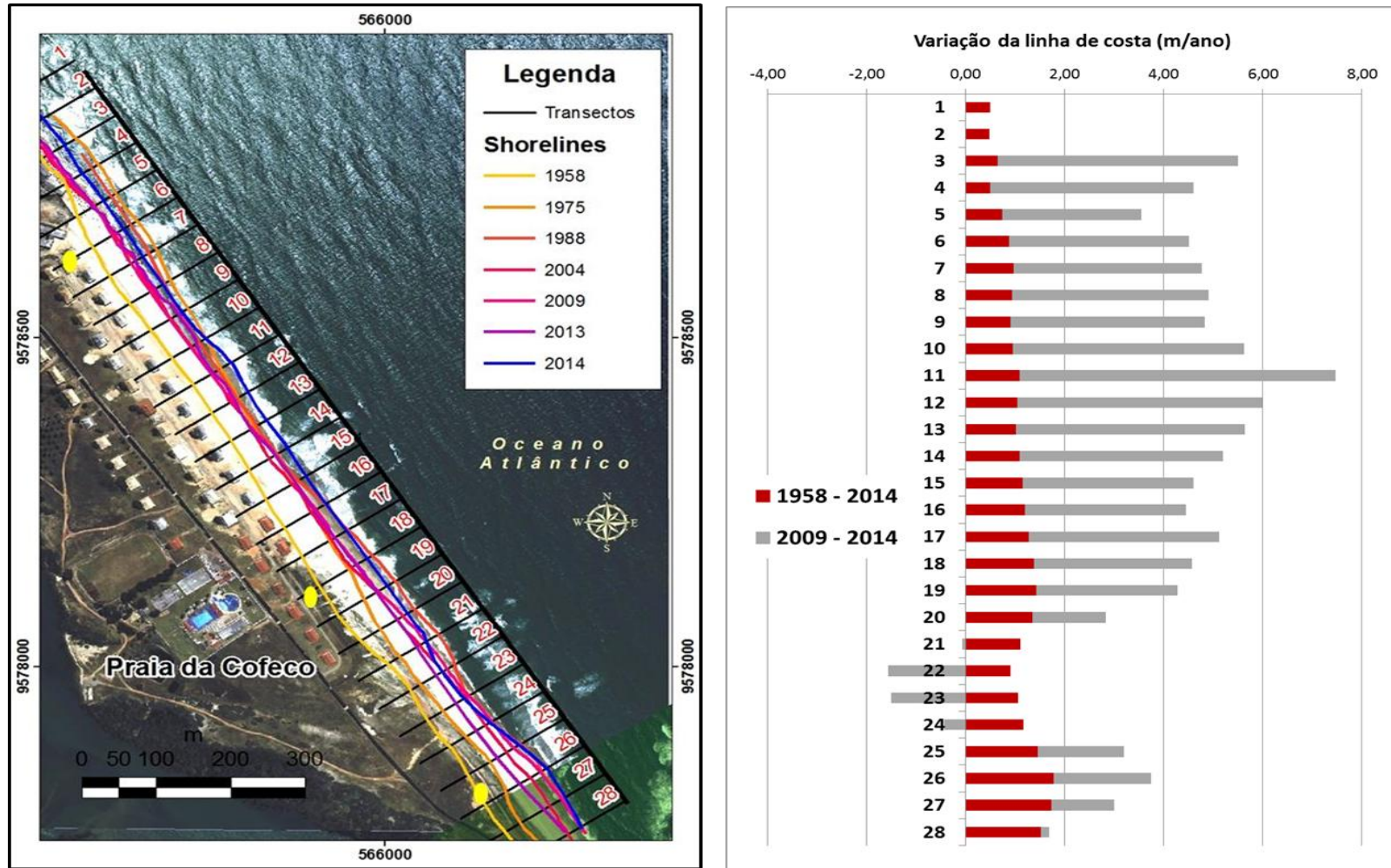


Figura 39. Variação da linha de costa conforme os níveis de ocupação no litoral de Aquiraz para o período de 1958 – 2014.

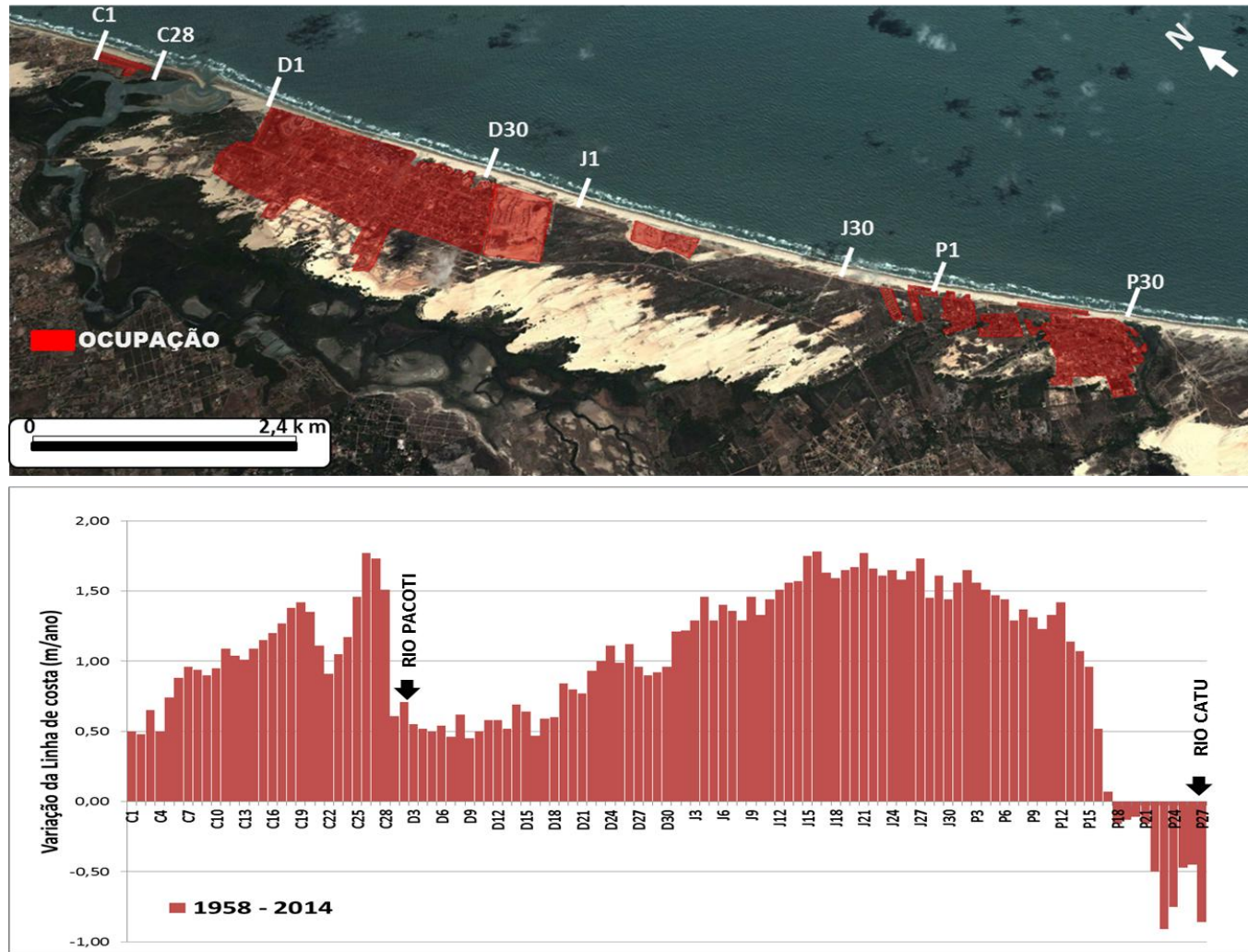
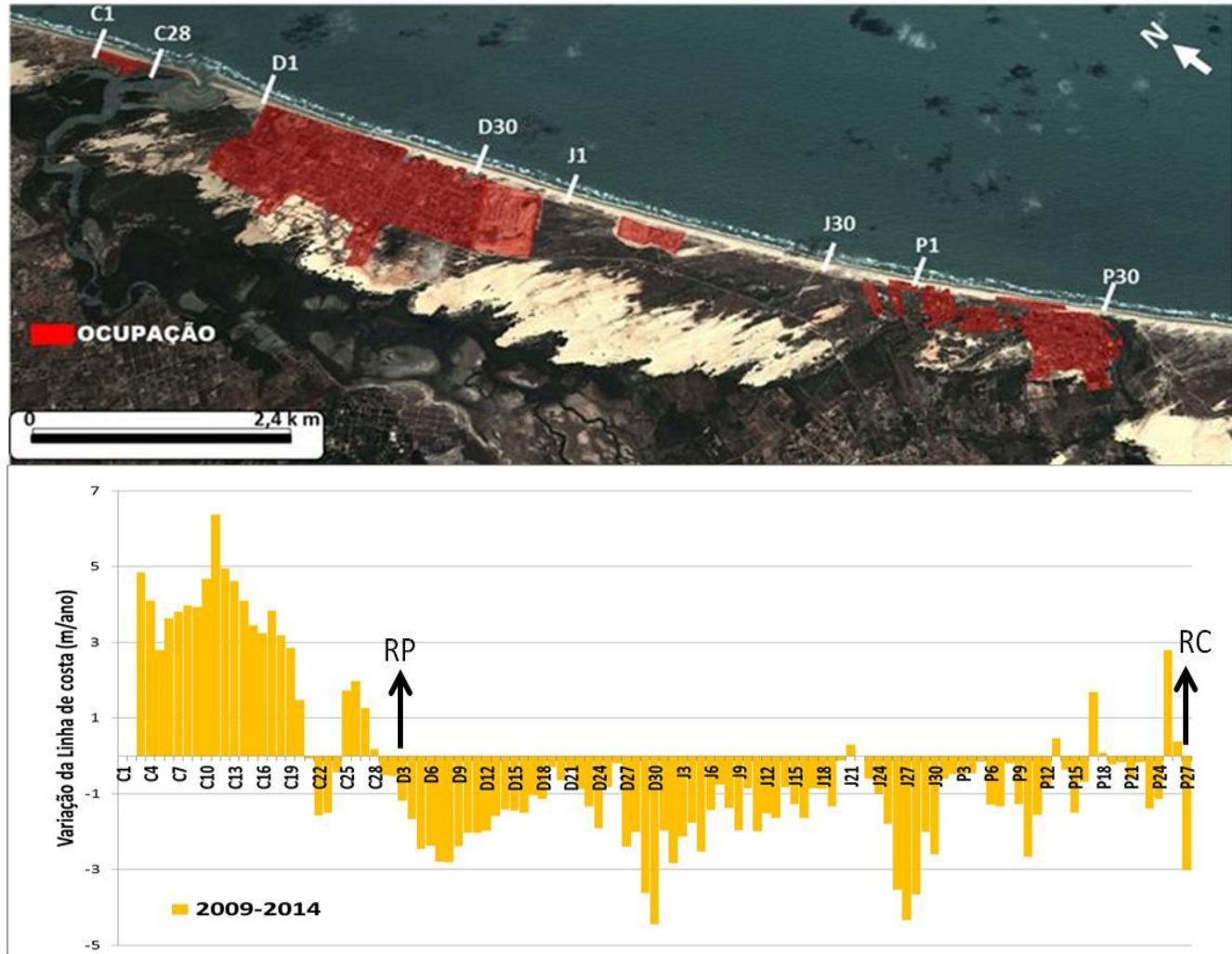


Figura 40. Variação da linha de costa conforme os níveis de ocupação no litoral de Aquiraz para o período de 2009 – 2014.



3.4 Conclusões

- De 1958 a 2014 as áreas com baixa ocupação apresentaram taxas de avanço entre 4,27 a -0,42 m/ano, respectivamente na Cofeco e Japão. Nas áreas com urbanização consolidada a taxa foi entre -1,37 e -1,34 m/ano, respectivamente na Prainha e no Porto das Dunas. Houve recuo da linha de costa no setor 1. Há, portanto, fatores como topografia e largura da faixa de praia que determinam os níveis de erosão e recuo da linha de costa.

- Nas análises decadais, a partir da década de 1980, houve maior mobilidade da linha de costa resultante da urbanização, transformando de área natural para uma cidade “litorâneo-marítima” (Dantas, 2002), bem como, dos barramentos que foram construídos paralelamente às ocupações diversas.

- No período de 2009 a 2014, as taxas de erosão variaram de 2,75 (Cofeco), -1,69 (Porto das Dunas), -1,63 (Japão) e -0,56 (Prainha). Os maiores valores de recuo foram observados nas praias Porto das Dunas e do Japão, destacando-se também pelos níveis de ocupação tão díspares entre as praias, das quais foram classificadas em Urbano residencial ou turística adensada (Porto das Dunas) e isolada ou semi-isolada (Japão).

- O reflexo dessa ação antrópica coincide com o período de maior recuo da linha de costa por toda a área. As praias do Porto das Dunas e Prainha, consideradas áreas urbanizadas tem erosão da linha de costa, todavia, com grau menor ou semelhante em relação às anteriores, com riscos à inundação durante a preamar, devido às ondas alcançam próximas às estruturas.

- As dunas frontais estão dispostas descontinuamente, estando ausentes em alguns trechos devido à ocupação de barracas e construções fixas. Essa situação favorece a ocorrência de galgamentos principalmente nos períodos de eventos de alta energia como as ressacas do mar.

- O estudo da linha de costa dos últimos 56 anos foi uma ferramenta essencial ao aprofundamento no que concerne à dinâmica local, que associado aos demais dados, como parâmetros oceanográficos (ondas e marés) e sedimentológicos do campo de dunas e faixa de praia, contribuíram na identificação de qual (is) variável (is) esteja(m) atuando no recuo e erosão, a fim de sugerir posteriores medidas mitigadora mediante a geração de novos dados levando-se em conta o avanço da ocupação e alterações climáticas e oceanográficas.

-Trechos susceptíveis a erosão são encontrados no litoral leste do município de Aquiraz, região metropolitana de Fortaleza, em praias urbanizadas como Porto das Dunas e Prainha, Em praias naturais, como a do Japão, essas feições ainda são conservadas. Apesar das realidades opostas, ambas em períodos de alta energia associadas às marés de sizígia, verifica-se frentes escarpadas e ondas que ultrapassam a crista de berma alcançando a duna frontal.

4. PROCESSOS ASSOCIADOS A ONDAS E MARÉS

4.1 Introdução

Os processos de deposição e erosão das praias são controlados pelo suprimento de sedimentos, a energia de dissipação das ondas (MASSELINK & TURNER, 1999) e as mudanças na taxa de elevação do nível do mar (DAVIS, 1997). A esses processos são associadas à arrebentação da onda e espraiamento, célula de circulação próxima à costa, o fluxo de retorno do leito marinho, ondas de gravidade, espraiamento (*swash*) e da *wave set-up* (STOCKDON, *et al*, 2006).

Uma das razões, em observações de médio a longo prazo, da dispersão ou perda sedimentar é com relação a formação e percurso da onda. Na realidade, as ondas, não chegam à praia na sua forma mais original quando em águas profundas, pois ao entrarem em contato com águas mais rasas e profundidade inferior a $\frac{1}{4}$ do seu comprimento, passam a sofrer os efeitos do fundo (fricção), são refratadas até o espraiamento na faixa de praia. A projeção dessa massa d'água na costa é o somatório da altura da onda, amplitude de maré e ação dos ventos que alteram juntamente com outros processos os níveis d'água e as características de inundação.

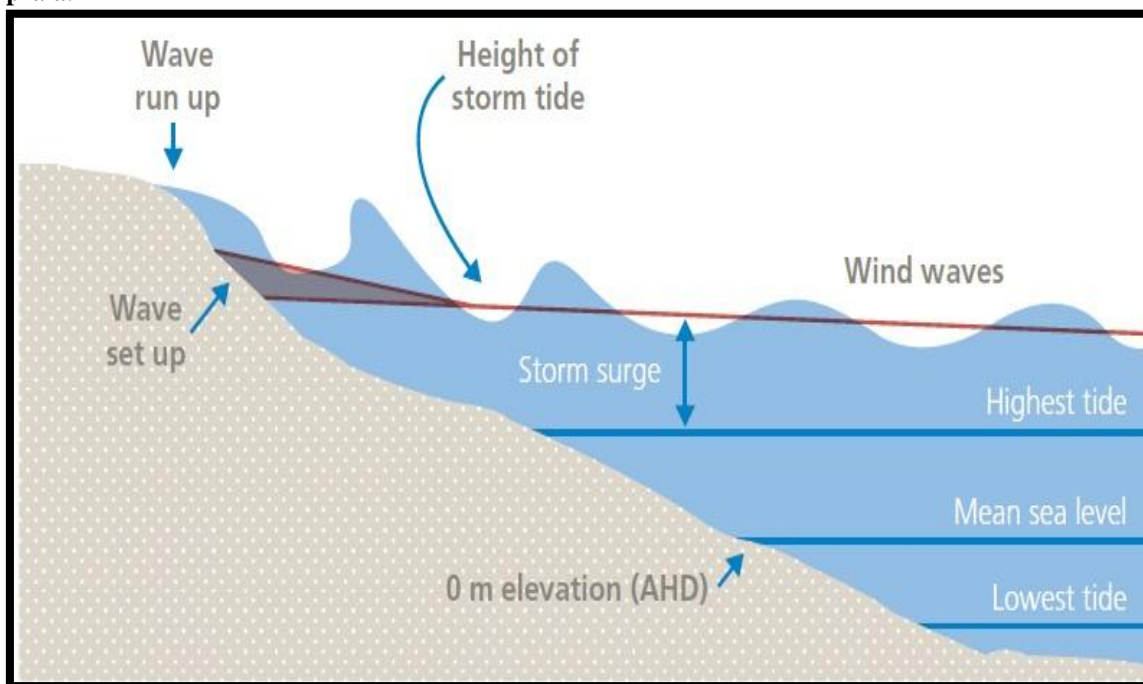
Os níveis de água ao longo das costas litorâneas variam em escala temporal, dos quais dependem das condições das marés e das ondas incidentes. Estes níveis podem ser compostos por dois componentes: 1) um **estático**, do qual, corresponde ao nível de água associado a marés astronômicas, tempestades e configuração de onda; e 2) **uma flutuação sobre essa média** (*swash*) associada à zona de arrebentação e ao movimento das ondas individuais no litoral (SHORT, 1999).

O alcance dessas ondas na costa foi a principal motivação desse estudo, na medida em que, as formas de inundação e espraiamento da onda repercutirão na morfologia. Uma das formas de avaliar a onda é quanto ao seu *runup*. HOLMAM, 1985; SORENSEN, 1997; KOBAYASHI, 1997 e COELHO, 2005 concordam que, refere-se à altura acima da elevação da água (maré e onda) alcançada pelo *swash*.

Ondas que promovem erosão geralmente ocorrem quando o *runup* da onda atinge a junção entre a face de praia e um obstáculo como falésia ou duna. *Runup* é um fenômeno muito complexo, pois vai depender do nível de água local (incluindo

batimento da zona de arrebentação ou efeitos de onda de infragravidade), das condições de onda incidente (altura, período, declividade e direção), e da natureza da praia (declividade, topografia) ou estrutura que está sendo executado (inclinação, refletividade, altura, permeabilidade, rugosidade) (HOLMAM, 1985; RUGGIERO, et al., 1996). (FIGURA 41)

Figura 41 – Componentes e o mecanismo do *runup* da onda de alta energia ao alcançar a zona de praia.



Fonte: <http://www.hpcme.org/stonington/coastal/>

Alguns fenômenos estão cada vez mais frequentes e, em particular na zona costeira, como as tempestades, ciclones extratropicais, *tsunamis*, terremotos, maremotos, tornados ou tromba d'água quando nos oceanos, além da elevação relativa do nível do mar (NICHOLLS & TOL, 2006; HUNTER, 2011).

Sabe-se que os fenômenos citados acima não ocorrem diretamente no litoral cearense. A denominação “tempestade” não é aplicada na área, pois as condições locais (atmosférico e oceanográfico) não são favoráveis ao acontecimento, exceto, na região sudeste e sul do país. Assim, a denominação “eventos de alta energia” e, mais precisamente, “ressaca do mar”, foi a mais aceita, dentro das características propícias e fenomenológicas existentes na zona costeira em questão. USER, ON, 2011

PAULA *et al* (2011) reforça esse termo ao dizer que a comunidade científica brasileira tem utilizado o termo “ressaca” com diferentes definições, mas para o litoral de Fortaleza [e do Estado como um todo], as ressacas são originadas, principalmente, pela entrada de ondas de longo período (*swell*), que provocam a sobre-elevação do nível do mar, por meio do empilhamento da massa de água junto à costa e, enfatiza que deverá considerar-se o *storm surge* como fenômeno associado às ressacas e não como parte dela.

As características das ondas predominantes no litoral cearense e, especificamente, na Região Metropolitana de Fortaleza foram extensivamente descritas nos trabalhos de (SILVA *et al*, 2011; MAIA, 1998; MORAIS, 1980; MORAIS *et al*, 2006; OLIVEIRA (2009); OLIVEIRA & MEIRELES (2010); LIMA *et al* (2012); MOURA & MORAIS (2011); AQUINO *et al* (2012) e PAULA *et al* (2011). As ondas do tipo *sea*, com período variando entre ocorre em maior frequência do que a *swell*, porém, o impacto do *swell*, com direção de N-NE é mais significativo na morfologia costeira.

Para o caso particular do litoral do Nordeste brasileiro e, especialmente, no Estado do Ceará, as praias são modificadas pelas marés ($RTR > 3$), em decorrência das características de mesomarés (PINHEIRO *et al.*, 2003). A influência da maré é importante na região para a determinação do *wave runup*. Uma onda *sea* ou *wind waves* torna-se *swell* quando elas saem da área de geração da onda, seja por viajar fora da área onde o vento é soprado ou quando o vento cessa. Uma vez que as ondas *swell* deixam a área de geração, ela sofre uma modificação que permite que ela viaje em grandes distâncias com a mínima perda de energia (DAVIES, 1964; SHORT, 1999).

De acordo com Donnelly *et al.*, (2005), do processo de transformação das ondas que se propagam em direção à costa, resultam uma série de fenômenos contribuintes para o nível alcançado pelo mar (*setup*, espraiamento e galgamento por espraiamento e/ou por inundações). Em regime de alta energia, alturas de onda mais elevadas produzem um *setup* maior, logo, a susceptibilidade à inundação é também maior.

Da mesma forma, em geral, o espraio das ondas atinge níveis tanto mais elevados de perfil de praia quanto maior a energia das ondas. O galgamento ocorre quando o nível de espraio da onda ou o nível do mar com sobre-elevação excede o

limite máximo da praia (altura da crista da duna primária), classificando-se em galgamento por espraio ou galgamento por inundação, respectivamente.

Durante esses períodos, as ondas sobre-elevadas atacam a costa com grande intensidade, originando galgamentos oceânicos que induzem mudanças morfológicas muito bruscas nas praias arenosas, tais como a destruição rápida de dunas e o recuo acentuado das falésias arenosas (processos erosivos) e a formação de leques de galgamento (processos de acumulação). Em face do exposto esse capítulo tem como objetivo caracterizar os mecanismos controladores dos processos costeiros, destacando os que caracterizam em eventos de alta energia no período estudado (2011-2013) e suas implicações nas praias do litoral de Aquiraz.

Metodologia

4.2.1 Coleta de dados

Na revisão bibliográfica para atender a metodologia proposta, foi realizado um levantamento dos principais trabalhos que seguiram vários temas associados tais como: Erosão da Linha de Costa associada a Tempestades (CALLIARI, *et al*, 1998), Maré Meteorológica (CAMARGO *et al*, 2002; SIEGLE & CALLIARI, 2008); Marés de Tempestades (MARTINS, *et al*, 2004); Graus de Vulnerabilidade devido às Tempestades (LINS – DE –BARROS, 2005); Leques de Arrombamento (SILVA *et al*, 2008); Passagens de Tempestades e Riscos Costeiros (CALLIARI *et al*, 2010); Incidência de Ondas de Tempestades (MUSSI, 2011); “Ressaca do Mar” (CIAVOLA *et al*, 2007; FREITAS *et al*, 2010; PAULA *et al*, 2011); Frequência de Eventos Naturais Extremos (PAVAN, 2012); Eventos de Alta Energia (LIMA *et al*, 2011; AQUINO, *et al*, 2012).

A primeira etapa do trabalho foi da obtenção dos dados de onda através das previsões do modelo de ondas *WAVEWATCH* 3.14, no CPTEC/INPE, com uma resolução espacial de 1x1 grau. O modelo é apropriado para regiões de águas profundas e foi desenvolvido pela *Marine Modeling and Analysis Branch* (MMAB) do *National Center for Environmental Prediction* (NCEP). Neste modelo, a geração e propagação das ondas são regidas pela equação de balanço da densidade de ação espectral.

A saída do modelo inclui vários parâmetros calculados a partir do espectro, assim como também os dados do particionamento espectral (*wind-sea* e *swell*) para toda a grade. As previsões são feitas até 120 horas de previsão (5 dias) e apresentam boa validação para a costa do Ceará, documentadas no site (<http://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/wavewatch.shtml#documentation>).

As medições dos parâmetros de onda na arrebentação foram realizadas durante a coleta de dados em campo, no período de setembro a novembro de 2011 e de janeiro a abril de 2012, meses nos quais há maior ocorrência de ondas *swell* na costa do Ceará, utilizando o método e técnica de Muehe (2005).

A altura da onda significativa na arrebentação (H_b) consiste na observação por estimativa, da qual foi obtida utilizando uma régua estadia ou de topógrafo, fixada no estirâncio (no ponto máximo de recuo da onda) visualizando a “linha do horizonte” e a crista da onda pouco antes de arrebentar. Outro método utilizado foi da leitura estatisticamente definida como sendo a média das alturas de 1/3 das ondas mais altas.

O período (T_p) é o intervalo de tempo, medido em segundos, para a passagem de duas cristas de onda sucessivas por um mesmo ponto fixo. Na determinação do período da onda, foi utilizado um cronômetro que mediu a passagem de 11 cristas que, posteriormente dividiu-se o resultado por 10.

Nesse caso, a zona de arrebentação pode ser usada como ponto fixo ou outro objeto que esteja no mar, como um barco, navio, bóia, etc. Comparações feitas entre dois observadores comprovou uma tendência de superestimar o período das ondas com período inferior a 11s e subestimar o período superior a 14s (PLANT e GRIGGIS,1992). A declividade da face de praia (especificamente estirâncio e berma superior) foi medida com o uso de clinômetro e calculadas em graus a partir dos perfis topográficos da praia.

A determinação do ângulo de incidência das ondas (α_b) na arrebentação foi obtido com o aparelho nível topográfico TOPCON AT-B4 24x de precisão 2mm. O círculo graduado acoplado ao aparelho nível foi zerado na direção com o Norte Geográfico e, em seguida foi realizada a angulação entre a linha de arrebentação e a linha de praia. Para minimizar os erros foram realizadas medições dos ângulos em várias posições.

As amostragens em 2011 (setembro a novembro) foram realizadas nas maiores amplitudes de marés de sizígia. Em 2012, nos meses de janeiro a abril, as coletas ocorreram em dois momentos: seguindo a previsão da ocorrência de um evento de alta energia e outro após esse evento, associando-os as marés de sizígia e quadratura respectivamente. Foram averiguadas as repercussões desses processos na inundação da faixa de praia e no campo de dunas frontal embasado nos trabalhos de SALLENGER (2000); VILA-CONCEJO *et al* (2003); MARTINS, *et al*, (2004); DONNELLY *et al* (2006ab); NICHOLLS & TOL, (2006); FERREIRA *et al* (2006); MATIAS *et al.*, (2009;2010); CEIA *et al* (2010); CALLIARI *et al* (2010); HUNTER, (2011).

Para identificar os regimes de galgamentos e, possíveis inundações, o dado de referência   o do nível do mar. Assim, as informações sobre as com as previsões das amplitudes das marés máximas e mínimas diárias foram obtidas no site da Diretoria Hidroviária de Navegação – DHN, referente ao marégrafo instalado no Porto do Mucuripe, localizado na capital de Fortaleza (**Latitude:** 03 43'6" S; **Longitude:** 38 32'36" W).

A caracterização dos regimes de inundação foram calculados com base no modelo proposto por Stockdon *et al.* (2006). O aumento do *wave runup* na costa causado pelo aumento da altura de onda durante a ocorrência de ondas de alta energia foi calculado por meio da equa o proposta por Battjes (1971) e utilizada na praia do Hermenegildo (Maia, 2011), Caponga (Lima, 2012) e nas praias de Portugal (Ferreira *et al.*, 2006). Registros fotográficos foram realizados para estabelecer correla es com os dados gerados pelo modelo.

Para tal, fez-se necessário, conforme Sallenger (2000) extrair os dados do nível de maré, da sobre-eleva o das águas, do espraiamento das ondas e do *wave setup* a fim de obter RHIGH e RLOW. Parâmetros como altura da onda na rebenta o (H_p), período da onda (T_p) e inclina o da face de praia (β) foram fundamentais na identifica o do máximo *runup*.

Paula (2012) ressalta que a magnitude do *runup* e do *setup* está relacionada ao período de ondas,   altura de ondas (H_s) e   inclina o da praia (*beach slope* (β)). Durante condi es de tempestade, o *wave runup e setup* podem aumentar a eleva o do nível de água na costa, devido   sobre-eleva o de índole meteorológica (*Storm surge*). Foi, portanto, baseado nessa linha de raciocínio que a metodologia se desenvolveu e possibilitou alcanar os resultados descritos a seguir.

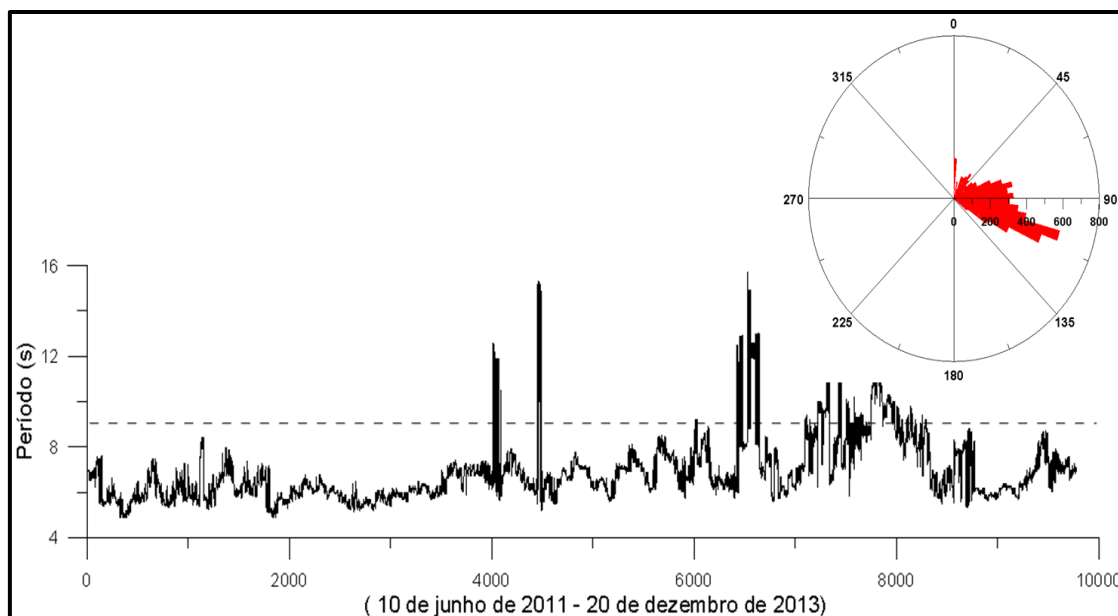
Resultados e Discussões

4.3.1 Características das ondas

As ondas do tipo *sea*, oriundas de E-SE são predominantes na costa de Aquiraz. Correspondem a 70 % das ocorrências e com forte relação com a direção dos ventos da região (E e E-SE). As ondas do tipo *swell* correspondem a 35% das ocorrências com direções predominantes do quadrante N-NE. No ano de 2011, os maiores períodos de ondas foram observados no mês de outubro (15,5s) e dezembro (13,4s). O ano de 2012 foi caracterizado por ondas com períodos entre 6s e 14s, abaixo dos valores observados em 2011. Os maiores períodos foram observados em março (12,2s), novembro (13,2s) e dezembro (12,6s). As mínimas concentraram-se nos meses de agosto (6,5s), setembro (6,4s) e início de outubro (6,4s). **(FIGURA 42)**.

No ano de 2013 o período da onda apresentou características bem diferentes dos anos anteriores, com valores na maioria dos meses do primeiro semestre acima de 10s, com exceção, o mês de junho (8,2s). Os picos foram observados nos meses de janeiro (14s) durante a primeira sizígia, e em fevereiro (14,2s) e março (13,2s) na segunda sigízia de cada mês. Os períodos mínimos foram em setembro (6,7s) e agosto (7,3s).

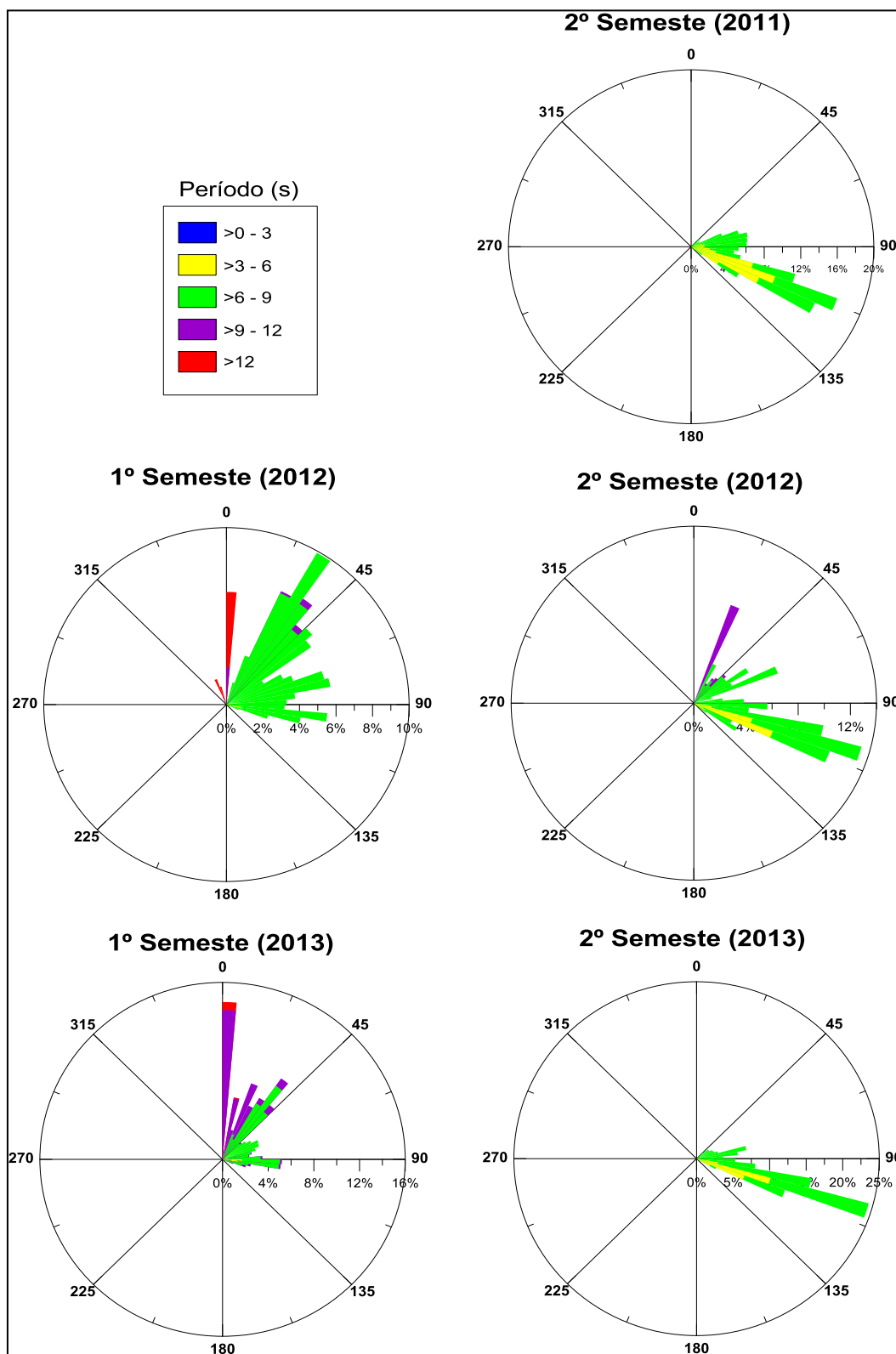
Figura 42 - Período (s) das ondas no litoral de Aquiraz entre os dias 10 de junho de 2011 e 20 de dezembro de 2013.



Existe uma sazonalidade bem marcada no comportamento das ondas na costa do Ceará. No primeiro semestre predominaram as ondas do tipo *swell* e no segundo as ondas *sea*, com período inferior a 9 segundos. No segundo semestre de 2012, as onda *swell* corresponderam a 8% das ocorrências. No primeiro semestre de 2013, as ondas de períodos superiores há 9 segundos foram predominantes. Aproximadamente 13% das ocorrências foram de ondas com períodos superiores a 12 segundos em relação ao ano de 2012. As ondas com esses períodos superiores são predominantes de N (aproximadamente 10°). Considerando a direção da costa estudada que é de SE-NW, o ataque frontal das ondas de longo período está associado aos episódios de ressacas do mar nas preamares de sizígia. **(FIGURA 43)**

A altura média das ondas ao largo é de 1,5 m. As alturas máximas e mínimas verificadas são de 0,50 e 2,7 m. Na zona de arrebentação as alturas variaram de 0,30 a 1,2 m, respectivamente. As menores alturas estão associadas com as ondas de E. As alturas mais frequentes nos intervalos entre 1 e 1,5 m também são provenientes de E. As maiores alturas são observadas nas ondas de E-SE e de N.

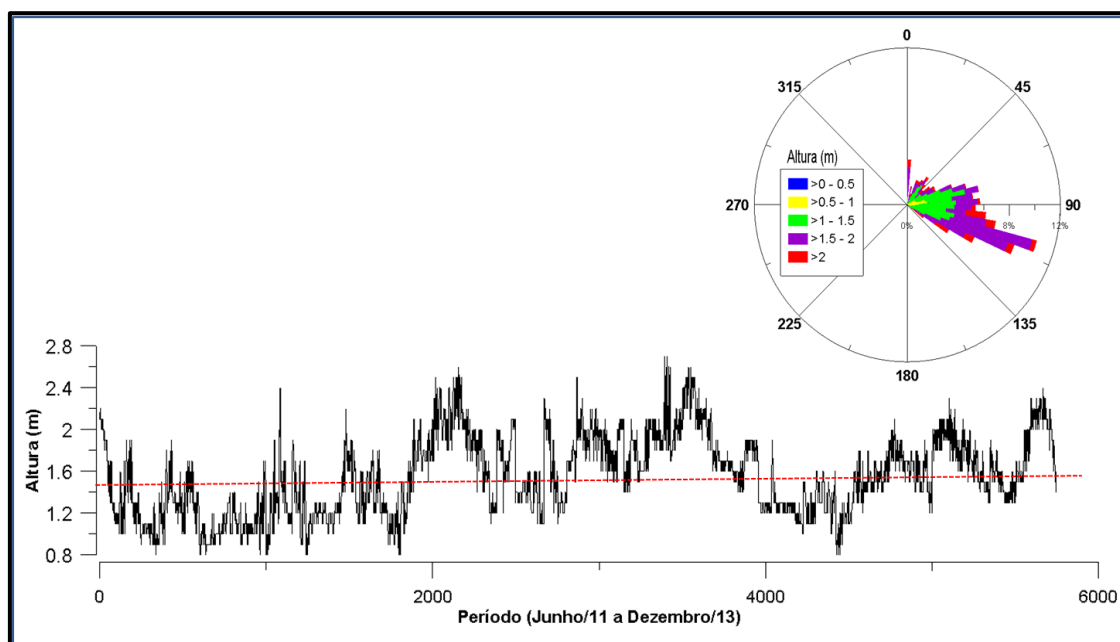
Figura 43 - Relação entre altura significativa e direção da onda para o ano de 2011.



Na relação altura e direção da onda, os resultados confirmam as características de onda local. Durante o segundo semestre em que a ação eólica é mais competente próximo à costa, promove ondas com mais de 1,5 metros, que associada à

orientação da onda (parâmetro importante da dinâmica local), tem destaque em dezembro, mês do qual iniciam a entrada de *swell* originárias do Hemisfério Norte. (FIGURA 44)

Figura 44 - Altura (m) das ondas no litoral de Aquiraz entre os dias 10 de junho de 2011 e 20 de dezembro de 2013.



No ano 2012, as ondas apresentaram alturas de 1,5 metros. Os valores máximos da altura foram observados em fevereiro (2,0m), maio (2,0m) e agosto (2,1m). Entre os meses de janeiro e junho a orientação da onda apresentou-se no primeiro quadrante (0° - 50°) com predominância para ENE. No entanto, o mês de maio foi o único em que a direção ultrapassou os 90° .

No segundo semestre, entre julho e agosto as direções foram de 119° e 109° respectivamente, indicando ondas de ESE. A partir de setembro muda-se para o primeiro quadrante com valores em $88,8^{\circ}$ em outubro, 52° em novembro e $1,2^{\circ}$ em dezembro, variando assim a orientação N – ENE.

Em 2013, os valores da Hs estiveram um pouco acima da média do observado no primeiro semestre de 2012. As alturas máximas foram observadas nos meses de janeiro (2,0m) e fevereiro (2,3m), enquanto que, as alturas mínimas foram observadas nos meses de abril, maio e junho, com média de 1,2 m ($\pm 0,6$ m).

Correlacionando os parâmetros (altura e direção da onda), mostra-se a tendência do *swell* iniciando em dezembro (como foi verificado em 2011) e permanece até maio. A partir de junho com a mudança dos ventos e padrões atmosféricos é raro a entrada do *swell* nesse período, que retorna, por vezes, no mês de setembro e tem seu auge no mês de dezembro iniciando um novo ciclo de eventos. **(FIGURAS 45 e 46)**

Com relação aos dados especificamente do *swell*, no ano de 2011 foi verificado, para o segundo semestre, uma altura média variando entre 0,2 m e 1,4 m. Os meses de maior destaque foram novembro (1,3m) e dezembro (1,4m) meses que sempre estão apresentando eventos de alta energia. Enquanto que, os meses de alturas mínimas foram julho (0,2m) e agosto (0,3m).

Para o ano de 2012, a altura do *swell* variou entre 0,5m a 1,6m. As máximas foram visualizadas somente no mês de fevereiro (1,1m e 1,6m) e os demais meses foram a abaixo de 1,0 m, com exceção de março (1,0 m). As mínimas ficaram nos meses 0,5m e 0,6m exclusivamente no mês de junho.

No segundo semestre, o mês de julho apresentou ondas acima de 1,0m de altura, quase 0,5m maior comparado ao valor em 2011. As máximas foram em novembro (1,2m) e em dezembro (1,3m). Por outro lado, as mínimas alturas ocorreram exclusivamente em agosto (0,1m e 0,2m). Os demais meses apresentaram ondas entre 0,5m e 1,0m de altura.

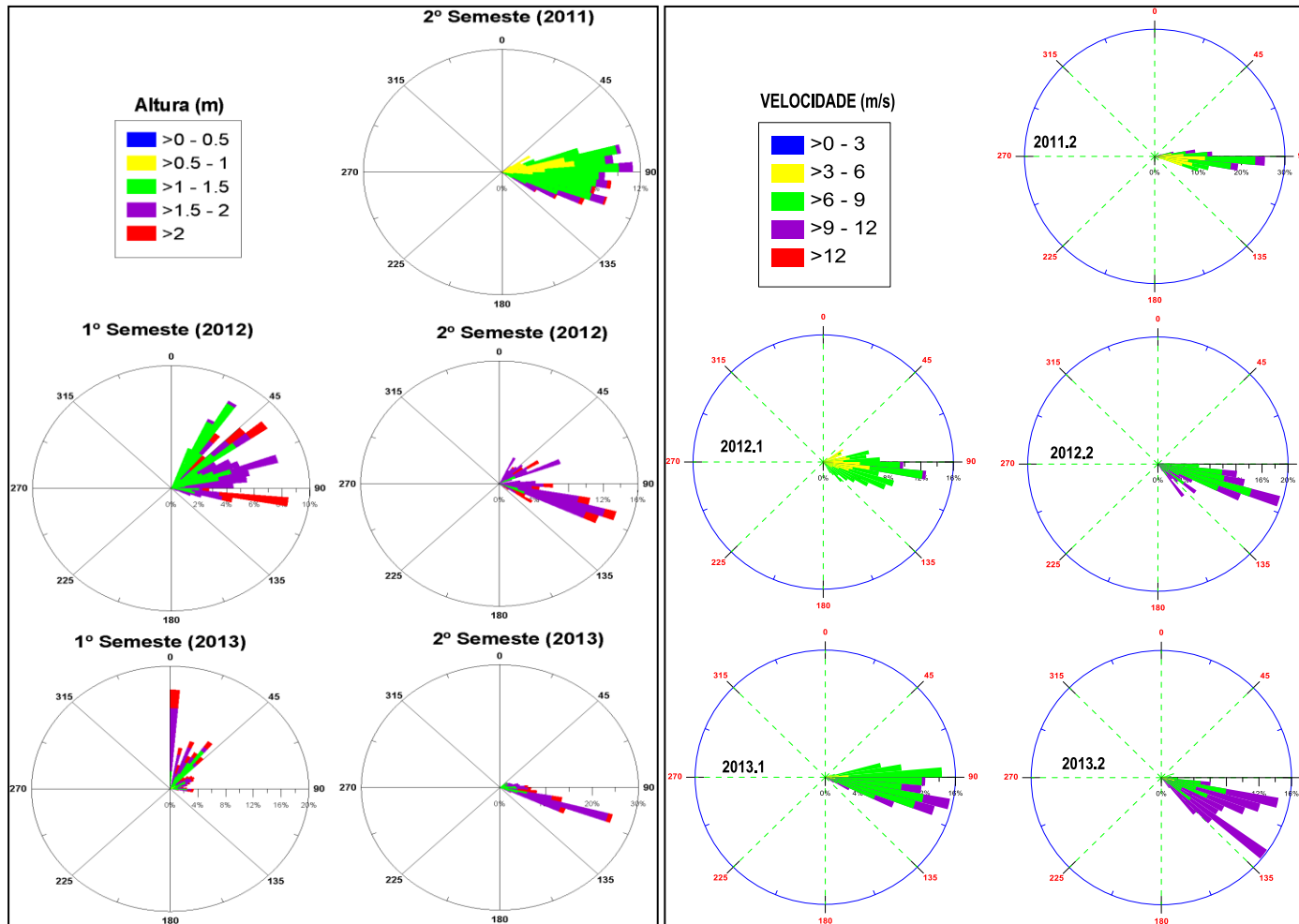
No ano de 2013, o comportamento do *swell* foi diferenciado dos anos anteriores, pois a frequência foi mais significativa, notadamente, no primeiro semestre. As alturas foram semelhantes à de 2012, porém abaixo de 1,6m. Desse modo, as máximas foram de 1,4m em abril e 1,3 em março, meses que fazem parte do primeiro semestre, enquanto que, as mínimas foram de 0,2m em agosto e 0,3 m em setembro, pertencentes ao segundo semestre.

É perceptível uma queda na altura no decorrer do ano, excluindo parte de novembro e dezembro pela ausência de dados. Meses como de março e abril superaram ao ano de 2012 quanto altura da onda e, em contrapartida, agosto e setembro foram mais baixas comparadas aos anos anteriormente citados. Na zona de arrebentação a altura da onda (H_b) variou de 0,70 a 1 m.

Como pode ser observada a direção e altura das ondas predominantes tem uma forte relação com o comportamento dos ventos. A velocidade média no primeiro

semestre entre 2010-2013 variou entre 3 e 10 m/s, no primeiro semestre e de 5 a 11 m/s, no segundo semestre. A direção entre ENE – ESE com maior predominância para E no primeiro semestre e, no segundo, a variação foi de E – SE. As velocidades dos ventos no segundo semestre de 2013 foram mais intensas dos registrados nos anos anteriores.

Figuras 46 e 46. Caracterização semestral da altura significativa e direção das ondas predominante e dos ventos no litoral de Aquiraz entre os dias 10 de junho de 2011 e 20 de dezembro de 2013.



4.3.2 Repercussões na morfologia praial

As séries históricas anuais (1985 e 2009) de ondas mostram que o maior intervalo de maior altura máxima de onda ocorreu no segundo semestre do ano, observando a ocorrência em valores superiores a 4 m (SILVA, *et al*, 2011). As ressacas são o resultado de uma coincidência entre marés muito altas e ondas longas vindas do quadrante norte, geralmente entre os meses de dezembro e março.

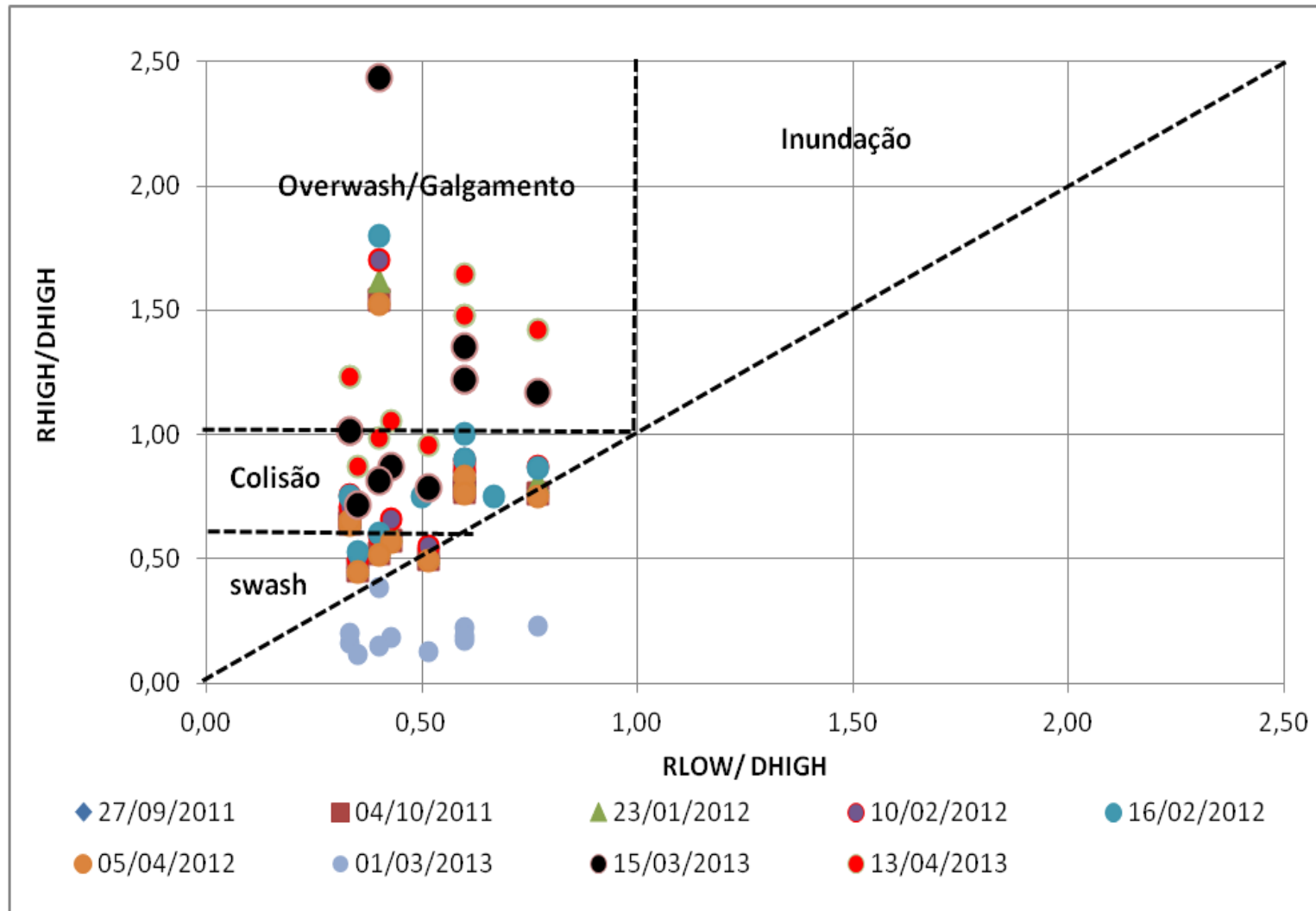
Em virtudes destes ciclones extratropicais a região costeira do Ceará tem sofrido sérias ameaças, como é o caso da ressaca provocada em março de 2001, resultando em prejuízo econômico em alguns setores da orla de Fortaleza (CE). Na área, as maiores elevações foram observadas no ano de 2013 com a influência das ondas do tipo *swell*, com períodos superiores há 20 segundos, que caracterizou o primeiro semestre e foi responsável por uma série de inundações ao longo da zona costeira do Ceará.

As menores oscilações foram observadas no dia 04/10/2011, caracterizado por ondas com período de 5,8 segundos sob as condições de mesma amplitude de maré das observadas em 2013. As cristas das dunas na região alcançam cotas que variam de 2,5 a 7,5 metros. As menores cotas são observadas nas regiões ocupadas próximas a praia a exemplo do ponto PONTO 09. Observa-se que este é um setor erosivo como apontaram os estudos sobre evolução da linha de costa.

Aí está o grande diferencial entre as praias estudadas, pois por um lado, praias que possuem dunas com alturas consideráveis, como é o caso da praia do Japão, tem maiores chances de proteção e de se reestruturarem do que, por exemplo, a praia do Porto das Dunas, que não possui dunas e a topografia favorece a entrada de ondas com maiores alcances do *runup*.

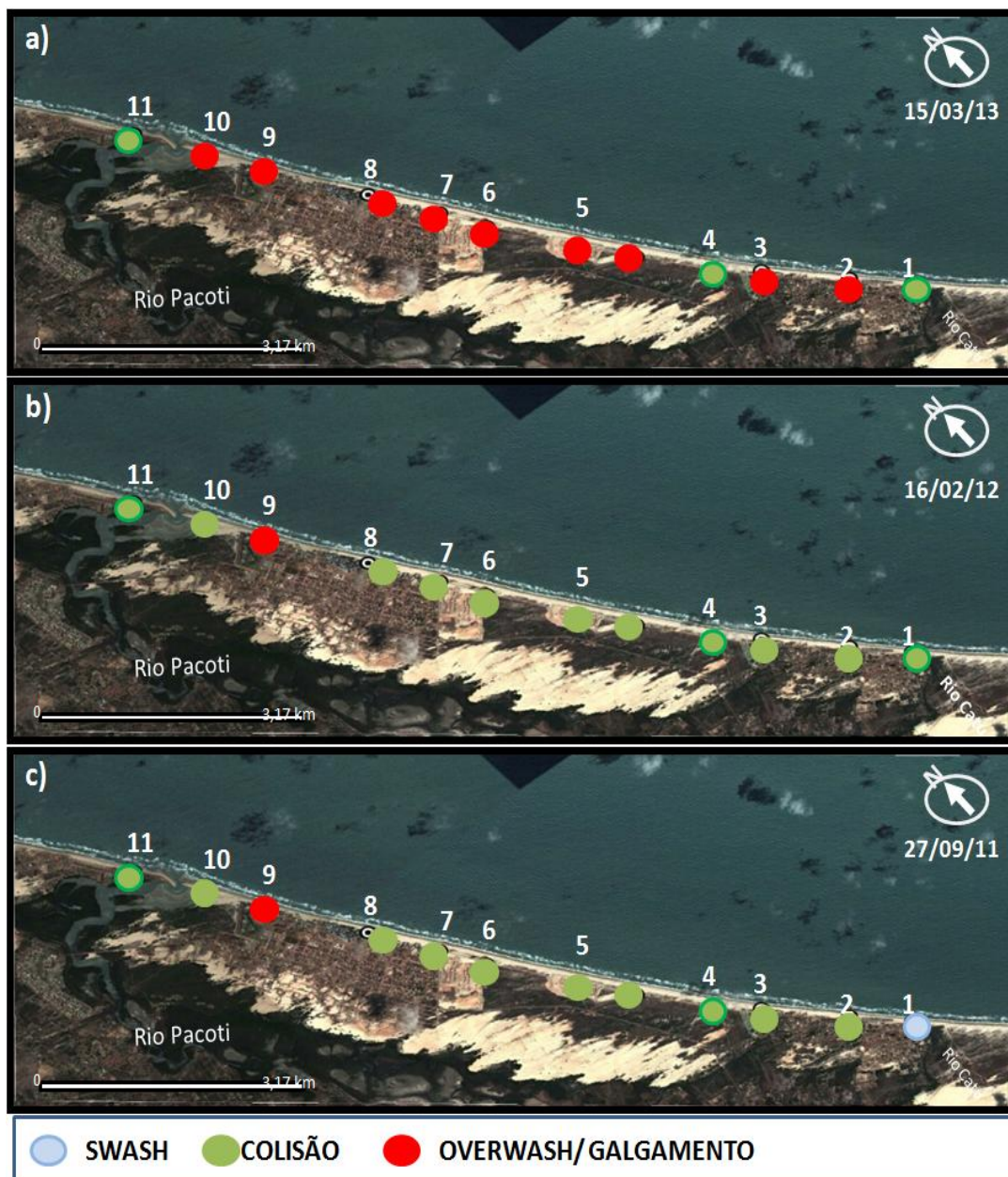
Na Figura 47, a sazonalidade é bem marcada no regime de impacto das ondas na costa de Aquiraz, que variaram desde o regime de espraiamento a *overwash*. Os processos de colisão e *swash* foram predominantes ao longo dos dias estudados, que agrupam condições para o desenvolvimento de eventos de alta energia na costa.

Figura 47 - Vulnerabilidade aos regimes de impacto nas praias de Aquiraz em áreas com dunas frontais e com ocupação da pós-praia.



Outros fatores também estão associados à dinâmica dessas ondas que são os ventos e a precipitação. Como a direção predominante dos ventos alísios são de NE e SE, contribuem na orientação do *swell* ao se aproximar de águas rasas. Verificou-se, portanto, que a dinâmica das praias de Aquiraz não somente vai responder ao ambiente em si, mas também quando ocorrem construções, ocupações e atividades onde as ondas e ação dos ventos trabalham constantemente. A **figura 48** ilustra os regimes de impacto, onde é possível observar a influência das ocupações na elevação dos riscos de inundação.

Figura 48 - Vulnerabilidade aos regimes de impacto nas praias de Aquiraz em áreas com dunas frontais e com ocupação da pós-praia.



A urbanização vai se dá paralelamente ao processo de ocupação do município e, especificamente no litoral, a partir da década de 1980, trouxe certo avanço no que diz respeito à infra-estrutura, vias de acesso, transporte, que ora ainda se faz precária em Aquiraz (OLIVEIRA, 2009). No Município, fator preocupante é a extensa área comprometida com o parcelamento do solo em lotes com dimensões para uso urbano. Este processo vem ocorrendo a várias décadas de forma intensa. Transforma áreas com vocação para produção alimentar em loteamentos com pseudocaracterísticas urbanas, sem a mínima infra-estrutura. Muitos deles sequer tiveram suas quadras demarcadas, disponibilizando lotes com dimensões de lotes urbanos em número muito além das reais necessidades apontadas pelos resultados dos estudos de demografia (PDDU, 2005).

Entre a numeração 1 e 3 estão os PONTOS monitorados da Prainha de Aquiraz. A classificação ficou entre **Colisão e Overwash/Galgamento**, com características de dunas esparsas a ausentes e perfil de praia moderado a estreito, proporcionado à entrada das ondas na pós-praia.

Dentre as interferências das ações antropogênicas na dinâmica da praia, principalmente, entre agosto e outubro, devido se tratar do período de estiagem com intensa dinâmica eólica. A desembocadura da lagoa/rio Catú (PONTO 01) é totalmente bloqueada por uma barra arenosa, impedindo que haja o contato entre o rio e o oceano, formando assim, uma praia sazonal. É nesse período que se observa a instalação de barracas sobre esta faixa e, nos períodos de ressaca do mar as ondas conseguem ultrapassar essa barreira arenosa.

Nesse sentido, Meireles (2008) comenta que as principais causas foram relacionadas com o desenvolvimento dos processos energéticos representados pela ação das ondas, marés e velocidade dos ventos, combinadas com a disponibilidade de areia, configuração geomorfológica e principalmente pelo uso e ocupação da planície costeira.

Os registros fotográficos vêm confirmar que a área de atuação das ondas e marés está subordinada predominantemente aos processos naturais, uma vez que, eventuais tipos de ondas com marés astronômicas ou meteorológicas avançam costa adentro. Zonas como a Berma e, por vezes, dunas frontais, são neste período, atingidas pelas fortes ondas atingindo o máximo do *runup*. (FIGURA 49)

Figura 49 - Ocupação na desembocadura e das margens da lagoa do Catú (2008/2009).



Fonte: próprio autor (2009 a 2012)

Seguindo para o setor mais ocupado da Prainha, estão as barracas e restaurantes localizados na berma e estirâncio, ou seja, tomam o espaço natural do fluxo e refluxo das ondas. Periodicamente, as ondas de ressaca escavam a frente das Bermas e dunas frontais que ainda restam formando rampas consideráveis que derrubam barracas de sol, como pode ser visualizado na **figura 50**.

Durante a maré de sizígia, as ondas adentram as ocupações causando prejuízos materiais aos proprietários e, conseqüentemente, diminuição da presença do turista. São situações cotidianamente realizadas sem nenhuma orientação e fiscalização local, a fim de evitar danos maiores ao ambiente praial e para a comunidade local.

Figura 50 - Trechos da Prainha de Aquiraz com ação das ondas sobre as construções e barracas de praia. Na sequência, suportes de guarda-sol no estirâncio; linha de premar frente ao parque aquático Itacaranha *Park*; dinâmica da maré em sua área de atuação com ocupação e; barraca de sol caída pela retirada de areia por ondas.



Fonte: próprio autor (2011-2012)

A praia do Japão está em processo de ocupação, do qual, foi acompanhado durante os campos por medições e registros fotográficos. O empreendimento localiza-se por trás da duna frontal, o que já é um impacto para a zona costeira, impedindo da circulação do vento, do transporte sedimentar, assim como, na compactação por terraplanagem do terreno, causando assoreamentos das lagoas interdunares e aquíferos. **(FIGURA 51).**

Por todo o trecho foram observados alguns indicadores de erosão e avanço do mar. A faixa de praia neste setor apresenta construções de grande porte, fator negativo, que no futuro próximo, podem derivar em danos irreversíveis.

Figura 51 - Muros e desvios são vistos sobre as dunas e planície de deflação da praia do Japão.



Fonte: próprio autor (2011)

Entre a numeração 4 e 8 estão os PONTOS monitorados da praia do Japão. A classificação ficou entre **Colisão e Overwash/Galgamento**, com predominância ao regime de **Colisão**, exceto no mês de março onde houve o galgamento.

A área possui dunas expressivas, mas devido a curta faixa de praia, induz as ondas com maior energia atingirem o máximo *runup*, alcançando a base da crista da duna. Essa dinâmica pôde ser verificada durante os caminhamentos na linha de preamar, onde as ondas (altura entre 1,0 e 1,6 metros) excederam as escapas. Conchas de praia foram encontradas para além desse “batente” (**FIGURA 52**).

Na praia do Japão, antes da duna frontal (entre a berma e a duna frontal), há uma morfologia com características de uma crista praial que foi aceita como tal segundo alguns conceitos. Por crista praial, Davies (1957 in HESP, 2002) propôs o modelo de alternância entre erosão e deposição (*cut-and-fill process*) para a gênese de cristas praiais, caracterizado pela formação de um berma em condições de clima de onda calmo (fase “deposição”) que, uma vez não erodido subsequentemente (fase “corte” ou erosão), tornar-se-ia o núcleo inicial para a evolução de uma crista de praia.

Sugio (1992) define crista praial como acumulações alongadas, em geral de composição arenosa e, por vezes, cascalhosas ou conchíferas formadas pela ação de

ondas de tempestade, correntes e, menor influencia da maré, constituindo zona de progradação.

Figura 52 - Conchas depositadas na base da duna frontal durante os eventos de alta energia.



Fonte: próprio autor (2012)

Na praia do Porto das Dunas, a urbanização consolidada tem acentuado a vulnerabilidade aos impactos considerando a sua localização na zona de ação das ondas e marés. Isso faz com que a dinâmica sedimentar fique comprometida e, por conseguinte, as construções sejam destruídas (**FIGURA 53**). Verifica-se, portanto, que os próprios empreendimentos estão em risco ao avanço das ondas e prejuízos materiais, pois a cada ressaca do mar, as ondas avançam, ocasionando o rebaixamento do terreno.

Entre a numeração 9 e 11 estão os PONTOS monitorados da praia do Porto das Dunas. A classificação ficou entre **Colisão** e **Overwash/Galgamento**, em todo o período estudado, mas a classificação **Galgamento** foi exclusiva da praia em si que na desembocadura do rio Pacoti (PONTO 11).

Figura 53. Construção do lago artificial e terraplanagem sobre a área de dunas.



Fonte: www.cameron.eng.br Acesso em: 18/11/2008 por Freire (2009).

Escoamentos no Porto das Dunas formam canais na faixa de praia, de supostas galerias fluviais dos condomínios que são misturadas com as águas do mar, durante a maré cheia, ocasionando o arrasto e/ou transporte dessas areias para outros lugares, que por muitas vezes, ficam aprisionadas, sem retornar ao local de origem. Outro impacto é com relação à destruição das dunas por impermeabilização ou desmonte, apresentando vulneráveis a erosão e degradação.

Demais situações foram notificadas como as escarpas formadas na pós-praia. Segundo Ferreira *et al* (2006), a escarpa de erosão permanente define a transição da duna e a praia, o que denota uma processo de recuo da linha de costa, comum durante a ressaca do mar (*swell*), modifica a paisagem e a torna fragilizada quando se trata da erosão, na medida em que, constantemente nesses terrenos são realizadas manutenções (máquinas e pás manuais retirando o “excesso” de areia) fazendo com que a praia se torne mais plana para o acesso de carros e banhistas. **(FIGURA 54)**

Figura 54 - Na sequencia, linhas de preamar frente aos condomínios fechados do *Beach Park Resort*; canais de entrada e escoamento das águas do mar num *resort*; escarpas praias próximas às barracas de sol do *Beach Park* e; outro condomínio fechado com abertura e saída das águas do mar; evolução das construções no Porto das Dunas com desmonte das dunas e perda de boa parte da pós-praia dando lugar aos resorts e parques aquáticos.



Fonte: próprio autor (2008 – 2011)

Esses acontecimentos foram notificados por toda a área e período. Através do caminhamento e georreferenciamento por toda a área, permitiu uma macrovisão durante os campos, principalmente, por terem sido realizados em maio e agosto de 2011 e 2012, meses em que no litoral é considerado chuvoso e de estiagem respectivamente.

Mudanças nas características da morfologia e energia do ambiente são exemplos dessa sazonalidade na zona costeira. Short (1999) descreve que o modal (gravidade) da onda determinará o equilíbrio geral do gradiente praiial. A altura da onda influencia na profundidade das ondas próximas à costa (*nearshore zone*) e de arrebentação, assim como a extensão dessas mesmas zonas e o tipo de praia.

Por muitas vezes, fatores diversos (climáticos e oceanográficos) propiciam a ocorrência de galgamentos. Segundo a definição e análise de Shepard (1973) e Donnelly *et al* (2006a) o *overwash* ocorre se qualquer nível *runup* da onda ou tempestade (nível de água em excesso de maré prevista) quando excede altura da crista praia ou da berma. Registros desses eventos têm sido observados nas Praias do Porto das Dunas e Prainha, notadamente, na Praia do Japão em 2013. Exemplifica-se assim a tendência evolutiva das ocorrências de ressacas finalizadas em *overwash* no litoral de Aquiraz.

Em áreas desenvolvidas (com ocupação), o *overtopping* pode ser um alerta, porque a erosão da face da praia permite que áreas mais altas e estáveis possam se tornar vulneráveis a danos causados por tempestades. Em áreas naturais, se as dunas forem reduzidas ou destruídas, a função de proteção da praia é comprometida e, assim, o *overwash* pode ocorrer (Donnelly *et al*, 2006a).

Daí a preocupação maior deve ser dada pelas costas com praias mais planas ou com baixa declividade pela facilidade com que essas ondas atingem uma extensão considerável por não haver obstáculos naturais para conter essa energia e os danos naturais consequentes.

Conclusões

- A importância do estudo do *overwash* como principal efeito dos eventos de alta energia está na preocupação com que vários pesquisadores de diversos países se detêm em estudá-lo e entender, em sua totalidade, como ele ocorre, pois ainda é uma complexidade a desvendar. No Brasil, os primeiros trabalhos concentraram na região Sul e, recentemente, é verificado na região Nordeste;

- A onda *swell* alcança à costa do Ceará, iniciando no mês de dezembro e se estende até maio, com maiores repercussões nos meses de dezembro a fevereiro. Pode também ocorrer nos meses de setembro e outubro, porém, com menor intensidade, resultado, por vezes, em deposição sedimentar e progradação da linha de costa, como foi registrado em 2011.

- Dentro do tempo estudado, as ondas significativas tiveram um máximo de 2,3 metros e um mínimo de 1,1 metros, aproximando aos demais resultados descritos anteriormente. A incidência das ondas alcançaram a costa com direção NNE-NE no primeiro semestre e ESE no segundo semestre. As máximas alturas da *swell* tiveram predominância em dezembro e fevereiro e ausência do tipo de onda entre junho e agosto. Portanto, os eventos sazonais como as ressacas é um dos principais agentes de modificação no litoral de Aquiraz.

- Com relação ao parâmetro vento, tem papel fundamental na propagação e geração das ondas *sea*, porém, não estão diretamente relacionadas ao *swell*, pois sua geração ocorre há grandes distâncias da sua ocorrência. A velocidade média no primeiro semestre entre 2010-2013 foi de até 10m/s (entre 3 e 10 m/s) e no segundo semestre entre 5 e 11 m/s. A direção do vento variou entre ENE – ESE com maior predominância para E no primeiro semestre e, no segundo, a variação se deu E – SE, predominando ESE. Esses resultados favorecem a migração dos sedimentos da praia para a duna e vice-versa, fator bastante positivo nas praias do Estado do Ceará.

- Quanto ao parâmetro precipitação, a principal verificação é da mobilização de areias sentido praia ou duna. Como 2011 foi um ano chuvoso, a compactação sedimentar impediu que feições fossem visualizadas como as bermas ou de promover a deposição em outro setor da praia. Enquanto que, 2013, a quadra chuvosa adveio por quase todo o primeiro semestre, mas com valores abaixo dos anos anteriores, tendendo a períodos mais secos que o normal. Assim, a precipitação entra como um fator que corrobora na altura das dunas e inclinação da praia, essenciais na entrada de *swell*.

- A Prainha de Aquiraz, classificada como semi-urbana, apresentou perfis com morfologias descontínuas, e ondas que alcançam algumas barracas, prejudicando o comércio local e ao turismo. Além disso, a ocupação sazonal nas margens da lagoa do Catú também favorecem a erosão e avanço das ondas de alta energia.

- Por outro lado, a praia do Porto das Dunas, classificada como urbana e maciçamente ocupada, tem sofrido impactos negativos devido às construções indevidas e desordenadas. O avanço crescente da ocupação e degradação da duna e faixa de praia pode induzir e acelerar os processos erosivos, e conseqüentemente, o *runup* terá um alcance bem maior, graças a uma topografia de inclinação mediana, o que seria favorável ao mecanismo de *overtopping*.

- As praias classificadas como naturais apresentaram maior fragilidade ao evento de alta energia que as praias semi-urbanas, na medida em que, a longa escarpa formando um paredão por toda pós-praia na praia do Japão, espraiamento das ondas ultrapassando-as e alcançando a base da duna frontal e deficiência de granulometria fina, foram os principais indicadores/consequências dos eventos de alta energia. Atualmente (desde 2012), essa área está recebendo uma leva de grandes construções que vão acelerar a degradação local, principalmente no rebaixamento do terreno (terraplanagem das dunas), corroborando na vulnerabilidade dessas praias.

- Quanto aos regimes de impacto, as três praias, tiveram o ano de 2013, o de maior ocorrência de *overwash*/galgamentos, em detrimento de 2012 e 2011. Apenas a praia do Porto das Dunas, representada pelo PONTO 09, foi a que apareceu com regime de galgamento em todos os anos, enquanto que as demais, ocorreram regimes de colisão. Isso induz a pensar que, área com menor comprimento da faixa de praia e ausência de dunas frontais está mais propícia aos impactos das ressacas.

- A praia do Japão, foi favorecida pela preservação das dunas que servem como anteparo aos eventos de alta energia, porém, é uma das praias com maior registro de deficiência sedimentar.

- Não foi notificada nenhuma orientação e fiscalização local, a fim de evitar danos maiores ao ambiente praiar e para a comunidade local. É crescente a busca pelo litoral de Aquiraz, principalmente, pelos grandes empreendimentos de grupos estrangeiros que ocupam os espaços costeiros sem responsabilidade ambiental e social, que repercutirá em impactos negativos e, por muitas vezes irreversíveis.

5. CARACTERIZAÇÃO E DINÂMICA SAZONAL DOS SEDIMENTOS DO SISTEMA PRAIA-DUNA DO LITORAL DE AQUIRAZ

5.1 Introdução

A planície costeira é considerada um ambiente extremamente dinâmico, estando associado à deposição e retirada de sedimentos, ora no sistema praia – duna por meio das ondas e marés (*inputs*), ora no sistema dunas – praias pela competência dos ventos. A evolução das praias em termos temporais ocorre em intervalos instantâneos ou milenares. O instantâneo é representado pela porção limitada da praia, zona de estreita interação onda-sedimento e imediatamente acima do leito oceânico, que estende da base da onda até o limite de espraiamento (*wash*) (SHORT, 1999).

A longo prazo, interações dentro dessa zona limite, associados ao ganho de sedimentos, produz modificações progressivas da topografia e morfoestratigrafia da praia. Estes, por sua vez, podem produzir alterações nos padrões de transporte sedimentar, subseqüentemente erodidos ou preservados há milênios (SHORT, 1999; COWELL & THOM, 1997).

A praia, ambiente que envolve a zona de pós-praia até a antepraia, pode ser definida, conforme Short, (1999); Park, (1999), como acúmulo de sedimentos depositados por ondas desde a profundidade máxima de transporte do material para o continente até o limite superior do *swash*. Complementa os autores que as praias são totalmente dependentes das ondas e dos sedimentos e, conseqüentemente, elas ocorrem em todas as latitudes, em todos os climas e em todas as amplitudes de marés e todas as formas de costas.

A praia possui outra denominação, estirâncio, que nada mais é do que a zona de *swash* e *backwash* das ondas, bem como, sob o domínio das marés, fica recoberta durante a preamar e exposta durante a baixamar. Visualmente é identificada pela parte sempre úmida da planície costeira. Alguns autores fazem dessa definição também para a antepraia (SUGUIO, 1992; DIAS, 2007).

Na parte submersa, trata-se da antepraia (*foreshore*), a porção inclinada do perfil de praia compreendido entre a crista da berma de praia (ou, na ausência desta, entre o limite superior da zona abrangida pelo espraio da onda na maré cheia), e a zona da maré baixa marcada pelo refluxo da onda subsequente ao espraio. Muitas vezes este termo é aplicado como sinônimo de face da praia, mas normalmente é mais abrangente, incluindo, também, parte da zona aplainada do perfil de praia subjacente à face da praia. Devido às diferentes conotações com que é aplicado deve-se evitar a utilização deste termo. (DIAS, 2007).

A partir do conhecimento e definição da compartimentação do ambiente praiar, que se pode analisar a distribuição sedimentar e como ocorre a sua dinâmica desde a movimentação na parte submersa até a sua deposição da parte emersa. Assim, GRUBER *et al.* (2003) destaca que poucos trabalhos consideraram a distribuição transversal de sedimentos no arranjo individual de frações texturais para os sedimentos na antepraia. Seguindo o raciocínio, o equilíbrio de uma zona dinâmica é definido pelo tamanho de grão que esteja assentado em determinado setor da praia, na fração que represente seu pico de abundância.

Em seguida, os efeitos da configuração da linha de costa são investigados através do seu controle implícito sobre a resposta do perfil costeiro, por meio da característica dos sedimentos que, por sua vez, primeiramente depende da forma plana da costa e da direção de incidência da onda (DAVIES, 1958; KOMAR, 1983).

Identificar quais fatores está acarretando na modificação da costa, na topografia e na sedimentação das praias é algo difícil, principalmente quando não há uma base de dados que possam ser analisados e comparados aos dados atuais. Mediante informação, o processo histórico geológico e geomorfológico pretérito é de suma importância para o entendimento dos processos que regem no presente.

Trazendo para a área de estudo, correspondente a zona costeira do município de Aquiraz, dados sedimentológicos, topográficos e de parâmetros oceanográficos são recentes, datados dos últimos 10 anos (MOURA, 2009; MARINO & FREIRE, 2013), isso quando se tratam de estudos realizados com praias, campo dunas e zona submersa. O interesse pelo estudo dos eventos de alta energia, com a entrada de *swell* na costa, também é algo recente, mas que vem tomando espaço em vários pontos do litoral nordestino inclusive em algumas praias do Ceará (Fortaleza, Aquiraz, Caponga, Paracuru).

Short (1999) mostra que o suprimento de sedimento é essencial componente da praia. O volume sedimentar move-se através do sistema praial que pode ser definido como balanço sedimentar, que é igual à fonte de sedimento, menos as perdas, num determinado período de tempo. Esse balanço tipicamente flutua em escalas de tempo quanto a retirada ou deposição, como as tempestades (*storms*) e pós-tempestades (*post-storms*) até períodos de curto a longo prazo.

Acerca do balanço sedimentar e sua variabilidade na escala espaço-temporal, tem-se no litoral do Ceará, mais especificamente no de Fortaleza, como um dos principais agentes, a curto prazo, as ressacas do mar, das quais, estão associadas aos episódios em que se conjugam a ocorrência de ondas *swell* de longo período (> 12 segundos), ventos fortes e marés de sizígia (MELO *et al*, 1995; VIANA, 2000; PAULA, 2011).

Após da ocorrência dos eventos de alta energia é percebido uma modificação no tamanho e composição do grão na planície costeira. A interpretação ambiental da distribuição do tamanho dos grãos encontrados em depósitos sedimentares tem sido, e ainda é um objeto fundamental da sedimentologia (McLAREN & BOWLES, 1985) e um decifrador dos fenômenos que aconteceram no passado e presente.

O tamanho das partículas em sedimentos detríticos (ou clásticos), expresso pelo seu diâmetro, constitui uma propriedade textural fundamental (SUGUIO, 2003). Representam os níveis de energia de exposição da praia, de modo que as praias expostas a fortes ondas são esperados sedimentos mais grossos (SIEGLE & CALLIARI, 2008; KOMAR, 1998). Nos ambientes de baixa energia apresentam-se com topografia mais plana e, geralmente são compostos por sedimentos mais finos e formação de bancos arenosos na parte submersa.

Os processos que regem a dinâmica sedimentar, particularmente, em eventos sazonais e de alta frequência, a análise granulométrica foi escolhida na tentativa de fornecer uma descrição mais precisa dos sedimentos, assim como, a sua distribuição na faixa de praia e duna frontal. Nessa contextualização, o presente estudo preocupou-se em entender como a dinâmica de sedimentos entre a relação que se estabelece entre as dunas frontais e faixas de praia podem ser alteradas com os eventos de alta energia, sem esquecer a análise das variações sazonais.

5.2 Metodologia

5.2.1 Amostras na faixa de praia e duna frontal

O monitoramento dos eventos extremamente dinâmicos torna-se difícil devido a falta de pontos de referência permanentes que são necessários para as técnicas de levantamentos clássicos usando nível topográfico, estação total ou alturas de referência (altitudes) (e.g, CLOUTIER & HÉGUETTE, 1998; DINGLER & REISS, 1990; 1994; LEATHERMAN, 1976)

A técnica de pesquisa utilizada para este estudo permitiu a cobertura de uma área ampla (13km), garantindo simultaneamente a repetição precisa dos perfis predefinidos. Assim, para o levantamento e traçado dos perfis topográficos foi determinada uma cota inicial para cada um deles (PP – ponto de partida), com pontos georreferenciados e dados de alta densidade mantida por coordenadas UTM.

Para tanto, fez-se uso do aparelho Sistema de Posicionamento Global (GPS) MAP®62 – GARMIN, configurada no *Datum* horizontal WGS-84, compatibilizando tanto com as referências do local quando às imagens do *Google Earth*.

Para determinação da malha amostral de alta frequência na praia do Japão, foi utilizado também o Sistema de Posicionamento Global Diferencial cinemática em tempo real (DGPS - RTK) e um aparelho de Medição Eletrônica à Distância (MED) - Estação Total RTS-825R³ - da marca Ruide. Durante a pesquisa o *DGPS* foi instalado na praia do Japão para o levantamento da malha com dimensões 200 x 100 metros, abrangendo a duna frontal e faixa de praia até a linha d'água. A partir das observações e registros fotográficos permitiram a definição dos processos dominantes ocorridos nesse trecho em relação aos demais pontos monitorados.

Amostras de sedimentos superficiais (~3cm de profundidade) foram coletadas em 11 pontos de monitoramento nos anos de 2011 e 2012 entre a foz do rio Pacoti e Catú, totalizando 264 amostras. Esta malha amostral teve como objetivo avaliar o *by pass* de sedimentos entre as células costeiras separadas por rios, afloramentos de rochas e mudanças na direção da linha de costa.

Em cada ponto de monitoramento foram coletadas seis amostras conforme a ação dos ventos e nas áreas de inundação pela maré, demarcados por coordenadas UTM

(GPS). Os pontos foram demarcados na direção do continente ao oceano e receberam as seguintes denominações: a) Base da duna (BDS); b) Crista da duna (CD); c) Base da duna à barlavento (BDB); d) Pós-Praia (P); e) estirâncio (EST) e antepraia (ANT).

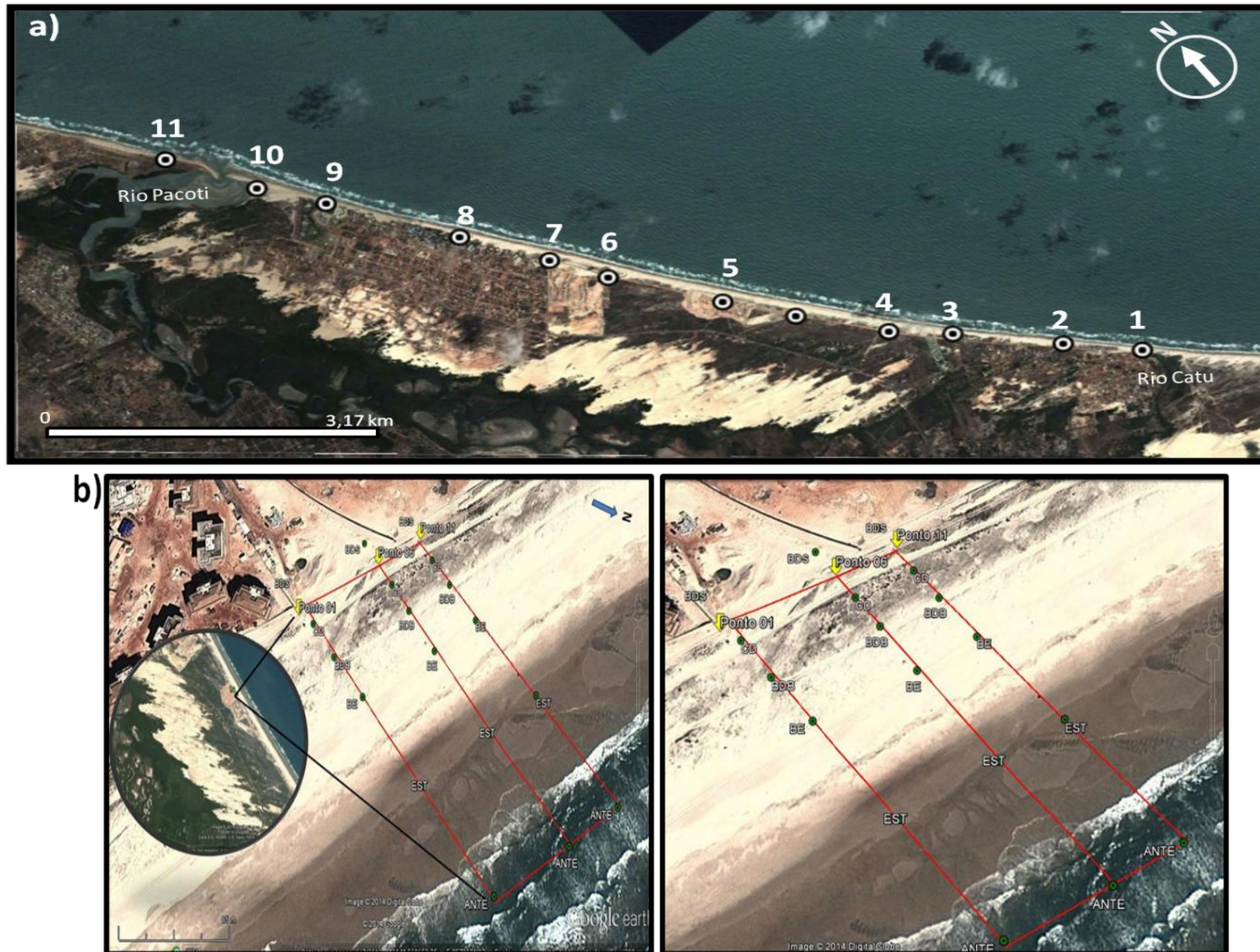
Nos meses de setembro e outubro de 2011 foram coletadas amostras nos setores de praia (berma – estirâncio – antepraia) e de janeiro a abril de 2012, duas coletas mensais ocorreram, para verificar o tipo e tamanho do grão que foi depositado/retirado durante e após os eventos (*storm/post-storm*) na malha formada por 11 perfis na praia do Japão. Porém, pela proximidade dos pontos (10 metros) não foi necessária a coleta de todos e, sim, apenas do perfil 1 – perfil 6 – perfil 11, totalizando 162 amostras (**FIGURA 55**).

Os sedimentos foram analisados em laboratório pelos métodos do peneiramento mecânico e úmido descritos em Suguio (1973). Para classificação do grão, foi utilizada a escala de tamanho de partículas detríticas de Wentworth (1935). Esta escala reconhece três frações, cascalho (2 - 4096 mm), areia (1/16 a 2 mm), e de lama (1/16 mm). A fração lama foi dividida em classes de silte e argila, e a fração cascalho em classes de grânulo, seixo e pedregulhos (BLAIR & McPHERSON, 1999).

O software utilizado para análise estatística foi o Sistema de Análise Granulométrica – SAG, criado pela Universidade Federal Fluminense – UFF, pelo qual foram calculados os seguintes parâmetros: mediana, diâmetro médio (D50), desvio padrão, assimetria e curtose. A distribuição longitudinal e transversal dos dados possibilitou a visualização da variação sazonal, os associados com os eventos de alta energia e impactos antropogênicos na sedimentologia da área.

Figura 55 - a) Pontos de amostragens de sedimentos no município de Aquiraz.

b) Distribuição dos pontos de coleta de sedimentos ao longo do perfil transversal da faixa de praia.



5.3 Resultados e Discussões

5.3.1 Caracterização do grão nas praias de Aquiraz

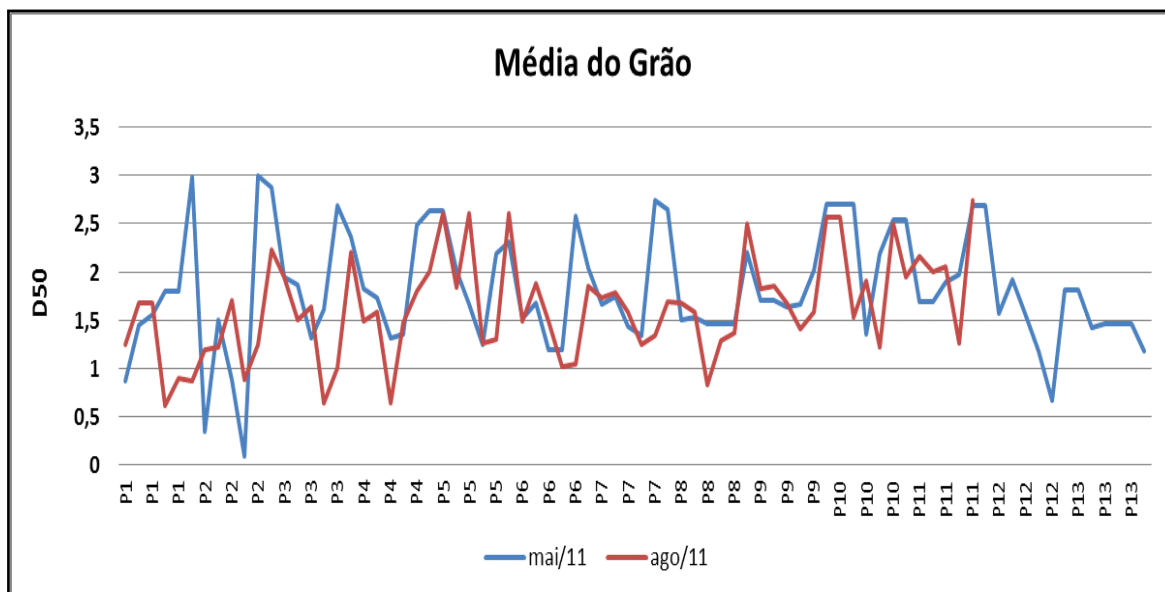
Na obtenção dos parâmetros estatísticos relacionados às características e classificação do grão, foi seguida a metodologia de Friedman (1961; 1967 *apud* SUGUIO, 2003); MUEHE (2003); FOLK & WARD (1957); MORRIS (1977); Wentworth (1922 *apud* SIMON & KENNETH, 2001), dos quais, colaboraram na distinção entre areias de praia e de dunas, lançando em um gráfico à média, diâmetro médio, o grau de selecionamento, curtose e assimetria.

A moda de uma distribuição granulométrica foi definida por Krumbein & Pettijohn (1938), como o diâmetro mais frequente dessa distribuição. Contudo, a distribuição granulométrica pode ter, além da moda principal, outras classes de diâmetros muito frequentes (mais frequentes do que as classes vizinhas). Estas distribuições, com mais do que uma moda, são denominadas por polimodais, sendo vulgar aplicarem-se as designações de bimodais, trimodais, tetramodais, etc.. (*in* DIAS, 2004).

Especificando na área, os sedimentos das praias de Aquiraz são predominantemente compostos por areias quartzozas, bimodais, com granulometria variando de areia média a fina. No mês de agosto, a granulometria variou de areia média (1 a 2 ϕ) a areia grossa (0 a 1 ϕ). O valor médio do D50 foi de 1,613 mm, confirmando a tendência as frações grossas (**FIGURA 56**).

Nas dunas frontais no trecho localizado entre a lagoa do Catú e Prainha houve decréscimo do D50 entre maio e agosto de 2011, variando entre 0,342 mm a 1,941mm. Na praia do Japão, houve um aumento do tamanho do grão no Ponto 04 e aumento nos demais Pontos entre maio e agosto. Destaca-se que no Ponto 05 as areias finas (2 a 3 ϕ) foram predominantes, variando de 1,663 mm a 2,611 mm. Nos demais pontos o D50 variou entre 1,189 mm e 1,878 mm.

Figura 56 - Mostra a tendência da média do grão nos meses de maio e agosto para o ano de 2011.



Na praia do Porto das Dunas, o D50 diminuiu na direção do estuário do Pacoti, com predominância de areias muito finas (0,125 mm a 0,0625 mm) na crista da duna. Nessa área, apesar da intensa urbanização e ocupação do ambiente de duna, não foram identificados grandes impactos quando se refere à composição e tamanho do grão. As principais modificações no D50 foram observadas nas áreas com construção de resorts, empreendimentos de lazer associados aos Pontos 06, 10 e 11. **(FIGURAS 57 e 58)**

Os sedimentos do ambiente praiar são bimodais, constituídos predominantemente por areias quartzosas, com granulometria variando de areias médias a areias finas. O D50 e o desvio padrão diminuíram entre a desembocadura do rio Catú e Pacoti. Na Prainha de Aquiraz predominaram as areias grossas em todo o perfil 1 e na berma dos pontos 2 e 3 no mês de agosto/11. Na antepraia predominam as areias finas. Em 2012, nas dunas frontais predominaram as areias médias da foz do rio Catu ao ponto 9. No trecho entre os pontos 09 e 11, predominaram as areias finas.

As modificações sazonais significantes foram observadas no Ponto 3, com a presença de areias grossas a barlavento da duna frontal e a redução do D50 no mês de agosto no trecho entre os pontos 09 e 11. Neste setor, a ocupação é considerada baixa, o que favorece o transporte eólico e remobilização de material entre o sistema praia-duna **(FIGURA 59)**.

No ano de 2012, foi observada a redução do D50 dos sedimentos praias e do desvio padrão entre os meses de maio e agosto de 2012 em relação ao mesmo período do ano de 2011. Em alguns Pontos de monitoramento os sedimentos são bimodais e compostos por areias médias. Entre os Pontos P9 e P11 ocorre à predominância das areias finas, exceto no ponto localizado na margem esquerda da desembocadura do Pacoti. Na antepraia as areias médias predominaram, diferentemente do que foi observado em 2011. As areias grossas ocorreram na berma dos Perfis 3, 4, 5 e 8, resultante de remobilização do terreno decorrentes de obras de construções de hotéis e outros empreendimentos imobiliários. Os resultados apresentam o mesmo padrão de sedimentos bimodais com granulometria variando de média a fina dos encontrados por Albuquerque (2009) e Pinheiro (2000) nas praias do Futuro e Caponga, respectivamente. (FIGURA 60)

Figura 57 - Distribuição do D50 dos sedimentos das dunas frontais ao longo do litoral de Aquiraz nos meses de maio/11 e agosto/11.

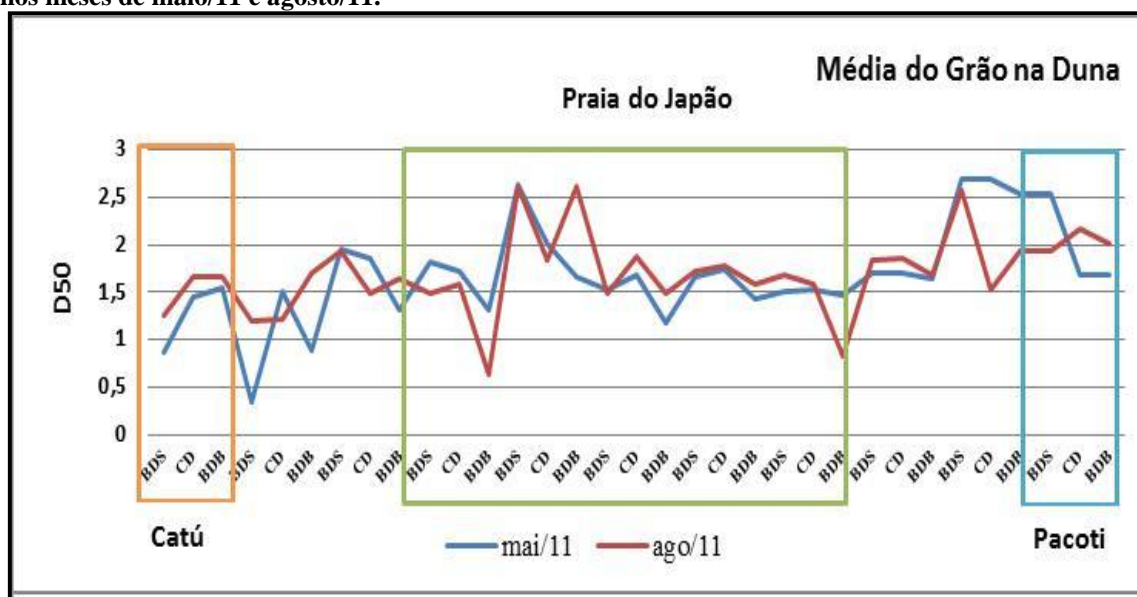


Figura 58 - Distribuição do D50 dos sedimentos praias ao longo do litoral de Aquiraz nos meses de maio/11 e agosto/11.

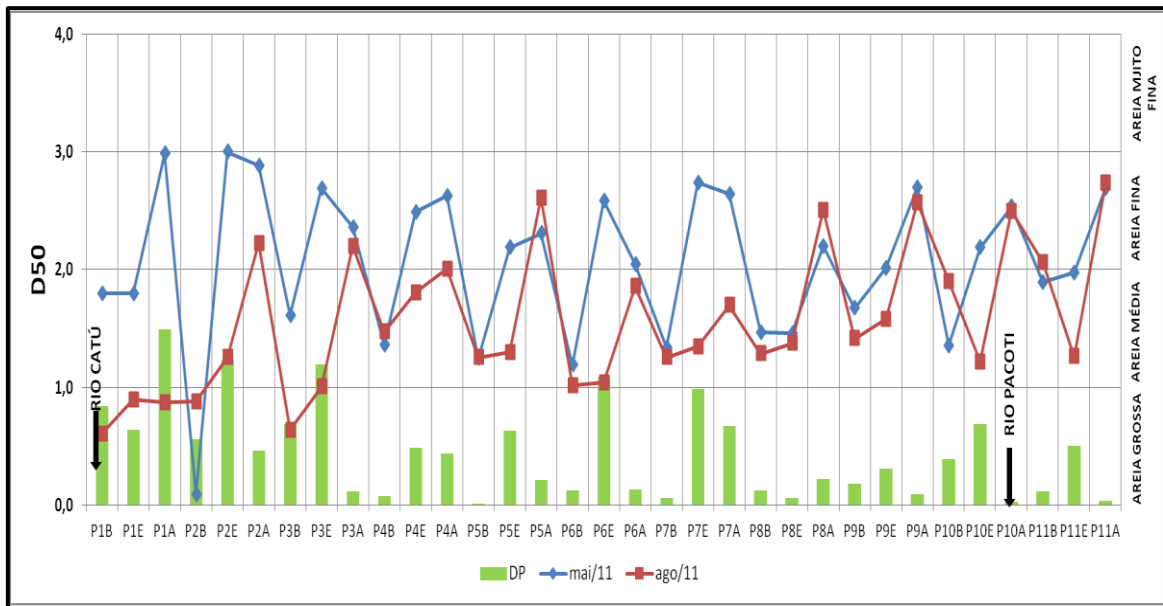
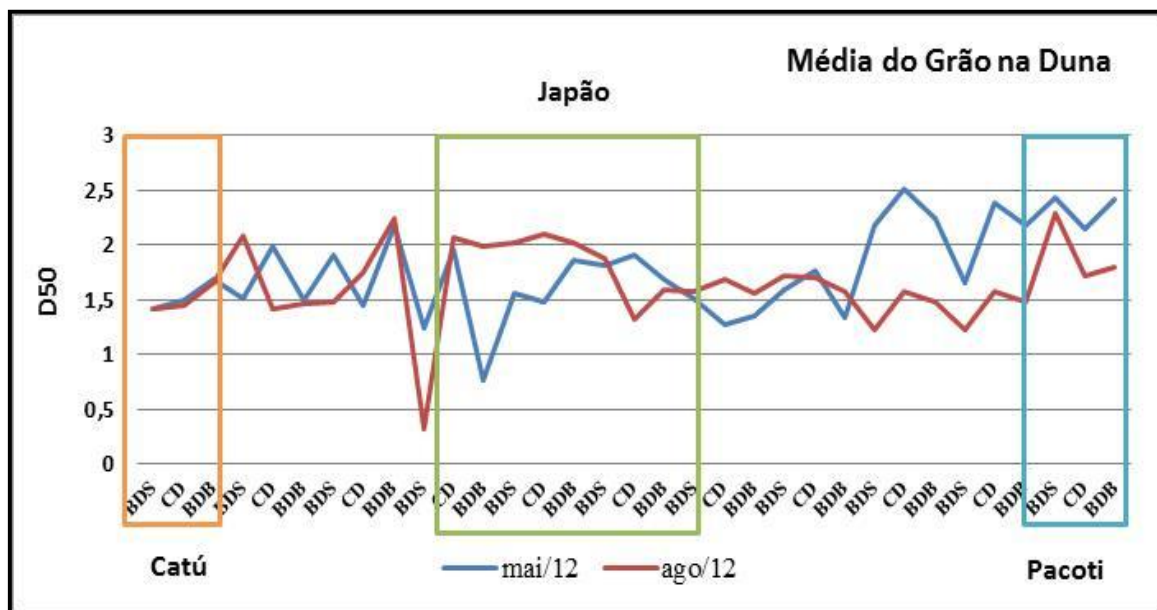


Figura 59 - Distribuição do D50 dos sedimentos das dunas frontais ao longo do litoral de Aquiraz nos meses de maio/12 e agosto/12.

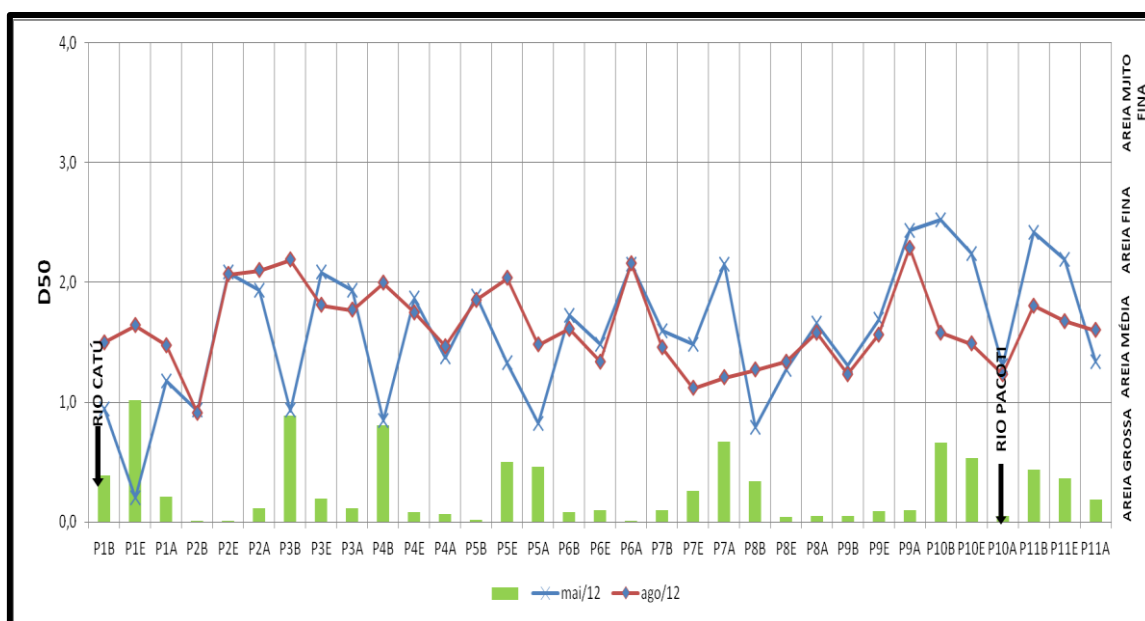


A assimetria negativa dos sedimentos predominou durante o período estudado. As classificações muito platicurtica e platicurtica são indicadoras de ambientes de deposição, a mesocurtica está na zona de transição e as leptocurtica, muito leptocurtica e extremamente leptocurtica são de ambientes de transporte sedimentar (Ponçano, 1975 *apud* MUEHE, 1998; SILVA *et al.*, 1994).

De acordo com os valores obtidos, a classificação da curtose tanto para a duna (crista da duna – CD e base da duna a barlavento – BDB) quanto para a praia (berma –B; estirâncio – E; antepraia – A) foram do tipo mesocurtica (valores médios entre 0,92 a 1,02) com tendência a leptocurtica em alguns setores como estirâncio e antepraia.

As dunas e a praia são consideradas ambientes de deposição ou de acomodação sedimentar. Nessa dinâmica atual e pretérita, tornam-se também ambientes que fornecem sedimentos para os rios, oceano e na troca entre elas mesmas duna-praia e praia-duna por meio dos ventos e ondas (ROIG-MUNAR *et al*, 2012). Assim, a área foi considerada zona de transição (mesocurtica), por quase todos os setores, a zona de transporte sedimentar (leptocurtica), significando uma constante troca de sedimentos direção oceano e direção continente.

Figura 60 - Distribuição do D50 dos sedimentos praias ao longo do litoral de Aquiraz nos meses de maio/12 e agosto/12.



5.3.2 Evolução sedimentológica no período de ocorrência de *swell*

Os sedimentos da duna frontal na praia do Japão são constituídos predominantemente por areias quartzosas com granulometria média (**FIGURA 61**). Areias com granulometria fina foi verificada somente no perfil P6 (BDS) no mês de março de 2012. O desvio padrão das amostras foi de $\pm 0,15$. Apesar de ser um período com elevada ocorrência de ondas *swell*, os regimes de inundação não promoveram alterações no tamanho e distribuição dos grãos entre os setores das dunas frontais.

Na faixa de praia, a granulometria predominante foi a das areias médias com a ocorrência esparsa de areias grossas e finas nos pontos P6B, P1A e P11A. Em alguns trechos os sedimentos apresentam tendências bimodais, principalmente os associados aos meses de setembro/11 e outubro/11.

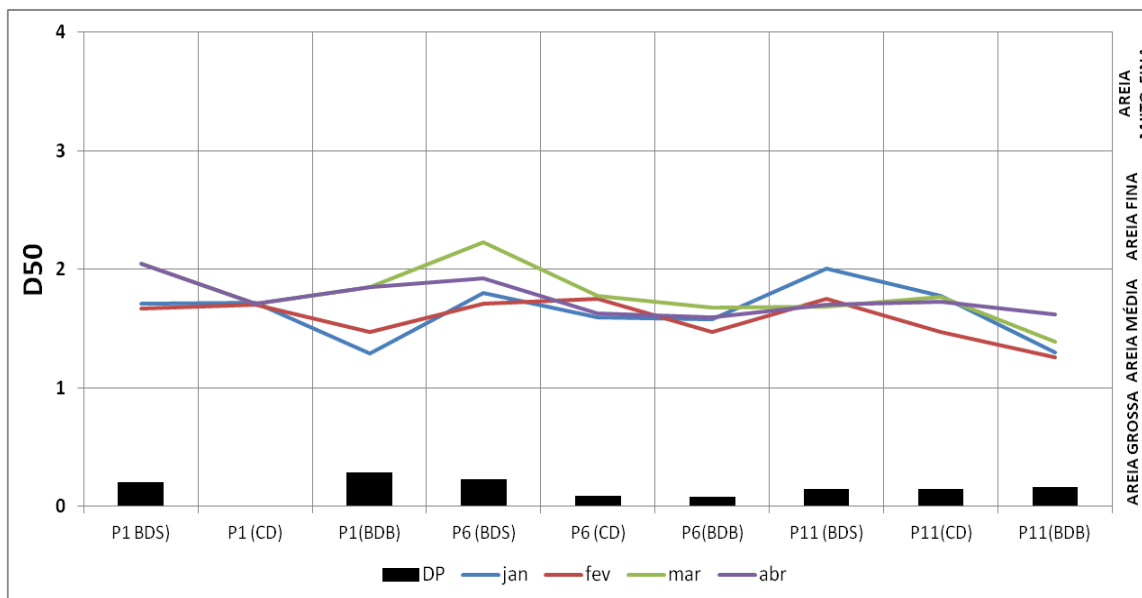
As areias finas foram observadas predominantemente na antepraia, seguindo o padrão já observado na distribuição longitudinal dos sedimentos da foz do Catu ao Pacoti. As areias grossas na pós-praia (Berma) não são características de um *washover* e sim provenientes da remobilização de material das estradas ali instaladas.

No mês de janeiro de 2012 houve a redução do D50 pela contribuição do transporte eólico remobilizando sedimentos do sistema praial. No período de quadratura, não houve alterações significativas do D50 dos sedimentos em relação ao período com as marés de sizígia. (**FIGURA 61**)

A predominância de valores de seleção moderada indica que os sedimentos são frequentemente retrabalhados (deposição e sedimentação) pelo agente de transporte (MASSELINK & HUGLES, 2003). Neste caso o principal agente selecionador dos grãos são as ondas. (MACEDO *et al*, 2012).

A classificação neste Ponto foi de bem selecionada a moderadamente bem selecionada nos três setores. No Ponto 06 (duna), a BDS variou de 0,346 mm a 0,498 mm, a CD variou de 0,453 mm a 0,473mm e na BDB variou entre 0,500 mm a 0,476 mm. A classificação foi de bem selecionada na base da duna a sotavento, bem selecionada na crista da duna e de moderadamente bem selecionada na base da duna a barlavento. No Ponto 11 (duna), a BDS variou de 0,417 mm a 0,494 mm, na CD variou de 0,431 mm a 0,496 mm e na BDB variou de 0,504mm a 0,643 mm. A classificação foi diferente do mesmo ponto na maré de sizígia, onde variou de bem selecionada para moderadamente bem selecionada. (**FIGURA 62**)

Figura 61 - Variação do diâmetro médio (D50) dos sedimentos na duna frontal no período entre janeiro e abril de 2012.



Da mesma forma que ocorreu na maré de sizígia, a onda não atingiu a duna frontal, uma vez que, a maré possui pouca variação, apesar de se tratar do período de *swell*. Nesses dois casos, o principal agente modificador dessa feição é o vento com maior intensidade no segundo semestre.

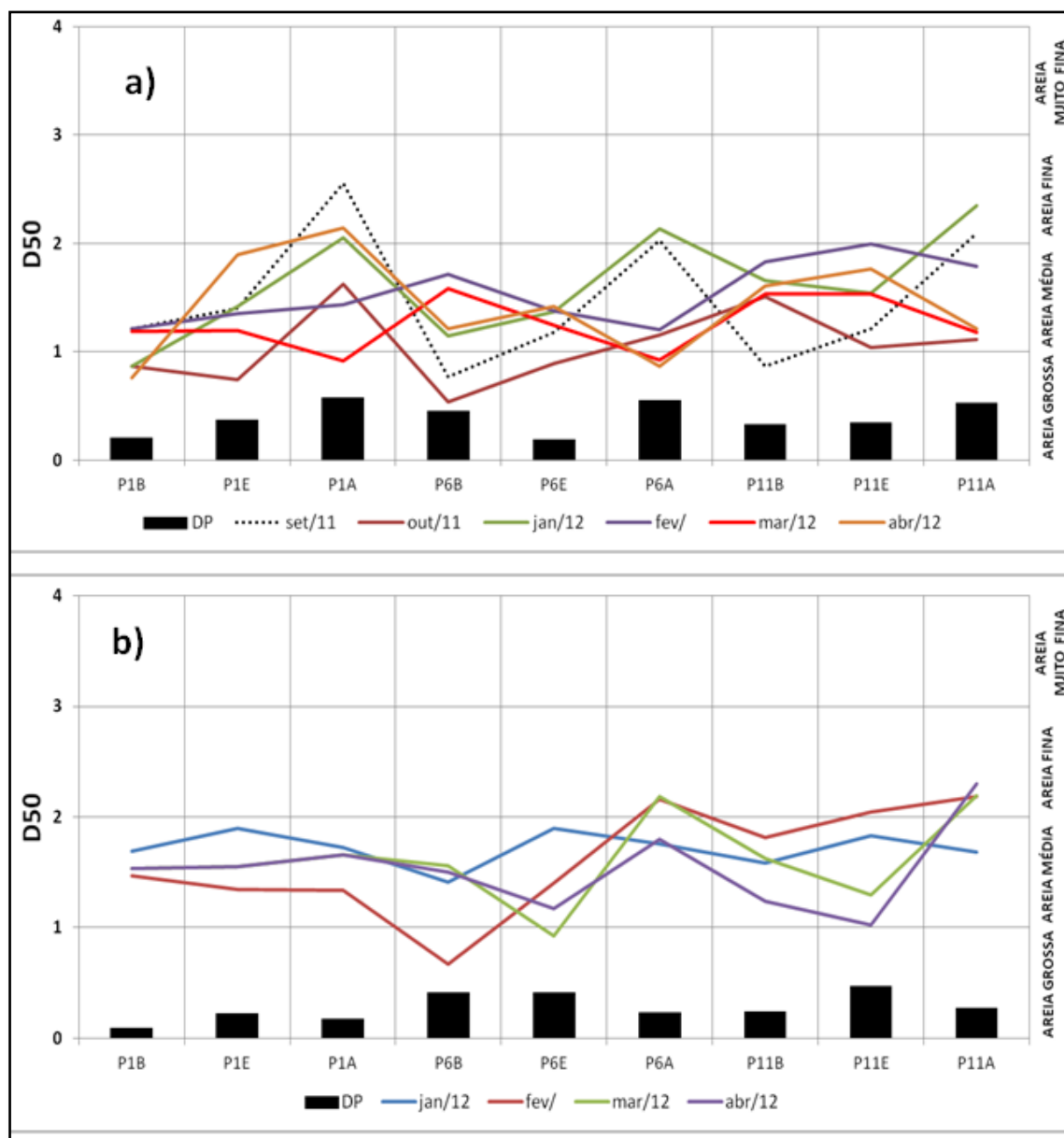
No Ponto 01 (faixa praial), a berma (B) variou de 0,462 mm a 0,624 mm, o estirâncio (EST) variou de 0,417mm a 0,707mm e na antepraia (ANT) variou de 0,592mm a 0,964mm. Assim, a classificação foi distribuída da seguinte forma: na berma foi classificada como majoritariamente moderadamente bem selecionado, com exceção do mês de janeiro. No estirâncio os sedimentos são moderadamente bem selecionados, contudo, o mês de janeiro foi de bem selecionado. Na antepraia os sedimentos variaram de moderadamente a bem selecionado.

No Ponto 06 a berma foi classificada como moderadamente selecionada e os demais setores como bem selecionados. No Ponto 11, o grau de seleção ao longo do perfil variou de bem a moderadamente selecionados. Os valores entre a maré de sizígia e de quadratura foram díspares, pois enquanto que aquele predominou a assimetria negativa a muito negativa, esta predominou a assimetria positiva a simetria.

Em ambientes de praia, o material transportado é submetido a duas forças desiguais e em direções opostas, as grandes ondas de entrada (*swell*) e a menores ondas

de saída (*uprush*). Assim, o material de maior granulometria pode ser levado para dentro do continente e depositado sobre a praia, e o material fino pode ser transportado para as águas mais profundas (MARTINS, 1964).

Figura 62 - Variação do diâmetro médio (D50) dos sedimentos da faixa de praia nas marés de sizígia no período entre janeiro e abril de 2012.



As curvas de distribuição granulométrica podem ser mais achatadas ou mais proeminentes do que a curva normal. Esse tipo de desvio relativamente à curva normal é expresso pela angulosidade da curva (DIAS, 2004). Assimetria e curtose foram referidas

como indicadores de ação seletiva do agente de transporte. (Krumbein e Pettijohn, 1938 *apud* MARTINS, 1964). Nessas condições, a praia do Japão também foi analisada segundo os agentes de transporte e deposição nos dois ambientes, notadamente a faixa de praia, por se tratar do contato direto com as ondas e marés.

Desse modo, no Ponto 01 (duna), a base da duna a sotavento (BDS) foi classificada em mesocurtica com valores variando entre (0,884 a 1,026) com tendência a platicurtica (0,884). Na crista da duna (CD), a classificação se deu entre platicurtica (0,677) e mesocurtica (0,994) e na base da duna a barlavento (BDB), os valores apontaram a classificação entre mesocurtica (0,954) a leptocurtica (1,083).

No Ponto 06 (duna), a BDS foi classificada em leptocurtica com valores que variaram entre (1,000 e 1,324). A CD pertence a classificação mesocurtica pelos valores se disporem abaixo de 1,000 e na BDB, os valores entre 0,900 e acima de 1,000 pertencem a classificação leptocurtica. No Ponto 11 (duna), a classificação leptocurtica faz parte da BDS. Na CD, os valores entre 0,670 e 0,900 apresentaram classificação do tipo platicurtica, e na BDB, a classificação ficou entre mesocurtica (0,887) e leptocurtica (1,006).

Para o período de maré de sizígia, a duna comportou-se como um ambiente de transição, notoriamente, na crista da duna e base da duna a barlavento, ocasiões em que na ausência das ondas de tempestades ou entrada de *swell*, são os ventos que realizam esse trabalho de transporte das areias.

Durante a quadratura, o Ponto 01 (duna), a BDS foi classificada entre platicurtica (0,872) e mesocurtica (1,048). Na CD, os valores também apontam para uma classificação variando entre platicurtica (0,850) e mesocurtica (0,904) e, na BDB, a classificação variou entre mesocurtica (0,900) e leptocurtica (1,100). No Ponto 06 (duna), a classificação referente à BDS foi entre mesocurtica (0,963) e leptocurtica (1,345) com tendência a mesocurtica. A CD também está inserida na classificação entre a mesocurtica e a leptocurtica e, na BDB, a classificação é exclusivamente mesocurtica. No Ponto 11 (duna), BDS foi majoritariamente platicurtica, porém, no mês de janeiro o valor seguiu para a classificação mesocurtica (1,022). A CD também foi classificada em platicurtica, com exceção de fevereiro que favorece a classificação mesocurtica (1,023), enquanto que, na BDB, os valores encaminham-se a classificação mesocurtica.

Durante a quadratura, os pontos se comportaram como ambientes de deposição a estabilidade, diferentemente do que foi verificado na maré de sizígia. Porém, ambas as marés só teriam influência direta se alcançassem a duna, o que não é

notificado na área. Mais uma vez, o único agente que poderia causar deposição e/ou transporte das areias das dunas seria o vento.

Quanto à faixa de praia na maré de quadratura, no Ponto 01 (praia), a B se comportou como ambiente mesocurtico em todos os meses com valores que estiveram entre (0,900 e 1,100). No EST, também a tendência é para a classificação mesocurtica, com março e abril sob a classificação de leptocurtica (1,131). E na ANT, a classificação variou entre mesocurtica (janeiro e fevereiro) a leptocurtica (março e abril).

No Ponto 06 (praia), a classificação da B se deu exclusivamente mesocurtica, bem como também foi verificado no EST com valores que vão desde (0,970 a 1,091). Na ANT, a classificação também confirma o ambiente mesocurtico, ou seja, um trecho de estabilidade dinâmica. No Ponto 11 (praia), a zona de B a classificação variou entre mesocurtica (0,916) e leptocurtica (1,199). No EST, também houve variação na classificação igual a berma com valores entre 0,972 (mesocurtica) e 1,131 (leptocurtica) e, na ANT, segue a mesma classificação, em mesocurtica (0,897) a leptocurtica (1,131).

5.4 Conclusões

- Nas dunas frontais no trecho localizado entre a lagoa do Catú e Prainha houve decréscimo do D50 entre maio e agosto de 2011, variando entre 0,342 mm a 1,941mm. Na praia do Porto das Dunas, o D50 diminuiu na direção do estuário do Pacoti, com predominância de areias muito finas (0,125 mm a 0,0625 mm) na crista da duna. Nessa área, apesar da intensa urbanização e ocupação do ambiente de duna, não foram identificados grandes impactos quando se refere à composição e tamanho do grão.

- Os sedimentos das praias de Aquiraz são predominantemente compostos por areias quartzozas, bimodais, com granulometria variando de areia média a fina. No mês de agosto, a granulometria variou de areia média (0,5 mm a 0,25 mm) a areia grossa (1mm a 0,5 mm). O valor médio do D50 foi de 1,613 mm, confirmando a tendência as frações grossas.

- Em 2012, nas dunas frontais predominaram as areias médias da foz do rio Catu ao Ponto 09. No trecho entre os Pontos 09 e 11, predominaram as areias finas.

Neste setor, a ocupação é considerada baixa o que favorece o transporte eólico e remobilização de material entre o sistema praia-duna.

- No ano de 2012 foi observada a redução do D50 dos sedimentos praias e do desvio padrão entre os meses de maio e agosto de 2012 em relação ao mesmo período do ano de 2011. Em alguns Pontos de monitoramento os sedimentos são bimodais e compostos por areias médias. As areias grossas ocorreram na berma dos perfis 3, 4, 5 e 8, resultante de remobilização do terreno decorrentes de obras de construções de hotéis e outros empreendimentos imobiliários.

- A área foi considerada zona de transição (mesocurtica), por quase todos os setores, a zona de transporte sedimentar (leptocurtica), significando uma constante troca de sedimentos direção oceano e direção continente.

- Os sedimentos da duna frontal na praia do Japão são constituídos predominantemente por areias quartzosas com granulometria média. Apesar de ser um período com elevada ocorrência de ondas *swell*, os regimes de inundação não promoveram alterações no tamanho e distribuição dos grãos entre os setores das dunas frontais.

- Para o período de maré de sizígia, a duna comportou-se como um ambiente de transição, notoriamente, na crista da duna e base da duna a barlavento, ocasiões em que na ausência das ondas de tempestades ou entrada de *swell*, são os ventos que realizam esse trabalho de transporte das areias. Durante a quadratura, os pontos se comportaram como ambientes de deposição a estabilidade, diferentemente do que foi verificado na maré de sizígia.

6 RESPOSTAS DOS EVENTOS DE RESSACA DO MAR NA MORFOLOGIA DO SISTEMA PRAIA-DUNA DE AQUIRAZ

6.1 Introdução

A praia, ambiente que envolve a zona de pós-praia até a antepraia, pode ser definida, conforme Short (1999) e Park (1999), como acúmulo de sedimentos depositados por ondas desde a profundidade máxima de transporte do material para o continente até o limite superior do *swash*. Complementam os autores que as praias são totalmente dependentes das ondas e dos sedimentos e, conseqüentemente, elas ocorrem em todas as latitudes, em todos os climas e em todas as amplitudes de marés e todas as formas de costas.

Dependendo das características da costa, notadamente a topografia e batimetria, os mecanismos de *setup* e *runup* irão se comportar diferentemente, mesmo em se tratando do mesmo ambiente, pois podem ocorrer dinâmicas sazonais como os eventos de alta energia ou que esteja em um período onde a praia encontra-se mais íngreme ou mais plana. No entanto, o conhecimento das características da hidrodinâmica e morfodinâmica predominantes da área é essencial para identificar qualquer alteração.

Neste raciocínio, as alterações no *setup* e *runup* de ondas modificam em pequena escala o desenho das linhas de costas e os processos morfodinâmicos das praias, principalmente as arenosas (NICHOLLS & TOL, 2006; HUNTER, 2011). Porém, a praia muda sua posição ao longo do tempo e do espaço, sem estar necessariamente com erosão (PILKEY, *et al*, 1992). A maioria dessas mudanças são respostas naturais à oscilação das marés, da sazonalidade climática e oceanográfica e das mudanças climáticas globais que, por muitas vezes, são incompatíveis com o aumento das atividades humanas ao longo da costa. (VELOSO-GOMES *et al*, 2004).

No estudo dos eventos de alta energia para o litoral do Ceará, especificamente, às praias de Aquiraz, os fenômenos têm sido mais frequentes, na medida em que, estudos realizados nas últimas décadas na Região Metropolitana de Fortaleza, tem mostrado que um dos principais fatores de erosão na costa provém das ressacas do mar.

Em estudos realizados por Ciavola *et al*, (2007), retrata que as ressacas do mar induzem uma serie de impactos importantes como a erosão de praias, dunas e falésias, galgamentos oceânicos e inundação de zonas costeiras. Como consequência do

desenvolvimento urbano desordenado ou não planejado dos espaços costeiros, as frentes urbanas têm sofrido bastante com os impactos das ressacas do mar, que geralmente são acompanhadas de danos nas infraestruturas e com efeito direto sobre o uso dos recursos costeiros.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é entender quais as respostas dos eventos associados às ressacas do mar em praias com baixa ocupação, gerando informações úteis para a indicação de áreas adequadas a ocupação, de mecanismos de adaptação e de mitigação de impactos por inundações costeiras.

A avaliação principal desse capítulo será dos processos que regem a entrada e saída de sedimentos e suas repercussões na praia do Japão da qual ficou tratada como monitoramento de alta frequência. O balanço sedimentar, neste caso, também é considerado um bom indicador para a análise regional dos processos de transporte que ocorrem entre a praia e a duna e a necessidade de identificar jazidas para recuperação de praias (DOLAN *et al*, 1987).

6.2 Metodologia

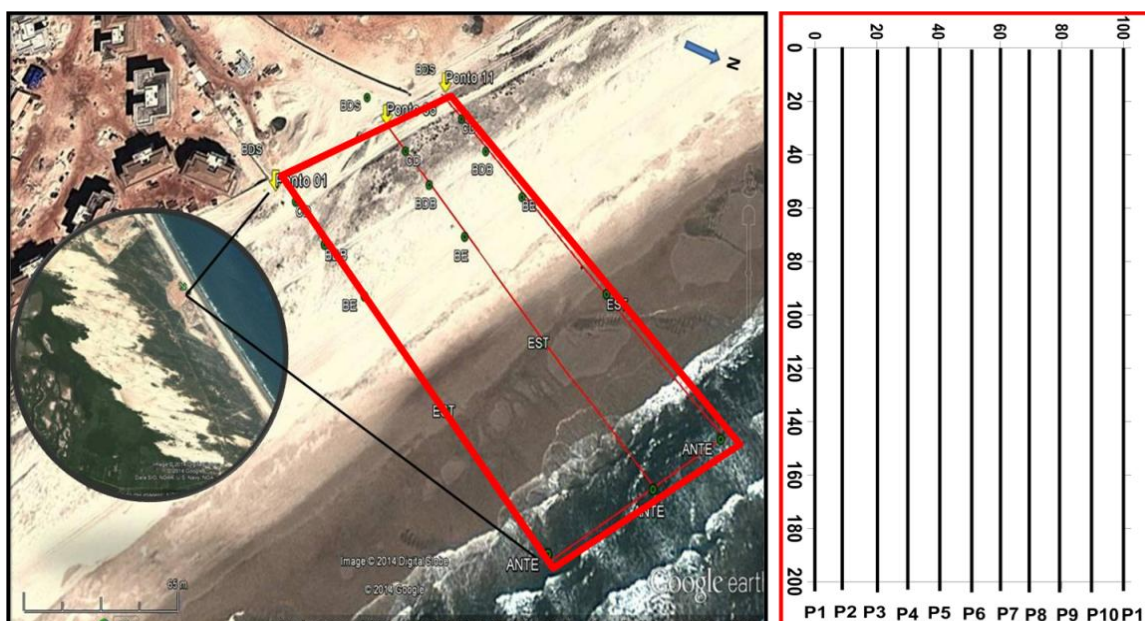
A fim de obter uma visão macro da malha amostral na praia do Japão foi utilizado da ferramenta Modelo Digital do Terreno – MDT, que trata, segundo Rocha (2000) citado por MEDINA & MEDINA (2007), de uma representação matemática da distribuição espacial da característica de um fenômeno vinculada a uma superfície real.

A superfície é em geral contínua e o fenômeno que representa pode ser variado. Dados de relevo, informação geológicas, levantamentos de profundidades do mar ou de um rio, informação meteorológicas e dados geofísicos e geoquímicos são exemplos típicos de fenômenos representados por um MDT (FIGUEIRAS & CAMARA, 2001).

A criação da representação tridimensional da área foi obtida por uma rede de pontos de modo que permita visualizar as características espaciais do terreno. Assim, o *software* SURFER 09, gerou os dados por interpolação fornecendo como produto final informações do relevo para cada mês estudado (setembro de 2011 a abril de 2012), bem como, da variação volumétrica entre meses, na comparação de um mês posterior com um anterior, como foram interpretados nas figuras abaixo.

Na primeira etapa do experimento foi delimitado um setor de 200 x 100 m, do qual englobou feições das dunas frontais e da face praial na Praia do Japão. As coletas de dados foram realizadas durante o máximo da baixamar de sizígia. De um trecho escolhido perpendicular à linha d'água, foram demarcados onze perfis com equidistâncias de 10 m, atendendo as inflexões do terreno, totalizando 200 metros de extensão. As linhas partiram da estrada de piçarra, seguindo pela duna frontal até a batimetria de 2,5 m de profundidade na antepraia. (FIGURA 63).

Figura 63 - Malha de monitoramento da praia do Japão com pontos de coleta no período de alta frequência.



Os experimentos foram realizados nos meses de setembro e novembro de 2011, período de domínio das ondas *sea*, marés equinociais e início das ocorrências de *swell*. Entre os meses de janeiro a abril de 2012 foram realizados mensalmente na baixa-mar de sizígia com pico de *swell* (*storm*) e na maré baixa de quadratura com influência do *swell* (*post-storm*), considerando os meses da maior influência e repercussão do evento na costa setentrional do Brasil. A previsão das marés foi obtida no site da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha - DHN.

Através de caminhamento, o limite máximo de espraiamento/inundação foi georreferenciado para fins de correção das previsões das marés e cálculos do *runup* das

ondas (**FIGURA 64**). Para isto foi utilizado um sistema DGPS-RTK e Estação Total RTS-825R³ - da marca *Ruide* disponibilizado pelo laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica (LGCO) da UECE.

Durante a pesquisa o DGPS foi instalado na praia do Japão para o levantamento da malha com dimensões 200 x 100 metros, abrangendo a duna frontal e faixa de praia até a linha d'água e, a partir das observações e registros fotográficos permitiram a definição dos processos dominantes ocorridos nesse trecho em relação aos demais pontos monitorados. Paralelamente a elaboração do MDT foi calculada as taxas de erosão e acreção, posição da linha de costa e alcance máximo das ondas. Os dados utilizados nas análises acima mencionadas estão organizados na **Figura 65**.

Quanto ao balanço sedimentar foi direcionado aos mesmos Pontos e períodos citados anteriormente, analisando as particularidades de cada variação volumétrica entre a duna e a praia. Por balanço sedimentar (ROSATI, 2005; KRAUS & ROSATI, 1999a, 1999b) entende-se o registro de volumes (ou taxa de mudança) dos sedimentos que entram (fonte) e o que saem (sumidouros) de uma ou mais células ao longo dos anos, resultando em erosão ou deposição na área costeira em questão.

O balanço sedimentar é um modelo qualitativo que mostra uma visão regional dos processos que ocorrem na praia associando aos efeitos da batimetria local, bem como, inclui indicadores morfológicos naturais de transporte de areias. Assim, o modelo é desenvolvido mediante conhecimento do local como parte dos dados iniciais definidos. (DOLAN *et al* (1987); Kana e Stevens, 1992 *apud* KANA, 1995). Para tanto, os dados do balanço sedimentar foram complementares aos resultados dos perfis, averiguando as semelhança do resultados.

Figura 64 – Comportamento das ondas no período de monitoramento.

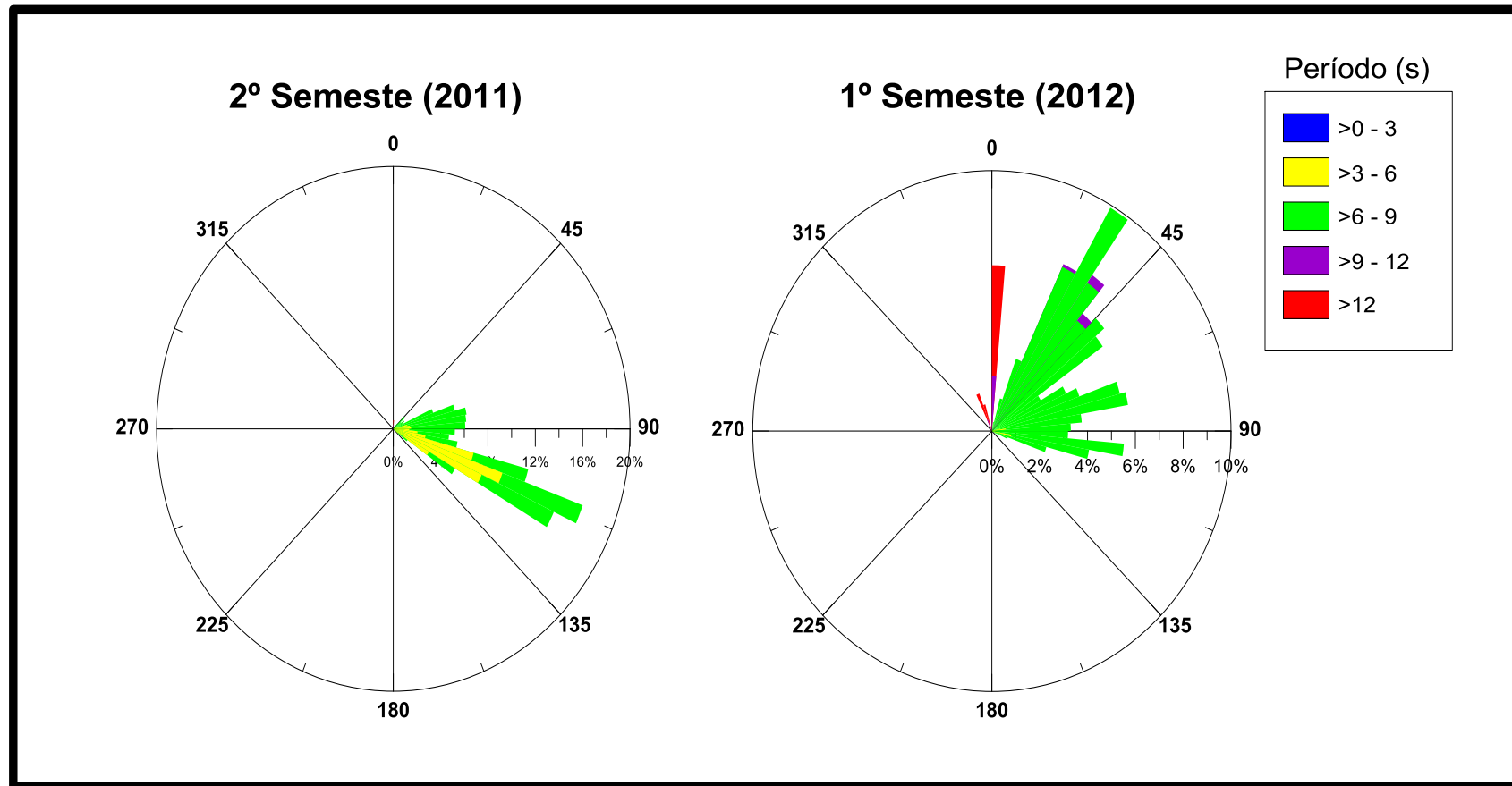


Figura 65 - Variáveis utilizadas na avaliação das respostas do sistema praia-duna aos eventos de ressaca do mar.

CARACTERÍSTICAS	SET/11	OUT/11	JAN/12	FEV/12	MAR/12	ABR/12
Hs(m)	1,9	1,7	1,5	2,0	1,1	1,4
Tp(s)	7,0	5,8	9,6	12,0	11,0	5,7
Varição Maré de Sizígia (m) ¹	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Varição Maré de Quadratura (m) ¹	2,2	2,4	2,4	2,4	2,6	2,2
Declividade da praia – Bf (°)	2,5	2,5	2,5	2,5	6,0	2,5
Comprimento da Onda L(m) ²	76,4	52,5	143,8	224,6	76,4	50,3
Runup da Onda (Run+Nmean) - m ³	4,0	3,9	4,2	4,4	4,5	3,9
Crista da Duna (m)	5,6	5,0	5,8	5,4	5,0	5,0
Distância do RN a base da duna	120	120	120	120	120	119

1-Diretoria de Hidrografia e navegação; 2- Stockdon *et al.* (2006); 3- Battjes (1971).

6.3 Resultados e Discussões

6.3.1 Evolução do Sistema Praia-Duna

A praia do Japão pouco conhecida dentre as praias de Aquiraz, tem agora seu espaço alvo dos grupos estrangeiros para a implantação de *megaresorts* e condomínios residenciais. Nas dunas fixas, distante da faixa de praia, está localizado o Parque Eólico Prainha, desde 1999. Ainda assim, conserva o setor de dunas frontais e pós-praia, da qual possui a distância entre a estrada e da base da duna, aproximadamente, 120 m. Os setores de dunas frontais estão localizados entre as cotas de 8,5 m e 5,6 m e, são parcialmente fixadas por gramínias halófitas presente em todo o setor.

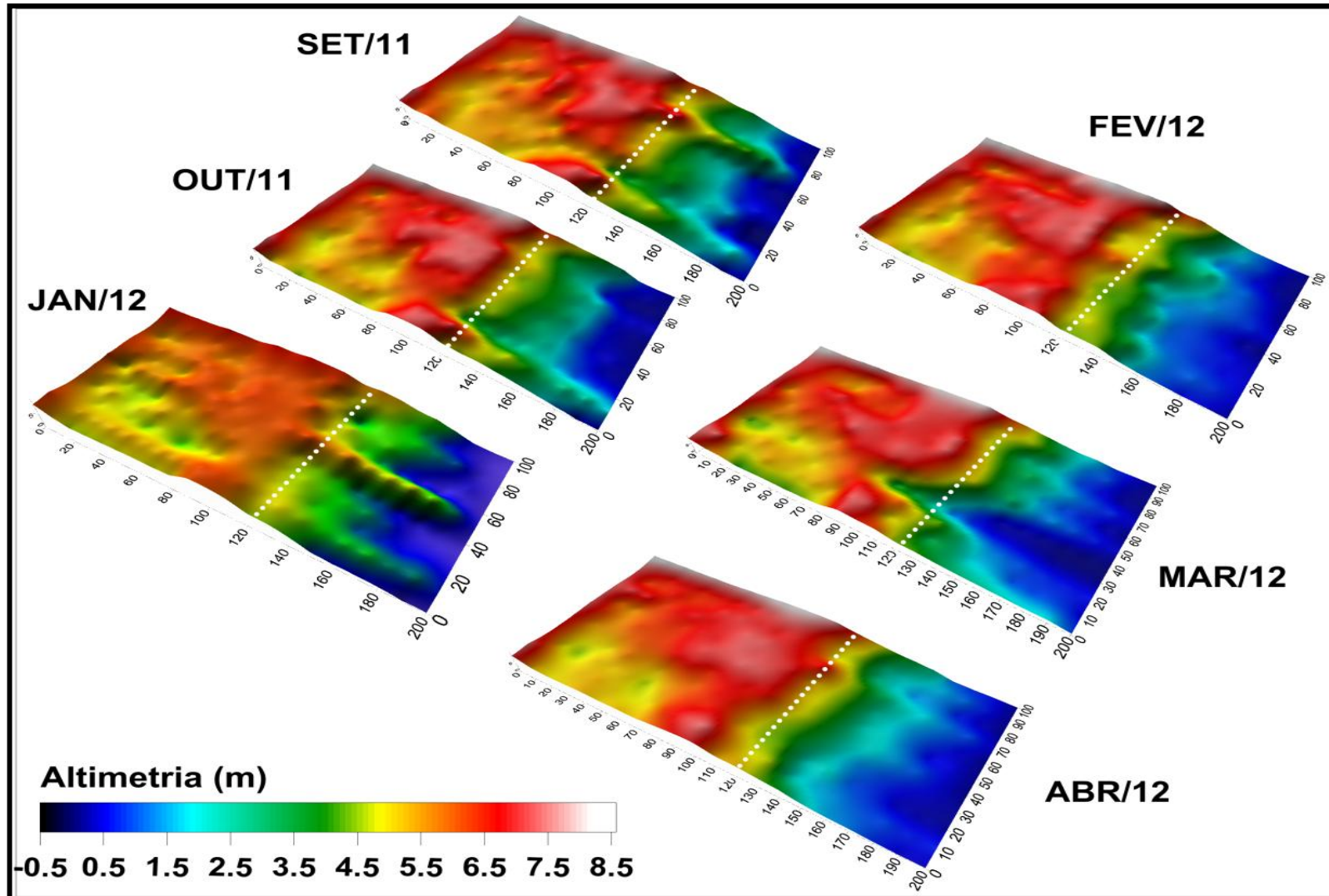
Nesse trecho do estudo, a área coincide com o Ponto 06 dos perfis sazonais, e a escolha se deu a partir das modificações sedimentares e morfológicas na faixa de praia, num local onde havia pouca intervenção humana, mas que, no decorrer do estudo a busca por esta área tem se intensificado. Vale ressaltar que, a análise acompanhou a evolução da ocupação das dunas frontais, desde quando considerada natural até a primeira construção recente de *resorts*.

Durante os meses monitorados pôde-se verificar uma maior mobilização entre as zonas de crista da duna e antepraia. As mobilizações de material estão associadas aos transportes de *buggies* que é bem intenso na região. As observações na **Figura 66**, entre os dois ambientes está destacado com o pontilhado na distância 120 metros, indicando o limite entre a praia e a base da duna.

As principais modificações são observadas na faixa de praia e na base da duna frontal. Os meses de setembro e outubro de 2011 foram caracterizados pela ocorrência de ondas *sea*, com Hs variando de 1,7 a 1,9 m. Na arrebentação a altura média (Hb) era de 1,2 m. Observa-se nesse período, erosão na base da duna frontal com a redução das cotas. Houve sedimentação no perfil 1 e no setor central, semelhante ao padrão que ocorre em ambientes com cúspides praias.

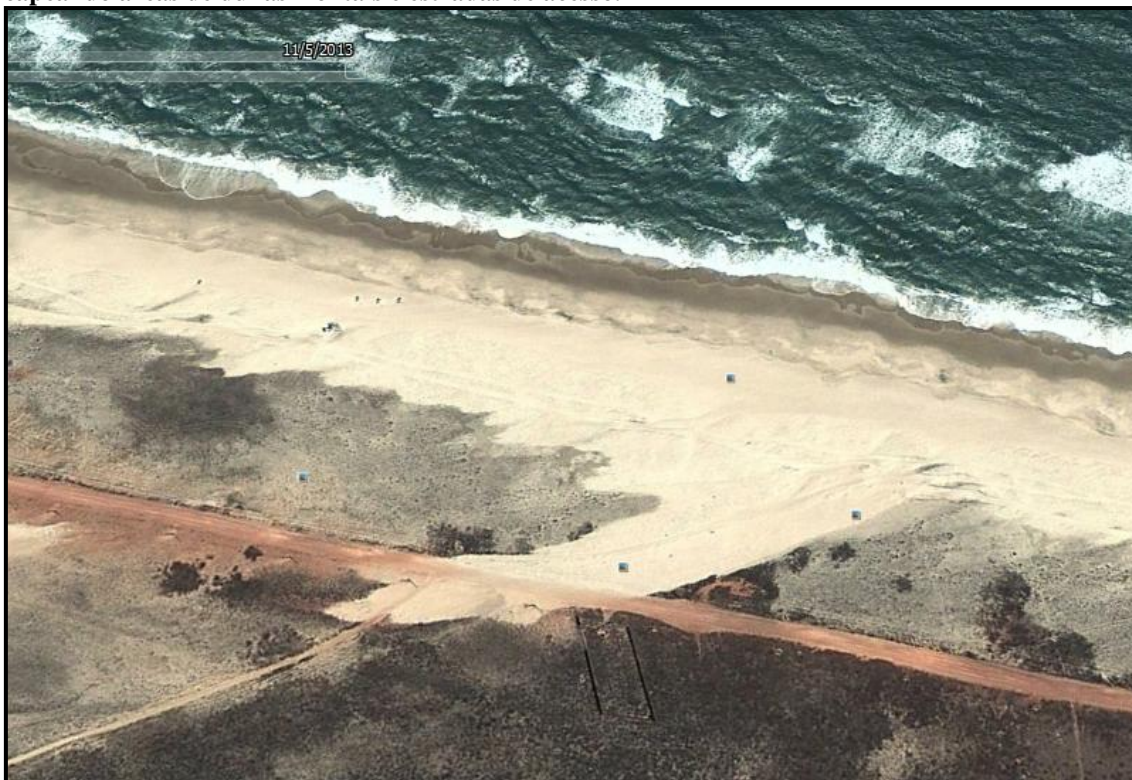
No período dentre outubro/11 e janeiro/12, houve sedimentação do estirâncio médio e erosão do perfil 1. Considerando que não houve alterações nos padrões de erosão e sedimentação da duna frontal, o material sedimentado na praia foi transportado do oceano-continente ou lateralmente na própria zona intertidal. A deflação eólica neste

Figura 66 - Modelo digital do terreno do mês de janeiro na sizígia e quadratura em 2012.



período do ano e na região ainda tem um papel importante na remobilização de material sedimentar do oceano para o continente (**FIGURA 67**).

Figura 67 - Remobilização de sedimentos do oceano para o continente na praia do Japão (Aquiraz) capeando áreas de dunas frontais e estradas de acesso.

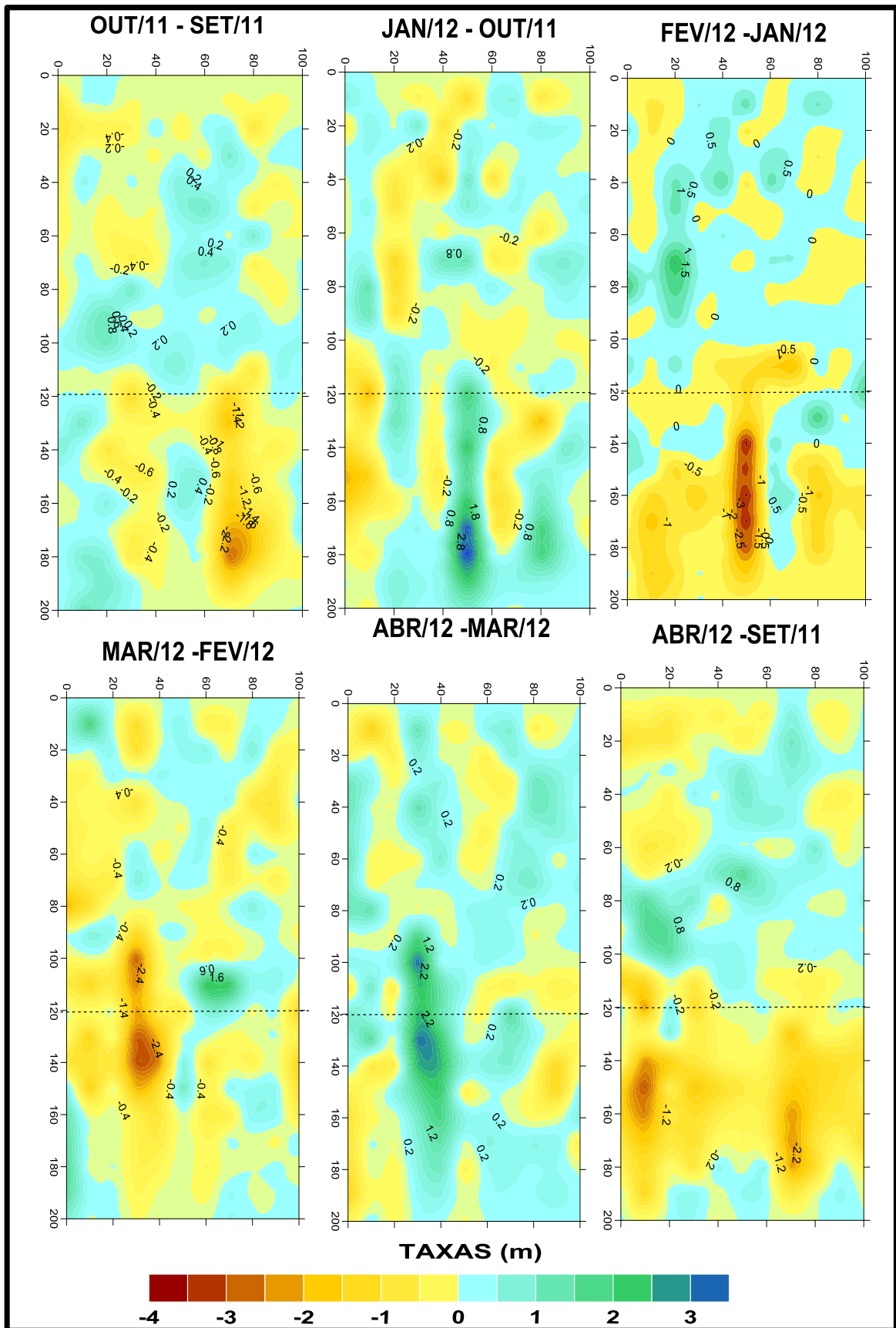


Fonte: *DigitalGlobe* (2014). Acesso em 10/08/2014.

No período entre janeiro/12 e fevereiro/12 as ondas de quadrante N-NE com períodos variando de 6 a 14 segundos foram predominantes. Isto resultou na erosão da base da duna frontal com taxas que variaram de 0,5 a 2 m. As taxas de erosão vertical variaram de 0,5 a 3,5 m no setor central da área. Isto promoveu um recuo horizontal de aproximadamente 40 m. (**FIGURA 68**)

Nesse evento de ressacas, o período médio do *swell* era de 12 segundos associado a marés com amplitude de 3,2 m. Como já é o esperado, a praia é o ambiente em que sofrerá mais influência das ondas e marés, e, sendo assim, a maré teve um papel fundamental quanto à dinâmica sedimentar na praia do Japão, pois durante o período de alta energia, as ondas foram mais eficientes quando associadas a uma maré de sizígia, como bem apresentado no modelo.

Figura 68 - Taxas de erosão e sedimentação da praia do Japão associadas aos eventos de ressaca do mar.



No período de fevereiro e março de 2012 as taxas de erosão da face de praia variaram entre 0,4 e 2,4 m. O período predominante da onda foi de 11 segundos e elevação de 4,5 m o que resultou no *overwash*/galgamento na parte central da área com espraiamento e erosão da crista da duna frontal. Neste setor a taxa de erosão foi de 2,1 m. No período de março a abril de 2012, com a redução do período da onda para a média da região que é de 6 segundos, sob as mesmas condições de marés (amplitude de 3,2 metros) houve a sedimentação da face de praia e da base da duna frontal, com o aumento de 2 m da cota da crista verificada no mês anterior.

Ao comparar o MDT de setembro de 2011 a abril de 2012 observa-se que existe uma tendência de perda de material da face de praia, o que validam as taxas de recuo da linha de costa como uso de imagens de satélites. Essa tendência reflete o aumento da vulnerabilidade da área aos impactos futuros dos eventos de ressacas pelo rebaixamento da cota sejam eles induzidos pelo transporte de material da faixa de praia para o continente ou os resultantes da terraplanagem e fixação pela expansão da ocupação urbana. No cálculo da variação do volume de sedimentos entre o sistema praia-duna foi utilizada a cota da base da duna (linha de costa) como o Z, que na área é de 3 m.

O volume de sedimentos arenosos nas dunas é de $44129 \text{ m}^3 (\pm 1728 \text{ m}^3)$ e na faixa de praia é de $8553 \text{ m}^3 (\pm 2002 \text{ m}^3)$. Os valores máximos e mínimos de sedimentos foram observados nos meses de setembro/11 e março/12, respectivamente. Vale ressaltar que em setembro o *swell* resultou na deposição de sedimentos na faixa de praia, contribuindo no aumento do volume sedimentar. Esse tipo de inversão da característica típica da onda *swell* (que é a retirada da areia) ocorre algumas vezes na costa devido a uma diminuição na energia com a qual atinge a praia, promovendo, conseqüentemente, balanço positivo. O valor da energia da onda em setembro foi de $3.098,14 \text{ j/m}^2$, abaixo do que é observado no período típico de *swell*.

Em março, correspondeu ao mês de mobilização dos sedimentos das cristas das dunas para a faixa de praia em decorrência do *overwash*. As ondas atingiram com maior energia considerando a conjunção da fase da lua (maré de sizígia) com o equinócio de março. Na faixa de praia o balanço de sedimentos foi negativo entre os meses outubro/11, janeiro/12 e abril/12. Para esse transporte de sedimentos, a energia no mês de fevereiro foi bem significativo em $4.681,83 \text{ j/m}^2$, promovendo maior dinâmica na área.

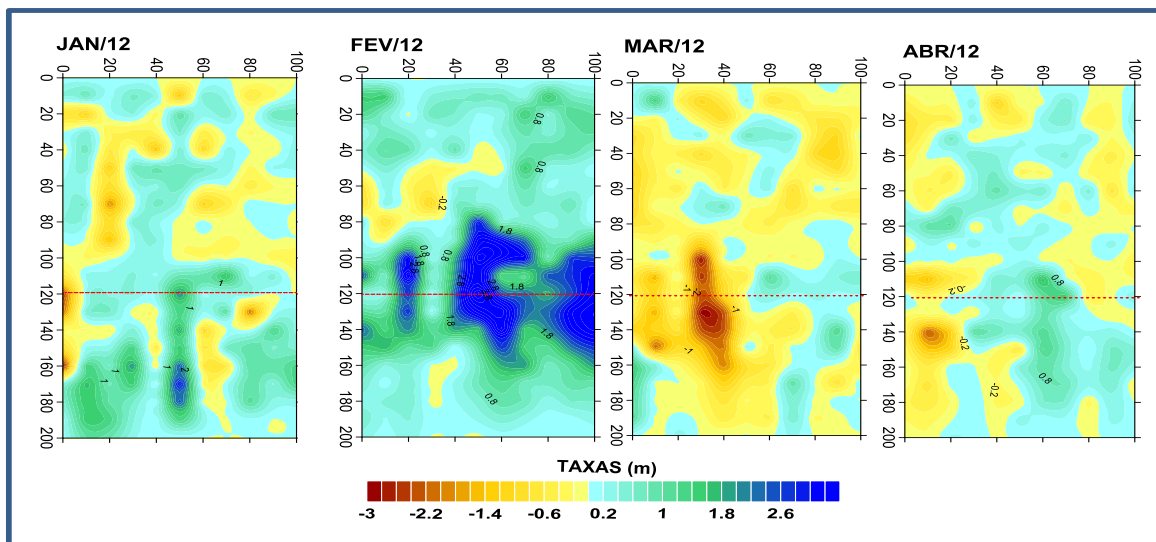
A energia das ondas nos meses de janeiro e fevereiro de sizígia foram mais significativas com valores 4.537,43 j/m² e 4.681,83 j/m² e a de menor intensidade foi no mês de março com valor 2.359,08 j/m². Isso vem confirmar a força com o que as ondas chegam à costa transportando e/ou retirando sedimentos que causam modificações na morfologia das praias e dunas com consequentes processos erosivos (**Figura 69**).

Figura 69. Valores da energia da onda na arrebentação no período de monitoramento durante as marés de sizígia e quadratura.

Data do experimento	Hs (m)	Energia das Ondas (j/m²) $E_b=1/8(\rho g H_b^2)$
27/09/2011	1,57	3.098,14
26/10/2011	1,53	2.942,29
23/01/2012	1,90	4.537,43
31/01/2012	1,50	2.828,03
10/02/2012	1,80	4.681,83
15/02/2012	1,14	1.633,47
10/03/2012	1,37	2.359,08
15/03/2012	1,48	2.753,12
05/04/12	1,47	2.716,04
13/04/12	1,43	2.570,24

Considerando o período de estio prolongado e chuvas abaixo da média no estado do Ceará, a sedimentação rápida pode estar associada ao transporte eólico remobilizando sedimentos da faixa de praia para o continente a exemplo do observado na **figura 70**.

Figura 70 - Taxas de erosão no período de alta energia para o ano de 2012.



Analisando os dados de balanço dos sedimentos, pode-se afirmar que na praia do Japão existe significativo transporte de sedimentos da face de praia para o continente nos períodos de estio. A conexão dos sedimentos das dunas frontais com a praia é mais efetiva quando em eventos de maior energia aqui associadas às ressacas do mar. As dunas fornecem sedimentos para a recomposição do perfil praial, ou seja, são áreas importantes e estratégicas na adaptação da costa as possíveis subida do nível médio do mar. E a ocupação desses setores próximos a linha de inundação máxima das marés deve ser fortemente desestimuladas. (**FIGURA 71**)

A direção predominante dos ventos na região faz com que o transporte eólico seja um agente erosivo da praia de Aquiraz. Paula (2013) encontrou comportamento semelhante na costa que vai de Cajueiro da Praia a Pedra do Sal no litoral do Piauí e Lima (2012) no litoral entre a praia da Caponga e Balbino.

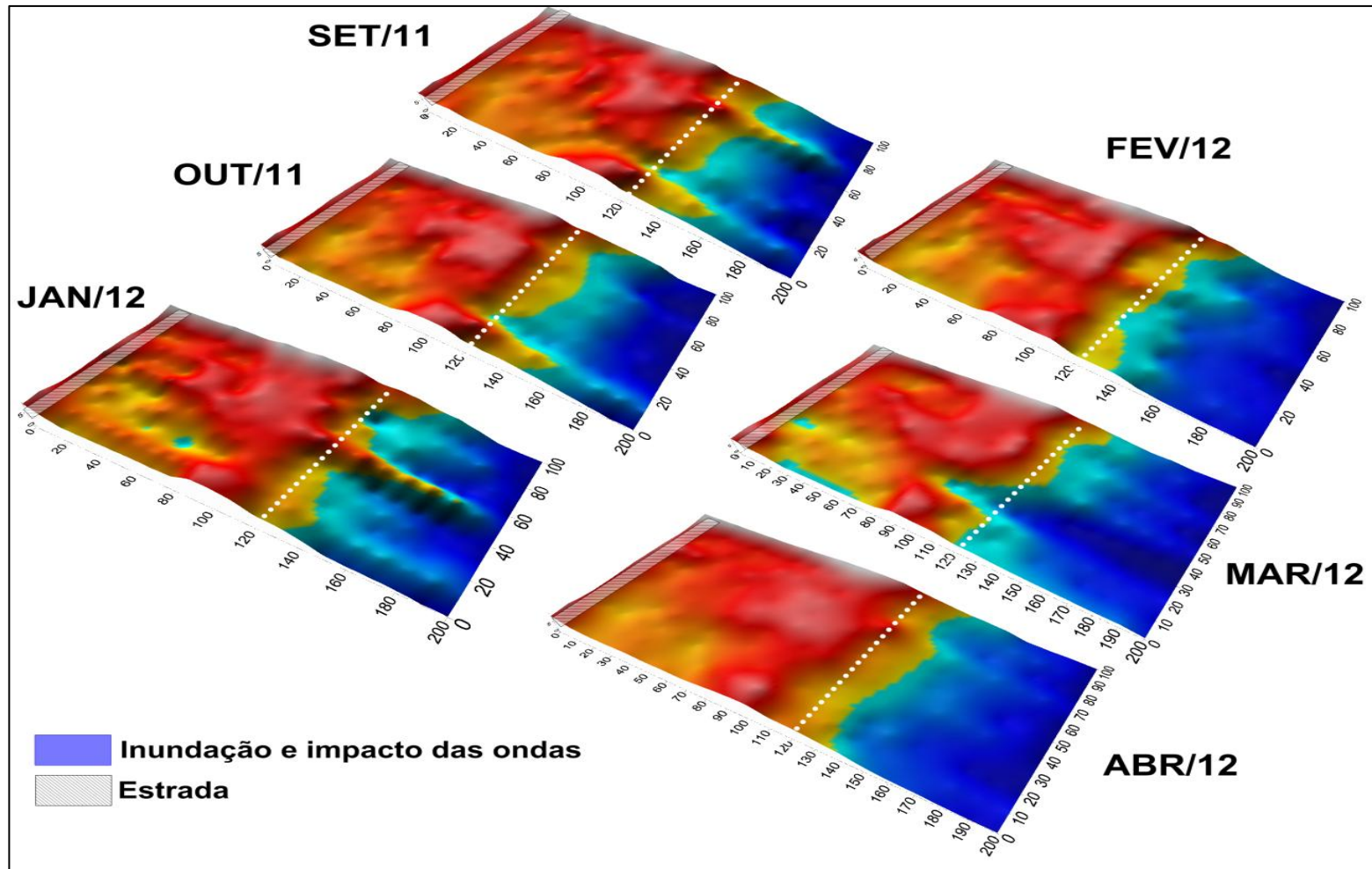
O *runup* da onda ao longo do período estudado variou de 3,9 a 4,5 metros durante as marés de sizígia. Apesar da ocorrência do galgamento no mês de março de 2012 associadas ao *swell* de longo período (12 segundos), as construções a retaguarda

da estrada estão protegidas do impacto das ondas. Considerando o aumento da frequência das ondas de 20 segundos no estado do Ceará como foi observado no ano 2013, espera-se que os regimes de *overwash* com inundações tenham sido mais frequentes. A ocupação no setor localizado entre a estrada e a crista da duna não é aconselhável (**FIGURA 72**).

Figura 71 - Balanço de sedimentos entre o sistema praia-duna durante os episódios de ressaca do mar.

Data	Volume (m ³)		Balanço de sedimentos (m ³)	
	Dunas	Face de praia	Dunas	Face de praia
set/11	46228	6409	-	-
out/11	44.762	7.653	-1.466	1.244
jan/12	44173	6435	-589	-1218
fev/12	44878	9622	705	3187
mar/12	41073	11167	-3805	1545
abr/12	43662	10030	2589	-1137
Volume Máximo	46228	11167	2589	3187
Volume Mínimo	41073	6409	-3805	-1218
Média	44129	8553	-513	724
DP	1728	2002	2390	1887

Figuras 72 - Variação morfológica entre o período de ressaca e pós-ressaca associada às marés de sizígia e quadratura.



6.4 Conclusões

- A compilação dos dados de onda, taxa de erosão e volume sedimentar foi essencial para validar os capítulos anteriores, no que diz respeito às respostas da dinâmica local com os resultados tratados e analisados, apresentando maior confiabilidade, bem como, esclareceu alguns questionamentos que surgiram durante o monitoramento em campo.

- A fragilidade quanto à reposição sedimentar com que a praia do Japão exibe em detrimento a praia do Porto das Dunas, foi uma dos pontos satisfatórios no estudo, quando praias díspares na questão do uso e ocupação, bem como fisiográficas, mostraram características que intrigam aos estudos clássicos. Verificou-se que a ocupação não é um fator principal ou preponderante para os problemas de erosão e recuo da linha de costa em Aquiraz, notadamente, quando se trata de uma praia até então inóspita estar em processo significativo de erosão.

- As principais modificações são observadas na faixa de praia e na base da duna frontal. No período entre outubro/11 e janeiro/12 não houve alterações nos padrões de erosão e sedimentação da duna frontal, o material sedimentado na praia foi transportado do oceano-continente ou lateralmente na própria zona intertidal. A deflação eólica neste período do ano e na região ainda tem um papel importante na remobilização de material sedimentar do oceano para o continente.

- No período entre janeiro/12 e fevereiro/12 as taxas de erosão vertical variaram de 0,5 a 3,5 metros no setor central da área. Isto promoveu um recuo horizontal de aproximadamente 40 metros. Como já é o esperado, a praia é o ambiente em que sofrerá mais influência das ondas e marés, e, sendo assim, a maré teve um papel fundamental quanto à dinâmica sedimentar na praia do Japão, pois durante o período de *swell*, as ondas foram mais eficientes quando associadas a uma maré de sizígia, como bem apresentado no modelo.

- No período de fevereiro e março de 2012 a elevação da onda de 4,5 metros resultou no *overwash*/galgamento na parte central da área com espraiamento e erosão da crista da duna frontal. Neste setor a taxa de erosão foi de 2,1 m. Por essa razão, que a conservação da duna é fundamental para a proteção das zonas costeiras, uma vez que, se estivesse ausente ou rebaixada poderia ter ocorrido maior transporte de sedimentos para o continente sem retorno para o mar formando *washover*.

- O MDT de setembro de 2011 a abril de 2012 mostra uma tendência de perda de material da face de praia, o que valida às taxas de recuo da linha de costa como uso de imagens de satélites. Essa tendência reflete o aumento da vulnerabilidade da área aos impactos futuros dos eventos de ressacas pelo rebaixamento da cota sejam eles induzidos pelo transporte de material da faixa de praia para o continente ou os resultantes da terraplanagem e fixação pela expansão da ocupação urbana.

- O balanço sedimentar na praia do Japão existe significativo transporte de sedimentos da face de praia para o continente nos períodos de estio. A conexão dos sedimentos das dunas frontais com a praia é mais efetiva quando de eventos de maior energia aqui associadas às ressacas do mar. As dunas fornecem sedimentos para a recomposição do perfil praial. São áreas importantes e estratégicas na adaptação da costa as possíveis subida do nível médio do mar. E a ocupação desses setores próximos a linha de inundação máxima das marés deve ser fortemente desestimuladas.

- Apesar da ocorrência do galgamento no mês de março de 2012 associadas ao *swell* de longo período (12 segundos), as construções a retaguarda da estrada estão protegidas do impacto das ondas. Contudo, no setor localizado entre a estrada e a crista da duna não é aconselhável nenhum tipo de ocupação, principalmente os de grande porte.

- As cotas das dunas por serem significativas (entre 7 e 8 metros) contribuem efetivamente num provável elevação do nível do mar e, a curto prazo, promove proteção aos eventos de alta energia como as ressacas do mar. Se faz necessário uma fiscalização ambiental presente, que valorize as dunas móveis, pois essa “estrutura natural” previne ocorrências negativas ao ambiente em si quanto favorece a proteção das construções e demais tipos de ocupações que poderão surgir no local.

7 VULNERABILIDADES E RISCO NO LITORAL DE AQUIRAZ

7.1 Introdução

A vulnerabilidade é a capacidade de resposta a uma situação de catástrofe. Quanto maior for à capacidade de resposta menor é a vulnerabilidade ambiental, assim como, os danos causados. A avaliação do risco inclui também a caracterização das incertezas inerentes ao processo de inferir o risco (ALVES *et al*, 1999). O risco ambiental, por sua vez, define-se como a caracterização dos potenciais efeitos adversos resultantes da exposição a perigos ambientais (COELHO & VELOSO-GOMES, 2005; ALVES, *et al*, 1999; ESTEVES, 2011).

A costa é considerada como uma das áreas mais vulneráveis do planeta e, por conseguinte, a comunidade científica tem significativamente aumentado as atividades no desenvolvimento de técnicas para avaliar a sua vulnerabilidade. (DI PAOLA *et al*, 2011). A vulnerabilidade, especificamente na zona costeira, vai depender do tipo de costa e de suas características geológicas, geomorfológicas e sedimentológicas, que vão se mostrar mais ou menos resistentes a determinado evento de ordem natural ou antrópica (COELHO & VELOSO-GOMES, 2005).

Determinados tipos de usos e ocupação da costa aumentam a vulnerabilidade da costa aos processos oceânicos (por exemplo, ondas de ressaca) e potencializam o risco de erosão costeira e de galgamentos oceânicos, com fortes danos econômicos, sociais e patrimoniais (PAULA, 2012). Os impactos da mudança climática repercutirão também na frequência e intensidade dos eventos de alta energia, aumentando assim, os riscos a erosão e as inundações nas regiões costeiras (WEBSTER, *et al.*, 2005; NICHOLLS *et al*, 2007; DI PAOLA *et al*, 2011). Assim, a probabilidade ou frequência de ocorrência de um evento pode ser calculada a partir de eventos passados, mas determinar a vulnerabilidade é um tanto complicado, exigindo testes de interação entre atributos físicos e as características socioeconômicas de uma localidade (CUTTER, 1996; KLEIN e NICHOLLS, 1999; SMALL & NICHOLLS, 2003).

A maioria da investigação dos perigos costeiros tem incidido sobre a determinação e análise das características físicas da vulnerabilidade costeira, com pouca referência aos indicadores sociais (BORUFF, *et al*, 2005). Esse é um grande problema observado em áreas costeiras com baixa urbanização, pois não é dada importância aos eventos de alta energia por não repercutir na mídia ou que pouco interfira nos lucros dos investidores.

Esses processos ganham destaque porque uma parcela significativa da população mundial reside na zona costeira (SMALL & NICHOLLS, 2003). Para avaliar o risco potencial de eventos naturais ao longo a costa, é importante identificar e avaliar os elementos que contribuem para isso, ou seja, risco e vulnerabilidade. (BORUFF *et al*, 2005). As consequências potenciais destas tempestades implicam na necessidade de ferramentas que reconheçam zonas vulneráveis ao risco de inundações. Este fator tem sido modelado e as informações resultantes constituem a base para mapeamentos de riscos costeiros (BENAVENTE *et al*, 2006).

A vulnerabilidade da costa é um tema de interesse para o planejamento territorial e a identificação de estratégias de adaptação ao cenário de avanço do mar (Ciavola *et al* (2007). Nesse sentido, a vulnerabilidade ao risco muda com frequência no ambiente costeiro, sendo as comunidades costeiras sujeitas aos processos naturais e humanos que alteram a estabilidade ambiental. O uso de geoindicadores pode favorecer nas atualizações rápidas e planos de mitigações.

Considerando que o litoral estudado é alvo da especulação imobiliária e da indústria do turismo, quais os riscos e vulnerabilidades existentes e quais os cenários futuros? Principalmente quando não há registros históricos e poucos dados anteriores que venha corroborar na investigação, tornando um desafio para este estudo.

A partir dessa contextualização, ao objetivo deste capítulo foi avaliar a vulnerabilidade e risco à erosão, mas incluindo outras variáveis uteis ao manejo como a ocupação humana, redução do volume sedimentar, estruturas naturais (dunas) e artificiais (construções).

O litoral de Aquiraz tem potencialidades e vulnerabilidades ambientais e possibilidades de resiliência, na medida em que, o pacote sedimentar contido nas dunas frontais e faixas de praia, apresentam-se como formas de ajustes sazonais, ou seja, entre os períodos de ressaca do mar e dinâmica sazonal. A partir desse contexto, estabelecer níveis de riscos e vulnerabilidades a erosão, requer um estudo que abranja vários fatores, mas que ao mesmo tempo direcione ao objetivo principal: erosão costeira e prováveis inundações.

Uma das motivações por esse estudo, como já foi mencionado, está na escassez de trabalhos que retratem sobre esses episódios de ressacas do mar ou tempestades no Brasil, salvo o litoral do Sul do país, onde há um considerável acervo sobre as tempestades e sua origem. Outra motivação seria, apesar de boa parte de o estudo ser realizado em ilhas

barreiras como, a Ria Formosa, na Península Ancão, Europa, a semelhança nos parâmetros oceanográficos onde a maré é caracterizada por semi-diurna, com alcances semelhantes ao da área aqui estudada, bem como, a altura significativa da onda (em média 0.92 m) e período médio em 8 segundos. Porém, em períodos de tempestades, as ondas na Ria alcançam alturas acima dos 3 metros. Assim sendo, acredita-se que, por essas razões, que os dados puderam ser bem aplicados.

Cada etapa foi minuciosamente trabalhada e adaptada à área, pois como é sabido, o Nordeste brasileiro, notadamente, o litoral do Estado do Ceará, não tem ocorrência de tempestades. Também é verdade que, no decorrer dos capítulos anteriores, foi verificado inundações nas praias, e algumas ocorrências de *overwash*, porém, as chances de num futuro próximo vir a intensificar o fenômeno, não é descartado. Assim, nessas certezas, baseadas nos estudos de campo e laboratório, foram possíveis, gerar resultados satisfatórios quanto às projeções futuras da evolução da linha de costa e da construção dos mapas de vulnerabilidade e risco de Aquiraz.

7.2 Metodologia

Nas praias de Aquiraz foram registradas várias situações de vulnerabilidades, cada uma conforme o período tratado (alta energia ou sazonal) das quais, foram mapeadas, qualificadas e quantificadas, obedecendo aos critérios: morfologia e ocupação. Para essa etapa, os geoindicadores foram considerados a ferramenta escolhida como um prognóstico rápido e válido na caracterização do ambiente quanto à vulnerabilidade.

Assim, correlacionando tipos de praias e geoindicadores, os trechos foram separados em três classificações: *área de baixa a nenhuma ocupação*, *área ocupada* e *área densamente ocupada*, conforme a **Figura 73**, a fim de não cair na generalização dos resultados, uma vez que, as atividades humanas sempre oferecerão alguma intervenção no meio em que atua.

Por geoindicadores, Berger & Iams (1996) determinaram que são medidas (magnitudes, frequências, taxas e tendências) de processos geológicos e fenômenos ocorrendo na superfície ou próximo dela e sujeitas a alterações que são significativas no entendimento das mudanças ambientais ao longo de períodos de 100 anos ou menos. Tais processos são de natureza física (geológico-geomorfológico, climático, hidrológico, etc.), química (salinidade,

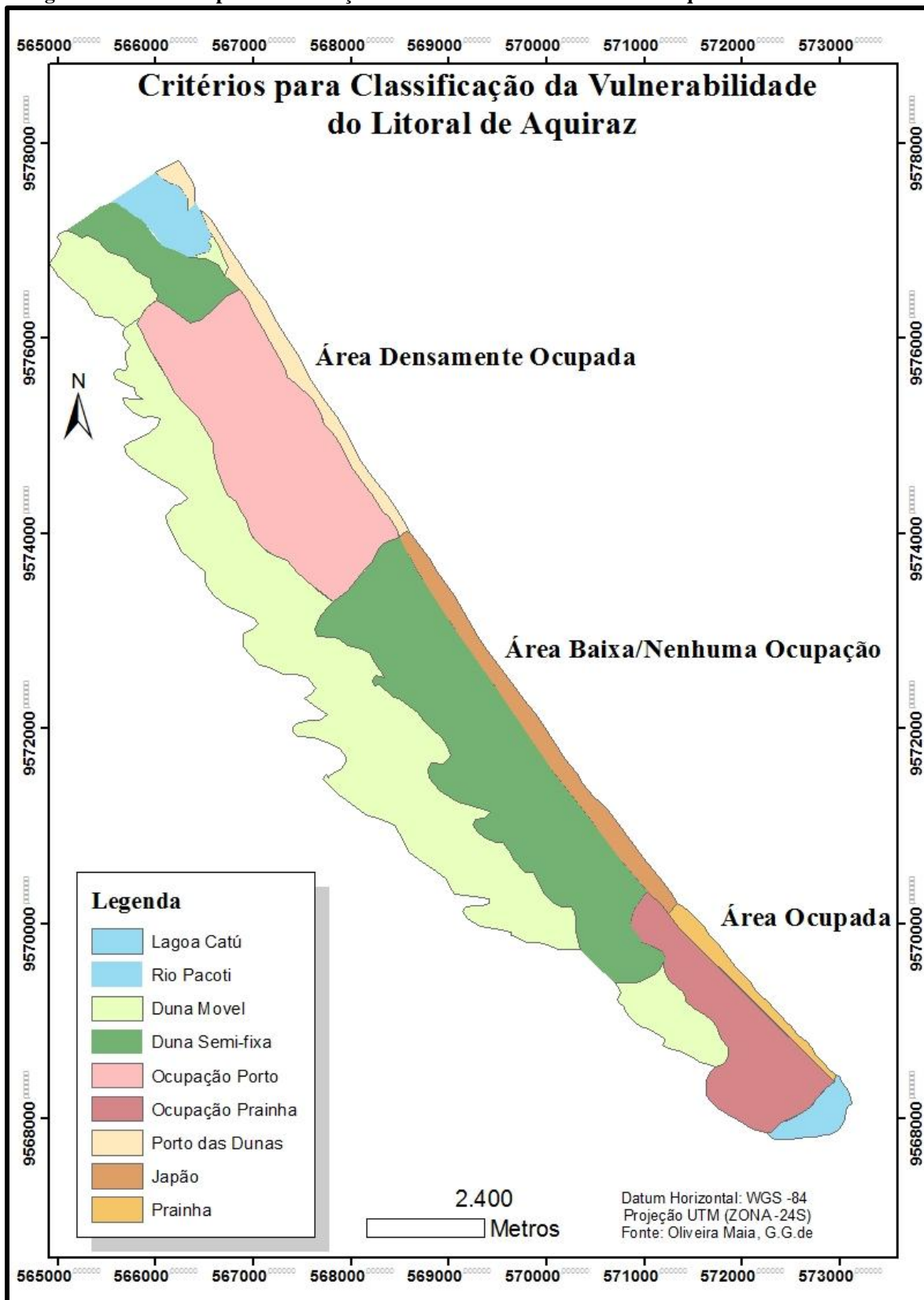
pedogênese, flocculação, deposição, absorção, adsorção, etc.) e bio-ecológica (produção, estocagem, consumo, estrutura das comunidades, etc.) (TAGLIANI, 2003; RUDOFF & BONETTI, 2010).

Para Bush *et al* (1999), os geoindicadores fornecem uma ferramenta de gestão para avaliação rápida de risco de desastres naturais potencial, como por exemplo, perigos costeiros, quer como um suplemento para a auditoria ambiental de longo prazo e de monitorização, ou para avaliação costeira inicial como em países em desenvolvimento. No caso da zona costeira, alguns geoindicadores podem ser mencionados: retirada da vegetação nativa da duna, erosão, redução da faixa de praia, descontinuidade de dunas ou rebaixamento por inundação, recuo de falésias, exposição de *beachrocks*, dentre outros, dos quais, possuem classificações de riscos variando de baixo, moderado e alto dependendo caracterização/estágio do ambiente.

Berger (1997) também concorda que os geoindicadores podem fornecer aos gestores uma ferramenta simples e qualitativa para a rápida identificação do potencial de risco que é cientificamente válida. Vulnerabilidade ao risco muda com frequência no ambiente costeiro, sendo as comunidades costeiras sujeitas aos processos naturais e humanos que alteram a estabilidade ambiental. O uso de geoindicadores pode favorecer nas atualizações rápidas e planos de mitigações.

A partir dessa contextualização, foi possível avaliar o litoral do município de Aquiraz quanto à vulnerabilidade e risco, não somente à erosão, mas também à ocupação humana, quando é atribuída a redução do pacote sedimentar pelas atividades daquele, proporcionando um maior alcance, em termos de comprimento, das ondas às estruturas naturais (dunas) e artificiais (construções). Essas condições foram as principais preocupações desse estudo, pois em um futuro próximo, ambiente como as praias, desembocaduras de rios e as próprias estruturas instaladas na zona costeira poderão desaparecer.

Figura 73 - Critérios para classificação da vulnerabilidade do litoral de Aquiraz.



Fonte: Oliveira Maia, G.G.de (2014)

7.2.1 Avaliação da Vulnerabilidade em Ambientes Costeiros Arenosos

As informações e os dados abordados, elaborados e analisados, tanto a nível ambiental quanto a nível antrópico, permitiu quanti-qualificar/qualificar os principais indicadores de riscos e vulnerabilidades a erosão e impactos associados no litoral de Aquiraz.

Sendo assim, a compilação da metodologia aplicada aqui partiu dos estudos realizados por BERGER (1997), COOPER & McLAUGHLIN, (1998), BUSH *et al* (1999), TAGLIANI (2003), COELHO & VELOSO-GOMES (2005) e COELHO (2005) dos quais viram na abordagem integrada, multidisciplinar e sistêmica do gerenciamento dos recursos naturais, a informação científica plausível para desenvolver modelos de processos costeiros integrados, e aos planejadores na tomada de decisão e reordenamento do ambiente.

Na classificação da vulnerabilidade da zona costeira as variáveis estudadas foram divididas em duas categorias: caracterização da zona costeira e características naturais e antropogênicas (COELHO e VELOSO-GOMES, 2005; COELHO, 2005 e BUSH *et al* 1999). Tanto na primeira quanto na segunda categoria, foram escolhidos cinco parâmetros de classificação que vão desde o valor 1 que corresponde a muito baixa vulnerabilidade e o valor 5 correspondente a muito alta vulnerabilidade.

No primeiro momento foram agrupados os seguintes parâmetros: topografia local; distância de construções em relação à linha de costa; a amplitude da maré (GORNITZ *et al*, 1997); máxima altura da onda na arrebentação; taxas de erosão/acresção anual, tratados de forma quantitativa. **(FIGURA 74)** Os dados foram extraídos do período de estudo (2011-2012) obtidos em campo, bem como, na compilação com anos anteriores (50 anos), utilizando a média dos valores. A justificativa das escolhas dos parâmetros está organizada na **Figura 75**.

Figura 74 - Classificação das vulnerabilidades quanto às características topográficas e oceanográficas da zona costeira

CLASSIFICAÇÃO DE VULNERABILIDADES					
Vulnerabilidade	Muito Baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
	1	2	3	4	5
Cota Topográfica referida ao ZH (m)	> 30	> 20 ≤ 30	> 10 ≤ 20	> 5 ≤ 10	≤ 5
Distância a linha de costa (m)	> 1000	> 200 ≤ 1000	> 50 ≤ 200	> 20 ≤ 50	≤ 20
Amplitude da maré (m)	< 1.0	≥ 1.0 < 2.0	≥ 2.0 < 4.0	> 4.0 < 5.0	> 6.0
Máxima Altura de onda significativa (m)	< 3.0	≥ 3.0 < 5.0	≥ 5.0 < 6.0	≥ 6.0 < 6.9	≥ 6.9
Taxa de erosão/acresção (m/ano)	> 0 acresção	> -1 ≤ 0	> -3 ≤ -1	> -5 ≤ -3	≤ -5 erosão

Fonte: Coelho & Veloso-Gomes (2005)

Figura 75 - Correlação entre os geoindicadores e a correspondente aplicação na avaliação quantitativa da vulnerabilidade do ambiente costeiro.

Geoindicadores	Aplicação
Topografia	A declividade da praia emersa e imersa influenciará no tamanho do grão, capacidade percolação da água, velocidade de espraiamento e nos processos de erosão ou acresção.
Distância da Linha de costa	Indicará a vulnerabilidade tanto com relação às ocupações sujeitas às inundações quanto ambientes arenosos como a praia e duna frontal o quanto resistem às intervenções.
Amplitude De Maré	Informará a sua posição em determinado tempo em relação à linha de costa, em estágios de avanço ou estabilidade com base nas tendências do nível do mar.
Altura Máxima Da Onda	Mostrará a incidência sobre a região costeira indicando a capacidade energética, bem como, associando-a ao transporte de sedimentos.
Taxa de Movimentação Anual Da Linha De Costa	Relacionado às intervenções antrópicas em médio a curto prazo (~50 anos).

No segundo momento, cinco parâmetros foram agrupados, representando a forma qualitativa dos geoindicadores, dos quais representam: os parâmetros da linha de costa; geomorfologia costeira; revestimento do solo, configuração da duna e ações antrópicas (FIGURA 76).

Figura 76 - Correlação entre os geoindicadores e a correspondente aplicação na avaliação qualitativa da vulnerabilidade do ambiente costeiro.

Geoindicadores	Aplicação
Parâmetros Da Linha de Costa	Vai definir a largura da zona de <i>surf</i> e de espraiamento, conjuntamente a energia da onda, características que vão implicar na configuração da linha de costa.
Geomorfologia Costeira	Indica ao mesmo tempo as possibilidades deposicionais do ambiente, como a estrutura geológica que deu base as feições presentes na área.
Revestimento Do Solo	Está ligado à fixação ou não dos sedimentos e que tipo de vegetação predomina, pois a atividade empregada e/ou a retirada da cobertura vegetal implicará em impactos negativos.
Configuração Da Duna	Distinguindo-se segundo a compactação do solo, tipos de feições e localização das mesmas. Nesse caso, foi notificada também, a presença ou não de vegetação, pavimentação, terraplanagem, dentre outras situações. E quanto à vegetação das dunas, foi atribuída a defesa natural às próprias dunas.
Ações Antrópicas	Avaliar o impacto das intervenções antrópicas no balanço sedimentar e posição da linha de costa.

As características foram obtidas pelo caminhamento pelas praias (13km) e, concomitantemente, as feições foram registradas por meio de fotografias e posicionamento por GPS de quaisquer indício de erosão, impactos antrópicos e perdas da faixa de praia entre 2010 e 2014. Nesse caso, apenas foram atribuídas características, baseada em estudos local, nacional e internacional que indicassem níveis de vulnerabilidade, variando também de 1 (muito baixa) a 5 (muito alta). (FIGURA 77)

Os valores dos parâmetros foram adquiridos da seguinte forma: a *cota topográfica*: Cota corrigida dos perfis no zero hidrográfico; *distância à linha de costa* utilizou-se da diferença da cota entre a base da duna ou estrutura e a antepraia; a *amplitude da*

maré, predeterminada pelos estudos anteriores e pela Diretoria Hidrográfica de Navegação (DHN); a *máxima altura da onda*, a média das máximas alturas na arrebentação pelo modelo WAVEWATCH III e dados de campo; a *taxa de erosão ou acresção* teve os dados a partir das linhas *End Point Rate - EPR's* e *Average End Point Rate AEPR's* do programa *Digital Shoreline Analysis System – DSAS*, do Serviço Geológico dos Estados Unidos, nos últimos 50 anos;

Figura 77 - Classificação das vulnerabilidades quanto às características estruturais, geomorfológicas e antrópicas.

CLASSIFICAÇÃO DE VULNERABILIDADES					
Geoindicadores	Parâmetros da Linha de Costa ¹	Geomorfologia Costeira	Revestimento do Solo ²	Configuração da Duna ¹	Ações Antrópicas ²
Vulnerabilidades					
Muito Baixa 1	Estreito Fetch: proteção natural (barreira, recifes); ¹ baixa energia das ondas	Serra	Vegetação Arbórea; cultivos e jardins	Alta, duna edafizada do tipo arbórea	Sem intervenções e sem evidencia de Redução nas fontes sedimentares ²
Baixa 2	Estreito Fetch: Alta plataforma em águas rasas; moderada energia das ondas	Promontório	Vegetação Rasteira; solo cultivado ²	Alta, larga, vegetação gramínea ²	Intervenções sem estruturas mas sem evidencia de redução nas fontes sedimentares
Moderado 3	Moderado Fetch: Moderada plataforma em águas rasas; ¹ moderada energia das ondas	Promontório Erodido e zona interior pouco acentuada	Solo Não Revestido ²	Media, largas, descontínuas, sem ocupação fixa	Sem intervenções e com evidencia de redução nas fontes sedimentares ²
Alto 4	Largo Fetch: Ampla plataforma em águas rasas; Alta energia das ondas e Micro marés ¹	Praia Exposta; Planícies ² , dunas	Urbanismo Rural ²	Baixas, sem <i>overwash</i> , com ocupação fixa	Intervenções com estruturas com evidencia de Redução nas fontes sedimentares
Muito Alto 5	Largo Fetch: Ampla plataforma em águas rasas; Alta energia das ondas e Meso-marés	Dunas, restingas, estuários ² , aluviões e lagunas	Urbanismo ou Industrial	Sem Dunas ou descontínuas, com <i>overwash</i> ² , com ocupação fixa maciça	Intervenções com estruturas de redução da posição da linha de costa

Fonte: 1.Bush *et al* (1999); 2.Coelho & Veloso-Gomes (2005)

Quanto à classificação das ações antropogênicas e seus efeitos negativos, partiu-se da correlação entre os níveis de uso e ocupação do ambiente com o potencial de transporte de sedimentos (função das características oceanográficas) e o volume disponível. Apesar dos quadros estarem diretamente apresentando os indicadores de vulnerabilidade, não foi descartado demais situações ou características que possam reforçar nos resultados como a granulometria, a influência de desembocaduras de rios e os processos erosivos.

Outro quadro foi incluso na avaliação da vulnerabilidade, buscando nesse caso, identificar a capacidade de intervenção antrópica nos ambientes costeiros e, dessa forma, foi realizado um levantamento dos principais litorais do Estado do Ceará, nas quatro últimas décadas, com os principais agentes e impactos, tendo como referencia o trabalho de *Morais et al*, 2006. **(FIGURA 78)**

O objetivo foi de atribuir um peso/importância dos acontecimentos no meio ambiente com a presença do homem. Assim, verificaram-se períodos semelhantes aos eventos, no que diz respeito, a localização da ocupação, atividades realizadas, presença ou não de equipamentos turísticos e evolução urbana e demográfica. Esses valores brutos pertinentes ao intervalo de 50 anos foram tratados pela média aritmética ponderada. Posteriormente, os parâmetros (naturais e antrópicos) foram separados segundo a importância relativamente diferente. Para esse estudo, foi dado peso seis (6) aos parâmetros naturais e peso quatro (4) ao parâmetro ação antrópica.

Média Aritmética Ponderada

$$\frac{P_1 \cdot x_1 + P_2 \cdot x_2 + P_3 \cdot x_3 + \dots + P_n \cdot x_n}{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i \cdot x_i)}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

A classificação da vulnerabilidade foi essencial para comparação com resultados do risco à erosão. A metodologia que trata do risco a perigos costeiros representadas em mapas específicos foi desenvolvida por *Ferreira et al*, (2006) que consiste em projetar linhas de costa futuras (*set-back lines*) que tem como principais fundamentos: a taxa de evolução costeira; a variação do nível médio do mar com conseqüente perda de área emersa e; impactos gerados pelos eventos de alta energia que foi descrita em seguida.

Figura 78 - Levantamento dos principais impactos no litoral do Ceará (variável: ação antrópica) nos últimos 40 anos

VARIÁVEL AÇÃO ANTRÓPICA: Levantamento realizado no litoral Cearense	
PRAIAS/ESTUÁRIOS	IMPACTOS PRINCIPAIS/AGENTES
Mundaú / Fleixeiras	Ocupação / erosão intensificada com o <i>swell</i>
Mundaú	Mudança topográfica com o núcleo urbano/ refração da onda
Paracuru	Refração da onda / urbanização
Bacia Metropolitana	Diversidade morfológica com alta vulnerabilidade à erosão/ adensamento urbano / refração das ondas
Fortaleza	Progradação e retrogradação da linha de costa/ erosão pelas construções rígidas
Caucaia	Construções rígidas provoca erosão/ especulação imobiliária com recuo da linha de costa
Pecém	Recuo da linha de costa após construção do Porto/ destruição de casas e barracas
Caponga	Destruição das casas, barracas e avenidas com o avanço do mar/ erosão/ clima de onda
Uruaú/Beberibe	Processos Naturais/ especulação imobiliária/ passeios nas dunas/ erosão
Fortim	Processos energéticos (ondas e marés) nos promontórios ocasionam avanço do mar e destruição das casas/ uso e ocupação/erosão
Ponta Grossa /Redonda	Refração das ondas/ erosão/ recuo de falésias
Icapuí	Processos erosivos na preamar/ refração da onda/ uso, ocupação e loteamentos indiscriminados intensificam a erosão

Fonte: Morais *et al*, 2006.

7.2.2 Resposta da Praia ao Aumento do Nível do Mar

Durante as duas últimas décadas, o interesse tem aumentado no efeito potencial de aumento do nível do mar na orla costeira, como resultado de preocupações sobre um aumento na taxa de elevação do nível do mar devido ao aquecimento global. Previsões reais tendem a tornarem-se mais conservadores ao longo da última década, mas muitas estimativas de aumento total de nível do mar durante o próximo século são em da ordem de 3-6 mm / ano. (DAVIDSON-ARNOTT, 2005)

As primeiras medições de nível do mar prolongadas foram realizadas na Europa durante o século XVIII. Estes dados foram observações visuais das alturas e períodos de altas e baixas marés, com os chamados "medidores de maré", formando marcas em suas paredes de pedra para indicar a profundidade da água sobre o parapeito da doca. Até o final do século XIX, instrumentos similares foram instalados na maioria dos grandes portos. Os dados foram também utilizados para determinar pontos de referência nacional, como sua série de tempo prolongado, tornou-se claro que eles tinham muitas outras aplicações práticas e científicas, incluindo alerta de cheias em áreas propensas de tempestades e *tsunamis* (WOODWORTH *et al.*, 2011)

No Brasil, as primeiras medições do nível do mar utilizando medidores de maré começaram a caminhar para o fim do século XIX e o início do século XX, sob a responsabilidade da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Essas estimativas foram reservadas para uso em aplicações de porto para obter as componentes de maré, e/ou para a elaboração de gráficos náuticos. A maioria das medições *in situ* durou apenas o período de um mês lunar, cobrindo uma maré de sizígia e uma de quadratura. (LEMOS & GHISOLFI, 2010)

Apesar de existirem muitas estações maregráficas distribuídos ao longo da costa brasileira, a maioria delas não tem uma série temporal associada em mais de 10 anos. Infelizmente, a maior parte (se não todos) dos marégrafos, uma vez ativa, ou não são operacional ou foram destruídas. Uma exceção é a estação de Cananéia (São Paulo), onde a série temporal é mais de 50 anos e superior a 30 anos na Ilha Fiscal (Rio de Janeiro). Em Fortaleza (Ceará), segundo INPH (1996) e Companhia Docas do Ceará (http://www2.docasdoceara.com.br/caracteristicas_climaticas.asp#), o nível médio (NM) do mar é de 1,58 metros, sendo este o valor utilizado nos cálculos da projeção de uma possível elevação do nível do mar para os próximos 50 anos.

Douglas (1991) assegurou que para chegar a qualquer conclusão específica sobre as mudanças no nível do mar precisará de uma série temporal que tenha duração de pelo

menos 50 anos. Mesmo com essa afirmação, os resultados obtidos por ele têm fornecido alguns estudos voltados à avaliação de tendência do nível médio do mar ao longo da costa brasileira. Por exemplo, França (1995 *apud* LEMOS & GHISOLFI, 2010), utilizou informações marégrafo 1950-1990 em algumas estações Brasileiros (Belém-Pará, Salinópolis-PA, Fortaleza-Ceará, Recife-Pernambuco, Salvador-Bahia, Canavieiras-Bahia, Rio de Janeiro-RJ, Ubatuba-São Paulo, Cananéia-Santa Catarina, e Imbituba-Santa Catarina) para verificar a tendência do MSL elevações. Ele descobriu a tendência de elevação para ser aproximadamente 04 mm ano^{-1} , ou cerca de $50 \text{ cm por século}^{-1}$.

Mesquita (2005) confirma França (1995) quando mostra que nos últimos 50 anos foi observada uma tendência na costa brasileira de um aumento do nível relativo do mar, na ordem de 40 cm /século ou 40 mm/ano , que podem ocorrer devido a expansão térmica, provocada pelo aquecimento global e pelas marés meteorológicas, ocasionadas pelo aumento da intensidade dos ventos, podendo provocar um “empilhamento” de até 20 cm de água no Rio de Janeiro e São Paulo, dentre a costa nordestina. O IPCC-TAR (IPCC, 2001) sugere que o nível médio do mar pode aumentar entre 30 cm a 80 cm nos próximos 50 a 80 anos.

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014), afirma que nos próximos 100 anos poderá haver um aumento da temperatura média global entre $1,8 \text{ }^\circ\text{C}$ e $4,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Além disso, o nível médio dos mares deve subir entre $0,18 \text{ m}$ e $0,59 \text{ m}$, o que traz uma série de riscos às atividades e vida humanas e aos ecossistemas terrestres.

Com relação aos dados de maré no litoral cearense, Schettini *et al* (2011) obtiveram através de um marégrafo instalado no cais do Porto do Mucuripe, operado pelo IBGE (2009), que determina a variação do nível da água em função do tempo através da pressão hidrostática exercida sobre um transdutor. O período utilizado na presente análise consiste de dados coletados em intervalos de 5 minutos, para o período entre 18 de abril de 2008 e 16 de fevereiro de 2009. Apesar dos resultados adquiridos pelos autores citados acima são direcionados a gestão portuária, tornou-se uma ferramenta interessante quanto aos níveis do mar no litoral em questão.

Desse modo, a expectativa de excesso de nível da água em função da maré (acima do nível zero de baixa-mar de sizígia equinocial), mostrou que em mais de 95% do tempo o nível está $0,5 \text{ m}$ acima. Por outro lado, a análise da probabilidade conjugada de nível da água e ondas mostrou que condições críticas de níveis negativos ocorrem em menos de 0,5% do tempo. Contudo, tais valores devem ser compreendidos como parâmetros estatísticos e os efetivos controles operacionais devem basear-se em observações diretas.

Outra forma identificar a elevação/avanço do mar é através de indicadores dessas flutuações como os *beachrocks* que foram medidos e coletadas amostras em alguns trechos do litoral cearense por Morais, *et al* (2009). Resultado disso mostrou que o nível do mar no Holoceno nunca foi tão significativamente mais elevado nesta costa do que atualmente, e que nos últimos 6.000 anos, o nível do mar apresentou-se com certa constância.

Nesse mesmo raciocínio, Irion, *et al* (2009:2012) afirmam que um aumento do nível do mar na costa do Ceará é a explicação mais plausível para a formação da *beachrocks* na praia superior e simultânea destruição na parte inferior, como por exemplo, na praia de Jericoacoara. Defende-se, portanto, que o recente aumento do nível do mar é representado pela ascensão generalizada do nível do mar de uma majoritária parte dessa costa desde cerca de 7.000 anos e, conclui que desde o Holoceno o nível do mar não foi maior do que é agora. Mediante o indicador *beachrock* presume-se que os níveis do mar esteve entre 6 e 7 metros acima do atual, associando também ao recuo da rocha pré-cambriana.

Vários estudos recentes indicam que as estratégias de proteção das praias e mudanças no comportamento ou a frequência de tempestades pode ser mais importante do que a aceleração do aumento do nível do mar projetada para determinar futuras taxas de erosão de praia (AHRENDT, 2001; LEONTYEV. 2003). Conforme trabalhos anteriormente citados, como não há expressiva ocorrência na elevação do nível do mar no litoral cearense, bem como não existe uma relação simples entre aumento do nível do mar e o movimento horizontal da linha de costa, a abordagens de balanço sedimentar, segundo esses mesmos autores, é mais útil para avaliar em como uma praia responde à mudança climática.

Mediante os estudos realizados na costa cearense, o nível do mar não seria a grande preocupação da perda de faixas de praia, mas sim, as inúmeras intervenções antrópicas e os eventos de alta energia que favorecem a erosão costeira. Mesmo assim, num possível aumento do nível do mar, os dados serão utilizados na confecção do mapa de risco, lembrando que, no progressivo recuo da linha de costa, ocasionada pela diminuição de sedimentos com a elevação do nível do mar, a situação só tende a se agravar.

Assim, esse capítulo seguiu-se em duas perspectivas: na evolução da linha de costa mediante as variações do nível do mar e eventos de alta energia associadas; e no transporte e balanço sedimentar, pois ambos possuem deficiências de dados em longo prazo, mas que ao mesmo tempo se complementam, a fim de, chegar ao propósito que é averiguar áreas de maiores e riscos e vulnerabilidades à erosão.

7.3 Riscos Costeiros

A avaliação de riscos tem uma importância crescente na sociedade contemporânea. O conceito de riscos aplica-se a eventos com efeitos negativos que podem ocorrer e interessa que essa possibilidade de ocorrência possa ser quantificada ou avaliada, de forma a superar situações problemáticas e a hierarquizar decisões. Em termos técnico-científicos, a medida de incerteza ou a caracterização do nível de incerteza face a cada potencial acontecimento identificado é realizada pelo conceito de probabilidade (Coelho e Veloso-Gomes, 2005). A vantagem deste tipo de caracterização, admitindo que seja possível obter o valor da probabilidade, é a de poder comparar níveis de incerteza e de permitir a adoção de um sistema racional e lógico de decisão (ALMEIDA, 2003).

No ambiente costeiro, o indicador classicamente utilizado é a linha máxima que a maré alcançou, para quantificar recuos ou avanços da linha de costa e, para tal, Ferreira *et al* (2006), fez uma abordagem acerca dessa perspectiva definindo linhas de *set-back* (retrocesso, recuo) ao longo de uma costa, com base nas variações e tendências de conhecidos movimentos da linha de costa. A representação das linhas *set-back* sobre uma base cartográfica fornece resultados para geração de mapas de riscos costeiros. A noção de linhas de *set-back* para a evolução da linha de costa foi concebido na Flórida no final da década de 1960, com a linha de *set-back*, que é um padrão de distância da marca mais alta da água do mar [maré cheia] ou em direção à crista da duna (CARTER, 1981;1988).

A metodologia aplicada na análise dos riscos costeiros foi desenvolvida por Ferreira *et al*, (2006). Consiste em projetar linhas de costa futuras (*set-back lines*) que tem como principais fundamentos: a taxa de evolução costeira (*Shoreline Evolution Rates - SER*); a variação do nível médio do mar com conseqüente perda de área emersa e impactos gerados pelos eventos de alta energia (*storms ou storms wave*), que neste caso estão associadas às ressacas.

No caso específico do litoral de Aquiraz, foi desenvolvida a evolução da linha de costa para o período de retorno de 10, 25 e 50 anos, a fim de ter uma visão de curto a longo prazo, na medida em que, a erosão está sendo vista como o grande entrave para um ambiente equilibrado e sem impactos. A área perpassa por um momento crítico de avanço da urbanização, barramentos/estiagem dos rios e degradações de diversas naturezas.

Nessa contextualização, o método de Ferreira *et al*, (2006) fundamenta-se em obter a **taxa de evolução costeira (TEC)** pela análise da variação da linha de costa através de

fotografias aéreas e considerar que o padrão de movimentação da **linha de costa (LC)** não se modificará em 50 anos e, assim, projetar a **LC futura (L_{50})**, assumindo a mesma taxa de variação do passado. A partir de L_{50} é projetado outra **LC futura (L_{50e}) incluindo a erosão.**

As taxas de variação do nível do mar para as projeções futuras foram baseadas no relatório emitido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2013; 2014). Na simulação foi considerado o pior cenário.

Foi utilizado o modelo de Kriebel e Dean (1993) que determina a máxima retração provocada por uma tempestade com tempo de recorrência de 50 anos. Tal retração é adicionada à **LC futura L_{50e}** , gerando uma terceira **LC futura de tempestade (L_{50T})**.

A linha de base foi definida como **S_0 (baseline ou posição da costa no momento zero)**, que no caso de Aquiraz foi à linha máxima d'água visualizada nas fotografias aérea e imagens de satélite. Para tal intento, foram utilizadas imagens *Quickbird* (2009, 2013 e 2014) cedidas pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente – SEMACE e obtidas no Google Earth, respectivamente. Fez-se uso também das imagens LANDSAT de 1984 e 1999 cedidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e fotografias aéreas na escala de 1: 8.000, datada de 1958 pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM. A escolha do período está associada à própria metodologia, pois a verificação, a cada 10 anos, apresentou-se adequada e eficiente nos resultados da área.

Caso os principais fatores e processos responsáveis pelas variações recentes e atuais da variação da linha de costa não mudar no futuro próximo, uma futura posição do litoral pode ser estimada multiplicando a *Shoreline Evolution Rate* - SER. A SER pode variar amplamente, e três possíveis situações podem ser definidas: a erosão (reco da linha de costa); estabilidade dinâmica (SER cerca de zero) e acreção (deslocamento da linha de costa sentido oceano). Numa área costeira frente ao reco da linha de costa, a previsão de uma linha *set-back* de 50 anos (S_{50}) é dada pela:

$$S_{50} = S_0 + \text{SER} \times 50,$$

Onde:

S_{50} é a distância entre o terreno e o S_0 , que foi modificado para cada período de retorno estudado, ou seja, multiplicando também por 10 e 25 anos, e;

S_0 em que a linha de *set-back* deve ser desenhada (linha base).

Para esse estudo foi determinada a linha do ano de 2014 como a *baseline* (S_0). Utilizando o método do *End Point Rate* - EPR, foram encontrados os valores de cada EPR e calculadas, em seguida, as médias (AEPRs) totais de cada período (1958 – 2014); (1984 – 2014); (1999 - 2014); (2009 – 2014); (2013 – 2014), correspondente a cada transecto nas três praias. Na Prainha de Aquiraz foram traçados vinte e sete transectos (27T), num trecho de 2.650 metros e espaçamentos de 100 em 100 metros . O S_0 ficou entendido como o ponto de partida para determinar os valores de progradação ou retrogradação da linha de costa e, sendo assim, esse valor é tido como zero. A sua colocação nos cálculos é apenas como demonstração que dele partem as demais linhas *set-backs*.

Esse procedimento simples permite que a principal influencie sobre a evolução da costa em longo prazo (fornecimento de sedimentos e relativo aumento do nível do mar) não vai mudar durante o período de interesse, pois a estimativa da oferta de sedimentos é extremamente difícil, como depende de fatores tais como o grau de intervenção humana nas bacias hidrográficas, a alimentação artificial da praia ou dragagem e as estruturas presentes, situações que no decorrer do tempo não foram aplicadas.

O recuo da costa (S_{50}) inclui o efeito da tendência atual ao aumento do nível do mar. No entanto, o valor do S_{50} não está incluso na aceleração esperada com a elevação do nível do mar, para os 50 anos de interesse. Um ajuste adicional para a erosão costeira induzida pelo *adjustment* - **ASLR** pode ser aplicado. Conhecer a atual taxa de aumento do nível do mar – **SLR_p** para um determinado lugar e a previsão para 10, 25 e 50 anos (**SL_{10, 25, 50}**) pode ser obtido por:

$$\mathbf{SLR_a = SL_{50} - SLR_p \times 50}$$

A previsão de um possível aumento do nível do mar para a costa cearense foi de 40 mm/ano ou 0,040 m/ano nos próximos 50 anos. Assim, o **SL** para 10 anos ficou em torno de 0,8mm/ano obtido por uma regra de três simples. O **SL** para 25 anos foi de 20 mm/ano. O nível do mar presente – **SLR_p** foi obtido no banco de dados da Companhia DOCAS do Ceará (Porto do Mucuripe) e Diretoria Hidroviária de Navegação, dos quais, determinaram em uma média histórica, o valor de 1,58 m. Isso significa que, nas condições atuais, a amplitude de maré (diferença entre a preamar – PM e baixamar – BM) permaneceu com esse valor, oscilando para 1,55 m.

Ferreira *et al* (2006) utilizaram a regra de Bruun (1962) para obter o valor do recuo adicional da linha de costa (R_a), se a tendência atual do aumento do nível do mar continuou durante todo o período estudado através da expressão:

$$R_a = (SLR_a \times L) / (h + D)$$

Onde:

L é a distância horizontal entre os limites superior e inferior do perfil de praia

h é a profundidade de fechamento do perfil de praia (medido abaixo do nível médio do mar, MSL)

D elevação da duna (medida acima do MSL)

Os valores do L , h e D foram aplicados diferentemente, adquiridos pela média dos Pontos pertencentes a cada praia. Por exemplo, o comprimento da praia (L) se deu com as cotas dos perfis para os anos de 2011 e 2012, desde a base da duna até a antepraia, em média de 172.416 mm (Prainha), 108.969 mm (Japão) e 171630 mm (Porto das Dunas). . Da mesma forma se deu com a elevação da Duna (D), com cotas entre a base da duna e crista da duna, com os respectivos valores: 3.992 mm (Prainha); 5.139 mm (Japão) e; 5.083 mm (Porto das Dunas). A profundidade de fechamento (Hallermeier, 1981) considerada foi a de 7,5 m obtidas por Albuquerque (2009) e Gomes(2013) para a praia do Futuro, próxima a área de estudo.

Destaca-se que para costas sofrendo recuo da linha de costa ou dinâmica a estabilidade, a linha de ajuste *set-back* (S_{50C}) é dada por:

$$S_{50C} = S_{50} + R_a$$

Em zonas costeiras com estabilidade dinâmica, uma vez que, $S_{50} = S_0$, a linha de ajustamento para ASLR move-se a uma distância igual a R_a . Para trechos costeiros submetidos a uma tendência acrescional, a determinação de um ajustamento de linha não é tão

simples. Para o cenário (A) onde o deslocamento/aumento sentido oceano da linha de costa, devido à acresção é maior do que o deslocamento/diminuição sentido continente causado pelo ASLR, então S_{50c} permanecerá igual a S_0 . Para o cenário (B), onde previu erosão devido ao ASLR (R_a) é maior que o deslocamento esperado da costa para o período de 50 anos (S_{50s}) (**FIGURA 74**). A linha é determinada pelo:

$$S_{50c} = S_0 + R_a - S_{50s}$$

Após esta etapa das linhas de *set-backs* obtidas representam a posição estimada da linha de costa em 50 anos, assumindo um SER igual ao que foi medido para o passado recente ajustado para A adicional erosão associada à ASLR. Este último cálculo envolve a Avaliação de Impactos em Eventos Extremos Associados ao Recuo da Linha de Costa por *Overwash*.

As linhas *set-backs* obtidas (S_{50} e S_{50c}) incorporaram a influência de tempestades dentro do período de 50 anos, uma vez que, incluem em curto prazo, as flutuações da linha de costa. No entanto, o trabalho em questão não somente apenas definiu a posição da linha de costa, mas também definiu a potencial extensão dos riscos costeiros. Nesse sentido, um cenário pessimista deve considerar os efeitos de um evento extremo, logo, um novo ajuste das linhas uma vez definidas podem ser refeitas, através da inclusão de informações do recuo instantâneo da costa por inundação associada aos fenômenos.

7.4 Resultados

7.4.1 Vulnerabilidade a Erosão do litoral de Aquiraz

O litoral de Aquiraz se enquadra bem nesta situação, pois desde a década de 1980, o avanço da urbanização fez com que praias como a Prainha e Porto das Dunas, tornassem destinos turísticos e de lazer, além das segundas-residências e moradias permanentes. No decorrer das décadas, estas praias passaram a sofrer degradações, como retirada da vegetação das margens do rio Catú, terraplanagem de dunas para locação de barracas de praias e construções de pousadas e hotéis, pavimentação da pós-praia para o fluxo de carros e acesso

às praias, passeios de buggies e/ou de carros particulares sobre as dunas e faixa de praia e, por fim, os inúmeros obstáculos através de barramentos dos rios e dos muros impedindo que ventos, rios e as ondas exerçam seu papel de transportador e depositador de areias.

A intensidade das ondas, notadamente, as *swell* foram destacadas como uma das principais indutoras de erosão das praias e, essa atribuição foi bem trabalhada no litoral de Aquiraz, uma vez que, processos dessa natureza ocorrem nos litorais vizinhos (Fortaleza a oeste e Cascavel a leste), resultando em *overtopping* na praia de Iracema e *overwash* na praia da Caponga respectivamente induzidos pela sobrelevação das águas em locais com e sem urbanização.

Mediante tais indicadores (sociais e ambientais) que foi estabelecido critérios de avaliação da vulnerabilidade nas praias de Aquiraz, fazendo uso dos dados medidos em campo e tratados em laboratório e processados em programas computacionais. Assim, na **Figura 79**, foi exposto as seguintes informações:

Na **cota topográfica**, os perfis variaram entre 6,0 e 8,0 metros na praia da Prainha, 5,0 e 9,0 metros na praia do Japão e de 2,0 a 9,0 metros na praia do Porto das Dunas. Esse foi um dado importante, pois a elevação do terreno indicará o grau de vulnerabilidade e, portanto, fez com que equilibrassem os resultados, como foi observado na praia do Japão pela sua expressiva altitude na pós-praia. (**FIGURAS 80 e 81**)

Na **distância à linha de costa**, medida da base da duna frontal à linha d'água, variou de 113 a 170 metros na praia da Prainha, de 101 a 118 metros na praia do Japão e de 49 a 157 metros na praia do Porto das Dunas. Destre estas a faixa de praia o Japão é a mais estreita e, o maior comprimento de faixa do Porto das Dunas, deve-se ao setor que se aproxima da desembocadura do rio Pacoti.

A **amplitude de maré** foi adquirida por estudo anteriormente citados com mais de 50 anos no litoral do Ceará, especificamente, em Fortaleza, determinando que, o valor da maré de sizígia para as praias de Aquiraz ficou entre 3.0 e 3.2 metros. Outra fonte da qual confirma a amplitude de maré está na tábua de maré da Diretoria Hidroviária de Navegação – DHN, medida no porto do Mucuripe. A escolha da maré durante a sizígia deve-se a verificação da sua influência nas ondas *swell* alcançarem o máximo *runup*.

A técnica e aquisição dos dados aplica-se também a **máxima altura da onda**, com exceção, da inclusão dos dados medidos em campo. Os valores variaram entre 0,77 e 0,85 metros na praia da Prainha, entre 0,79 e 0,82 metros na praia do Japão e entre 0,79 e 0,82 metros na praia do Porto das Dunas. Vale lembrar que, os resultados foram medidos no ponto de quebra da onda na preamar de sizígia.

A **taxa de erosão/acresção da linha de costa** teve como período as imagens de 2009 a 2014 através das médias APR's, incluindo período de monitoramento (2010 – 2013). Dessa forma, os valores variaram de -0,14 a -5,91 m/ano na praia da Prainha, -0,96 a -3,97 m/ano na praia do Japão e, -1,17 a -3,23 m/ano na praia do Porto das Dunas. Esse foi um dos critérios mais importantes no resultado final da vulnerabilidade, pois a taxa de erosão, como um processo natural, foi inserida nos dados gerais, porém, também ficou subentendida nas ações antrópicas, quando estas acentuam a erosão local com repercussões de forma degradante.

Quanto aos parâmetros de natureza qualitativa, atribuídas ao **parâmetro da linha de costa, geomorfologia costeira, revestimentos do solo e configuração da duna**, foram caracterizados segundo os registros fotográficos e visualização em campo, bem como, em consultas bibliográficas descritas nos capítulos anteriores. Em campo, foram identificados bancos arenosos na parte mais rasa (em torno de 2,5 metros de profundidade medidos em campo), considerando a transição da zona de *surf* e zona de espraiamento. A energia das ondas foi avaliada segundo aos dados anteriormente citados.

Na **geomorfologia costeira**, na praia da Prainha houve algumas diferenças. No Ponto 01 a caracterização foi de área com dunas, restingas, estuários, aluviões e lagoas, ambiente típico na margem da lagoa do Catú. Os outros dois Pontos foram caracterizados de praias expostas, planícies e dunas. Na praia do Japão, todo o trecho foi caracterizado de praia exposta, com planície e dunas. E, na praia do Porto das Dunas, segue-se com essa mesma caracterização nos Pontos 09 e 10, mas o Ponto 11 tem características iguais ao Ponto 01, pois ambos fazem limites com desembocaduras.

No **parâmetro da linha de costa**, em toda a área a caracterização principal foi a de possuir moderado *fetch*, com moderada plataforma em águas rasas e moderada energia das ondas.

No **revestimento do solo**, a praia da Prainha ficou caracterizada como urbanização rural devido o trecho apresentar formas de uma praia turística, com equipamentos de infraestrutura, e ao mesmo tempo, uma praia tradicional com a presença de pescadores, onde está localizada a associação de pescadores (Z09). Na praia do Japão, os Pontos 04 e 05 ficaram caracterizados como solo não revestido, pois não há ocupação nenhuma neste trecho.

Figura 79 - Dados quantitativos e qualitativos na classificação da vulnerabilidade

DADOS GERAIS	PRAINHA			JAPÃO				PORTO DAS DUNAS			
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
COTA TOPOGRÁFICA (m)	7.732	6.542	6.956	8.051	6.959	6.045	6.033	5.491	2.614	5.157	8.572
DISTÂNCIA À LINHA DE COSTA (m)	113.931	169.293	156.609	112.964	101.974	83.658	91.915	117.374	49.000	147.629	156.200
AMPLITUDE DE MARÉ (m)	3.0 - 3.2	3.0 - 3.2	3.0 - 3.2	3.0 - 3.2	3.0 - 3.2	3.0 - 3.2	3.0 - 3.2	3.0 - 3.2	3.0 - 3.2	3.0 - 3.2	3.0 - 3.2
MÁXIMA ALTURA DA ONDA (m)	0.84	0.81	0.77	0.81	0.81	0.79	0.82	0.82	0.81	0.79	0.78
TAXA DE EROSIÃO/ACRESCÃO (m/ano)	-5,91	-0,14	-0,38	-1,97	-1,61	-3,97	-0,96	-4,13	-1,17	-3,23	-1,89
PARAMETROS DA LINHA DE COSTA	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
GEOMORFOLOGIA COSTEIRA	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5
REVESTIMENTO DO SOLO	4	4	4	3	3	5	5	5	5	5	2
CONFIGURAÇÃO DA DUNA	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	5
AÇÃO ANTRÓPICA	4	4	4	3	3	5	5	5	5	5	3

Fonte: Oliveira Maia, G.G.de (2014)

Figura 80 - Perfil topográfico dos pontos 01 a 06 no período sazonal.

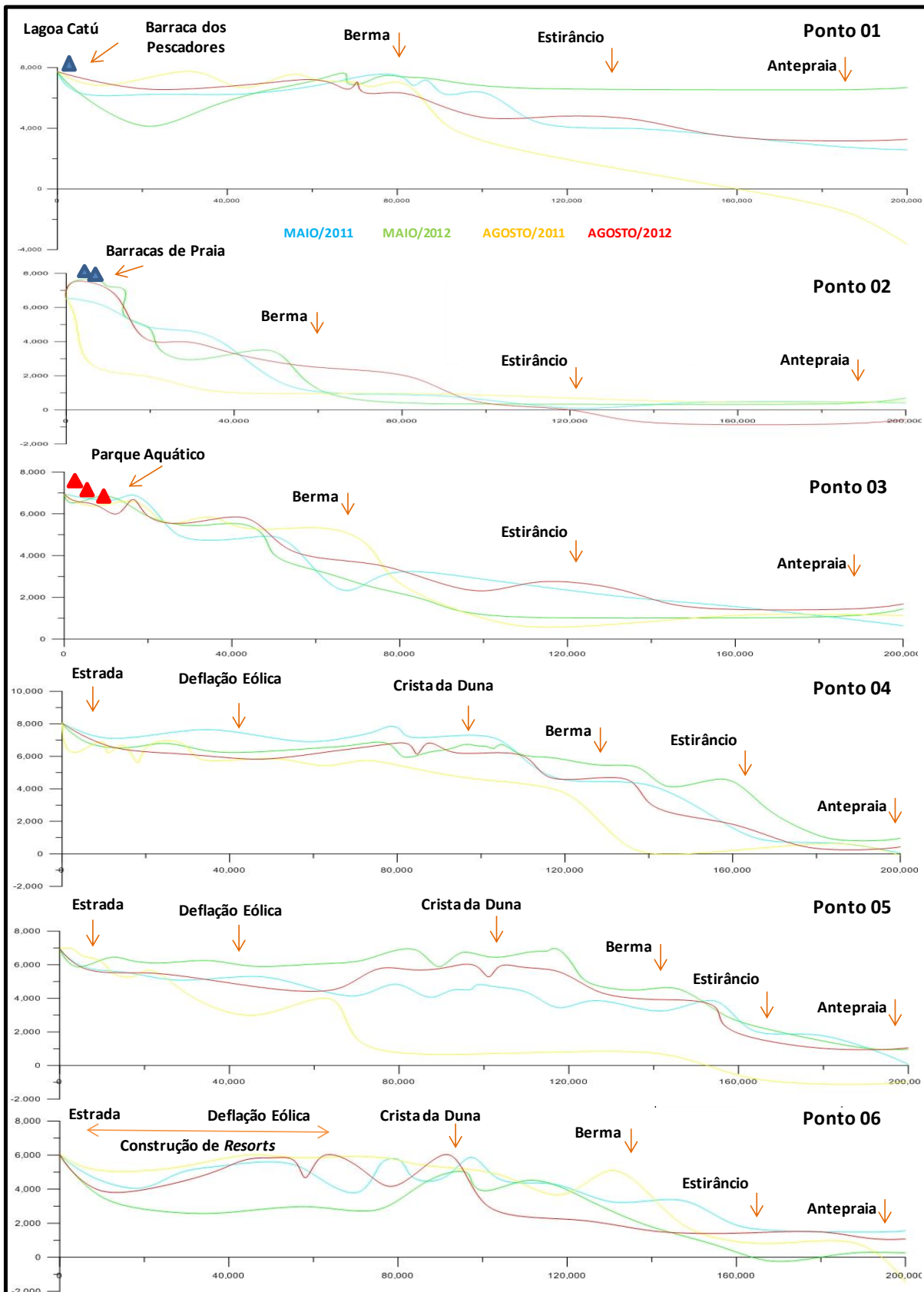
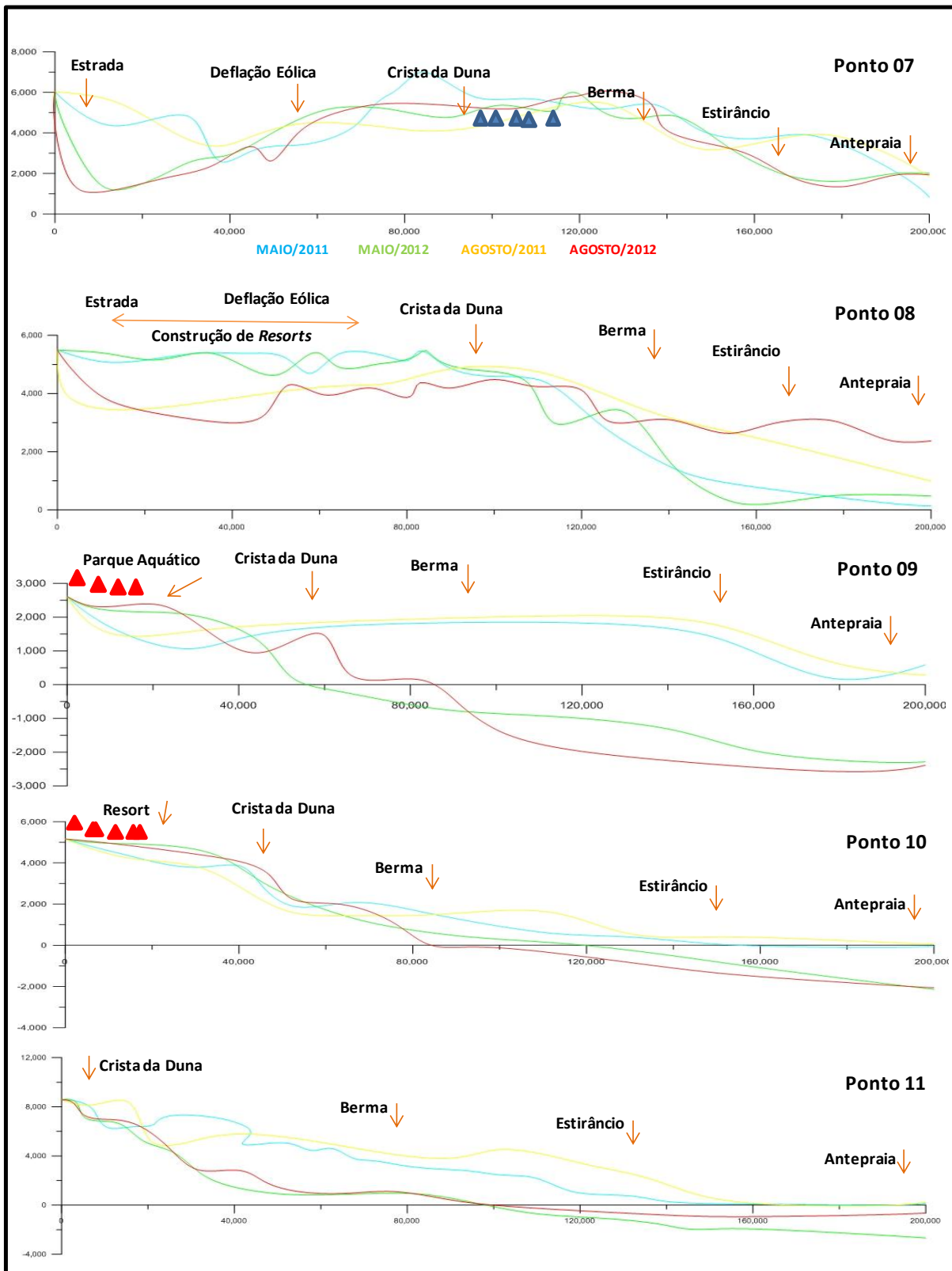


Figura 81 - Perfil topográfico dos pontos 07 a 11 no período sazonal.



Conquanto que, os Pontos 06, 07 e 08, foram caracterizados como urbanismo ou industrial, pois apesar da pouca ocupação, esse trecho tem sido consideravelmente modificado na pós-praia para implantação de grandes estruturas como *resorts* e condomínios residenciais. Na praia do Porto das Dunas, nos Pontos 09 e 10, aplicou-se praia com urbanismo ou industrial e, nesse caso, é o trecho mais fidedigno com esse tipo de caracterização, na medida em que, trata-se de um complexo turístico e industrial do litoral de Aquiraz. Em contrapartida, o Ponto 11, caracterizou-se como vegetação rasteira e solo cultivado, pois nesse trecho não tem ocupação, com vasta planície a retaguarda da duna frontal.

Na **configuração da duna**, a praia da Prainha ficou caracterizada como dunas baixas, sem *overwash*, com ocupação fixa. Vale ressaltar que foi verificado o escoamento das ondas, no barramento natural pela duna, em frente à desembocadura do Catú, em dezembro de 2010. Na praia do Japão, nos Pontos 04 e 05 foram caracterizados por dunas médias, largas, descontínuas, sem ocupação fixa, enquanto que os Pontos 06, 07 e 08 foram caracterizados com ambiente sem dunas ou descontínuas, com *overwash*, com ocupação fixa maciça. As informações contidas nesse nível de vulnerabilidade podem ser interpretadas da seguinte maneira: a ocorrência do *overwash* como ele é tratado não foi verificado nas dunas frontais, mas as ondas conseguem escoar após a berma atingindo a base da duna frontal. E quanto a ocupação maciça, está relacionada a imensa área que foi cercada por muros e/ou onde está havendo construções de grande impacto ao ambiente. Na praia do Porto das Dunas, os Pontos 09 e 10, enquadram-se bem na caracterização de ambiente sem dunas ou descontínuas, com *overwash*, com ocupação fixa maciça, exceto a ocorrência de *overwash*, que foi registrado no *spit* arenoso da desembocadura do Pacoti. E, o Ponto 11 foi caracterização como ambiente com dunas médias, largas, descontínuas, sem ocupação fixa.

Nas **ações antrópicas**, a praia da Prainha, todo o trecho estudado teve característica de intervenções com estruturas com evidência de redução nas fontes sedimentares. Na praia do Japão, nos Pontos 04 e 05, foram caracterizados por um ambiente sem intervenções e com evidência de redução nas fontes sedimentares. Por outro lado, os Pontos 06, 07 e 08 foram caracterizados como ambientes que possui intervenções com estruturas de redução da posição da linha de costa. Na praia do Porto das Dunas, seguiu-se com as mesmas características anteriormente tratada, com maior aplicabilidade aos Pontos 09 e 10. No ponto 11, a caracterização se deu em sem intervenções com evidência de redução nas fontes sedimentares.

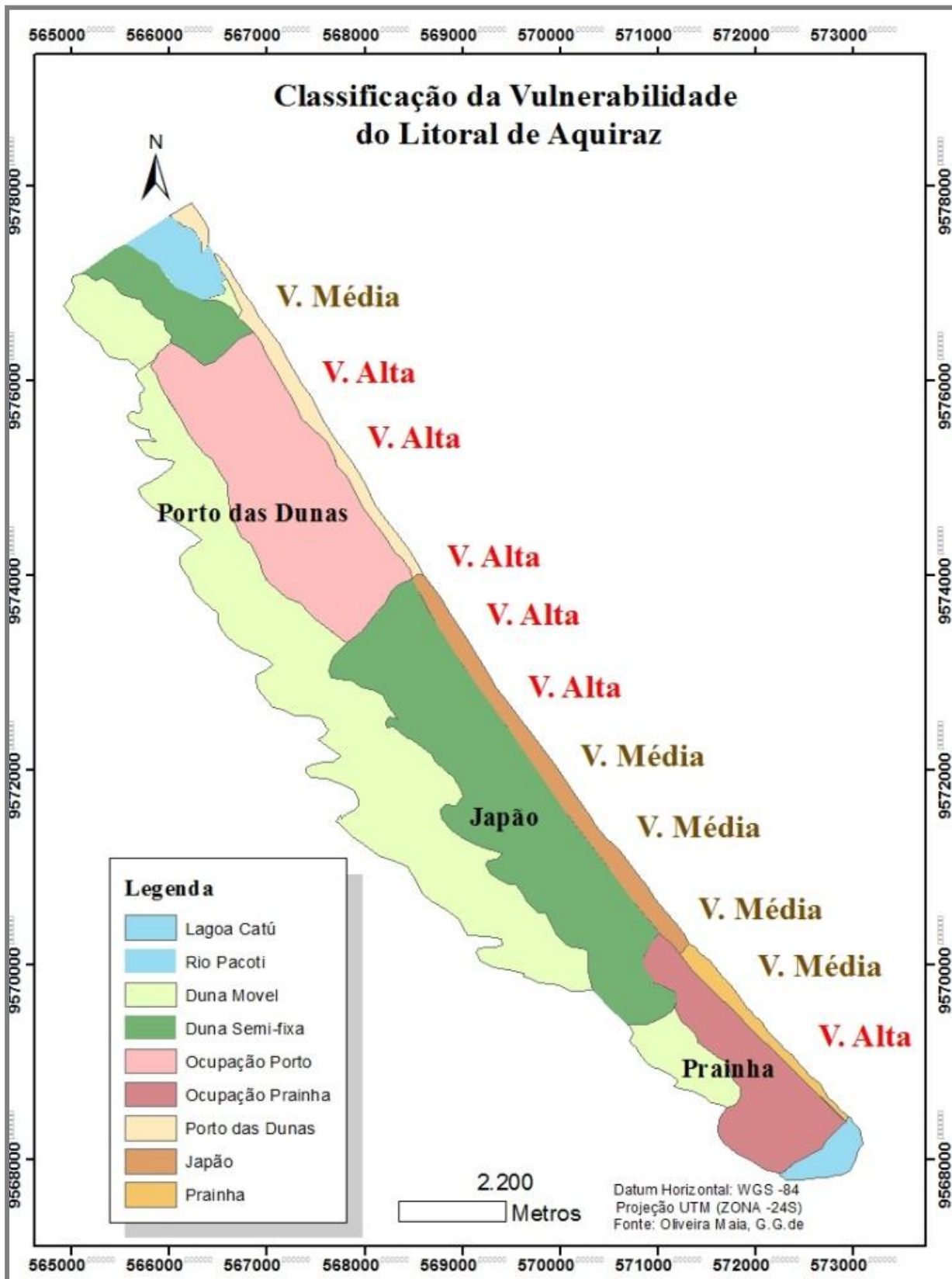
A Classificação final da vulnerabilidade das praias da Prainha, do Japão e do Porto das Dunas está descritas na **Figura 82**, da qual gerou o **mapa** de vulnerabilidade à erosão. (**FIGURA 83**)

Figura 82 - Classificação da vulnerabilidade das praias de Aquiraz

Caracterização Ambiental	PRAINHA			JAPÃO				PORTO DAS DUNAS			
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
COTA TOPOGRÁFICA	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4
DISTÂNCIA À LINHA DE COSTA	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3
AMPLITUDE DE MARÉ	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
MÁXIMA ALTURA DA ONDA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TAXA DE EROSIÃO/ACRESCÇÃO	5	2	2	3	3	4	2	4	2	4	3
PARAMETROS DA LINHA DE COSTA	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
GEOMORFOLOGIA COSTEIRA	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5
REVESTIMENTO DO SOLO	4	4	4	3	3	5	5	5	5	5	2
CONFIGURAÇÃO DA DUNA	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	5
MEDIA	3,555556	3,111111	3,111111	3	3	3,444444	3,222222	3,444444	3,444444	3,44444444	3,222222
AÇÕES ANTRÓPICAS	4	4	4	3	3	5	5	5	5	5	3
MEDIA PONDERADA (6.a + 4.b) / 10	3,733333	3,466667	3,466667	3	3	4,066667	3,933333	4,066667	4,066667	4,06666667	3,133333
CLASSIFICAÇÃO	ALTA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	MÉDIA

Fonte: Oliveira Maia, G.G.de (2014)

Figura 83 - MAPA DE VULNERABILIDADE DAS PRAIAS DE AQUIRAZ



7.4.2 Análise de riscos e projeções

Para o período de retorno de 10 anos, na praia da Prainha, as médias AEPRs foram negativas para todos os transectos, com a única exceção, o transecto T17. Os valores variaram entre 0,09 m/ano (T17) a -7,41 m/ano (T27). Por todo o período estudado, a erosão esteve presente e progressiva, com as máximas no período 2013-2014. O único período em que houve progradação foi de 1958-2014, no transectos T01 ao T17. Os valores da variação da linha de costa (S_{10}) variaram de 1,00 m/ano a -74 m/ano, comportando-se como uma praia em retrogradação (**FIGURA 84**). Esses valores vão aumentando, à medida que, a ocupação ou outras formas de uso estão presentes. O recuo adicional (R_a) foi de -0,226 metros. (**MAPA-FIGURA 85**)

A partir deste dado, foi estabelecido o recuo da linha de costa ajustada (S_{50C}). Nas condições de uma elevação do nível do mar e eventos de alta energia, a Prainha após 10 anos, vai ter uma linha de costa recuada entre -5,9 a -74,4 metros.

Para o período de retorno de 25 anos, na praia da Prainha, o (S_{25}) teve valores que variaram entre -2,3 m/ano (T17) a -185,4 m/ano (T27). Destaque também pode ser dado ao transecto T11, que teve valor -141,1 m/ano, próximo ao Ponto 02, onde ficam o comércio e um fluxo maior de movimentação de areias pelos carros e manutenção das barracas instaladas na berma. O recuo adicional (R_a) foi de -0,588 m. (**FIGURA 85**).

Nas condições de uma elevação do nível do mar e eventos de alta energia (S_{25C}), a Prainha após 25 anos, terá um recuo da linha de costa entre os valores -14,8 m/ano (T14) a -185,9 m/ano (T27). (**MAPA-FIGURA 86**)

Para o período de retorno de 50 anos, na praia da Prainha, a situação é bem mais crítica que as praias posteriores. O (S_{50}) variou entre, 4,6 m/ano (T17) a -370,7 m/ano (T27). Dos transectos T07 ao T13, a retrogradação também é bem significativa e concentrada, variando de -216,8 m/ano (T07) a -282,1 m/ano (T11). O recuo adicional (R_a) foi de -1,555 m. A partir deste dado que o recuo da linha de costa ajustada (S_{50C}) foi possível.

Nas condições de uma elevação do nível do mar e eventos de alta energia, a Prainha após 50 anos, vai ter uma linha de costa recuada entre -29,6 m/ano (T04) a -371,9 m/ano (T27). (**FIGURA 87**)

Figura 84 - Valores das médias AEPRs e o recuo adicional ajustado da praia da Prainha para os retornos de 10, 25 e 50 anos.

Transectos	EPR 1958 - 2014	EPR 1988 - 2014	EPR 1999 - 2014	EPR 2009 - 2014	EPR 2013 - 2014	AEPR - SER	S10	Ra10	S10C	S25	Ra25	S25C	S50	Ra50	S50c
T1	1,56	-0,11	-1,36	-0,60	-3,61	-0,82	-8	-0,226	-8,5	-21	-0,588	-21,2	-41	-1,165	-42,4
T2	1,65	-0,25	-1,02	-0,47	-5,25	-1,07	-11	-0,226	-10,9	-27	-0,588	-27,3	-53	-1,165	-54,6
T3	1,56	-0,33	-0,87	-0,48	-5,65	-1,15	-12	-0,226	-11,8	-29	-0,588	-29,4	-58	-1,165	-58,9
T4	1,51	-0,39	-0,58	-0,46	-2,92	-0,57	-6	-0,226	-5,9	-14	-0,588	-14,8	-28	-1,165	-29,6
T5	1,47	-0,43	-0,59	-0,15	-6,43	-1,23	-12	-0,226	-12,5	-31	-0,588	-31,2	-61	-1,165	-62,5
T6	1,44	-0,92	-0,89	-1,29	-13,63	-3,06	-31	-0,226	-30,8	-76	-0,588	-77,0	-153	-1,165	-154,1
T7	1,29	-0,88	-0,99	-1,33	-19,77	-4,34	-43	-0,226	-43,6	-108	-0,588	-109,0	-217	-1,165	-218,0
T8	1,37	-0,62	-1,28	-0,20	-19,65	-4,08	-41	-0,226	-41,0	-102	-0,588	-102,5	-204	-1,165	-205,0
T9	1,31	-0,92	-1,51	-1,27	-19,26	-4,33	-43	-0,226	-43,5	-108	-0,588	-108,8	-217	-1,165	-217,7
T10	1,23	-0,09	-2,13	-2,66	-21,30	-4,99	-50	-0,226	-50,1	-125	-0,588	-125,3	-250	-1,165	-250,7
T11	1,33	0,57	-2,44	-1,56	-26,11	-5,64	-56	-0,226	-56,6	-141	-0,588	-141,6	-282	-1,165	-283,3
T12	1,42	0,77	-2,69	-0,86	-23,75	-5,02	-50	-0,226	-50,4	-126	-0,588	-126,1	-251	-1,165	-252,3
T13	1,14	0,73	-3,04	0,47	-13,60	-2,86	-29	-0,226	-28,8	-72	-0,588	-72,1	-143	-1,165	-144,2
T14	1,07	-0,44	-2,90	-0,36	-4,83	-1,49	-15	-0,226	-15,1	-37	-0,588	-37,9	-75	-1,165	-75,8
T15	0,96	0,09	-1,65	-1,50	-1,63	-0,75	-7	-0,226	-7,7	-19	-0,588	-19,2	-37	-1,165	-38,5
T16	0,52	0,05	-1,42	-0,69	-2,29	-0,77	-8	-0,226	-7,9	-19	-0,588	-19,7	-38	-1,165	-39,5
T17	0,07	-0,95	-2,17	1,69	1,82	0,09	1	-0,226	0,7	2	-0,588	1,7	5	-1,165	3,4
T18	-0,16	-1,41	-3,02	0,09	-1,37	-1,17	-12	-0,226	-12,0	-29	-0,588	-29,9	-59	-1,165	-59,9
T19	-0,13	-1,03	-2,22	-0,22	-1,29	-0,98	-10	-0,226	-10,0	-24	-0,588	-25,0	-49	-1,165	-50,1
T20	-0,11	-0,67	-1,70	-0,17	-6,43	-1,82	-18	-0,226	-18,4	-45	-0,588	-46,0	-91	-1,165	-92,0
T21	-0,16	-0,94	-2,33	-0,62	-2,94	-1,40	-14	-0,226	-14,2	-35	-0,588	-35,5	-70	-1,165	-71,1
T22	-0,50	-0,65	-2,38	-0,16	-8,28	-2,39	-24	-0,226	-24,2	-60	-0,588	-60,4	-120	-1,165	-120,9
T23	-0,91	-1,09	-1,30	-1,39	-20,76	-5,09	-51	-0,226	-51,1	-127	-0,588	-127,8	-255	-1,165	-255,7
T24	-0,75	-1,33	-1,43	-1,14	-25,99	-6,13	-61	-0,226	-61,5	-153	-0,588	-153,8	-306	-1,165	-307,6
T25	-0,47	-0,62	-0,92	2,79	-16,56	-3,16	-32	-0,226	-31,8	-79	-0,588	-79,5	-158	-1,165	-159,0
T26	-0,45	-1,54	-2,91	0,38	-18,10	-4,52	-45	-0,226	-45,5	-113	-0,588	-113,7	-226	-1,165	-227,4
T27	-0,86	-1,87	-3,14	-3,01	-28,19	-7,41	-74	-0,226	-74,4	-185	-0,588	-185,9	-371	-1,165	-371,9

Figura 86- Valores das médias AEPRs e o recuo adicional ajustado da praia do Japão para os retornos de 10, 25 e 50 anos.

Transectos	EPR 1958 - 2014	EPR 1988 - 2014	EPR 1999 - 2014	EPR 2009 - 2014	EPR 2013 - 2014	AEPR - SER	S10	Ra10	S10C	S25	Ra25	S25C	S50	Ra50	S50C
T1	1,21	-0,43	-0,95	-1,98	-9,49	-2,33	-23	-0,129	-23,4	-58	-0,334	-58,5	-116	-0,664	-117,1
T2	1,22	-0,20	-0,92	-2,83	-9,45	-2,44	-24	-0,129	-24,5	-61	-0,334	-61,2	-122	-0,664	-122,5
T3	1,29	-0,10	0,19	-2,13	-4,65	-1,08	-11	-0,129	-10,9	-27	-0,334	-27,3	-54	-0,664	-54,7
T4	1,46	-0,23	-0,99	-1,76	-2,32	-0,77	-8	-0,129	-7,8	-19	-0,334	-19,5	-38	-0,664	-39,1
T5	1,29	-0,05	-0,85	-2,53	-1,18	-0,66	-7	-0,129	-6,8	-17	-0,334	-16,9	-33	-0,664	-33,9
T6	1,40	0,00	-0,76	-1,43	-1,56	-0,47	-5	-0,129	-4,8	-12	-0,334	-12,1	-24	-0,664	-24,2
T7	1,36	0,50	-0,48	-0,76	-3,47	-0,57	-6	-0,129	-5,8	-14	-0,334	-14,6	-29	-0,664	-29,2
T8	1,29	-0,36	-0,27	-1,37	-4,61	-1,06	-11	-0,129	-10,8	-27	-0,334	-26,9	-53	-0,664	-53,9
T9	1,46	-0,44	-0,27	-1,97	-7,90	-1,82	-18	-0,129	-18,4	-46	-0,334	-45,9	-91	-0,664	-91,9
T10	1,33	-0,67	-0,34	-0,85	-7,29	-1,56	-16	-0,129	-15,8	-39	-0,334	-39,4	-78	-0,664	-78,9
T11	1,44	-0,40	-1,83	-1,99	-10,16	-2,59	-26	-0,129	-26,0	-65	-0,334	-65,0	-129	-0,664	-130,1
T12	1,51	0,46	-1,86	-1,52	-10,17	-2,32	-23	-0,129	-23,3	-58	-0,334	-58,2	-116	-0,664	-116,5
T13	1,56	0,20	-1,69	-1,64	-11,09	-2,53	-25	-0,129	-25,4	-63	-0,334	-63,6	-127	-0,664	-127,3
T14	1,57	0,29	-1,13	-0,83	-3,83	-0,79	-8	-0,129	-8,0	-20	-0,334	-20,0	-39	-0,664	-40,0
T15	1,75	-0,82	-1,17	-1,27	-0,58	-0,42	-4	-0,129	-4,3	-10	-0,334	-10,8	-21	-0,664	-21,6
T16	1,78	-0,27	-1,34	-1,64	-0,61	-0,42	-4	-0,129	-4,3	-10	-0,334	-10,7	-21	-0,664	-21,5
T17	1,63	0,33	-0,93	-0,85	-0,24	-0,01	0	-0,129	-0,2	0	-0,334	-0,6	-1	-0,664	-1,3
T18	1,59	0,10	-1,97	-0,87	-2,03	-0,64	-6	-0,129	-6,5	-16	-0,334	-16,2	-32	-0,664	-32,5
T19	1,65	0,22	-2,26	-1,33	-1,23	-0,59	-6	-0,129	-6,0	-15	-0,334	-15,1	-30	-0,664	-30,2
T20	1,67	0,18	-1,95	-0,12	-1,85	-0,41	-4	-0,129	-4,3	-10	-0,334	-10,7	-21	-0,664	-21,4
T21	1,77	0,33	-1,16	0,29	-4,22	-0,60	-6	-0,129	-6,1	-15	-0,334	-15,3	-30	-0,664	-30,6
T22	1,66	0,03	-1,18	-0,01	-6,73	-1,25	-12	-0,129	-12,6	-31	-0,334	-31,5	-62	-0,664	-63,0
T23	1,61	0,08	-1,59	-0,60	-8,76	-1,85	-19	-0,129	-18,6	-46	-0,334	-46,6	-93	-0,664	-93,3
T24	1,65	-0,26	-1,82	-0,99	-2,86	-0,86	-9	-0,129	-8,7	-21	-0,334	-21,7	-43	-0,664	-43,5
T25	1,58	-0,72	-2,44	-1,80	-1,79	-1,03	-10	-0,129	-10,5	-26	-0,334	-26,2	-52	-0,664	-52,4
T26	1,64	-0,22	-1,50	-3,53	-4,84	-1,69	-17	-0,129	-17,0	-42	-0,334	-42,6	-85	-0,664	-85,2

Tabela 88 - Valores das médias AEPRs e o recuo adicional ajustado da praia do Porto das Dunas para os retornos de 10, 25 e 50 anos.

Transecto	EPR 1958 - 2014	EPR 1988 - 2014	EPR 1999 - 2014	EPR 2009 - 2014	EPR 2013 - 2014	AEPR - SER	S10	Ra10	S10C	S25	Ra25	S25C	S50	Ra50	S50C
T1										-58,20	-0,702	-58,90	-116,4	-1,381	-117,8
T2	0,71	-1,41	-2,67	-0,53	-3,85	-1,55	-15,5	-0,27	-15,77	-60,90	-0,702	-61,60	-121,8	-1,381	-123,2
T3	0,55	-0,20	-3,66	-1,18	-6,56	-2,21	-22,10	-0,270	-22,37	-27,00	-0,702	-27,70	-54,0	-1,381	-55,4
T4	0,52	-0,26	-2,33	-1,67	-8,91	-2,53	-25,30	-0,270	-25,57	-19,20	-0,702	-19,90	-38,4	-1,381	-39,8
T5	0,50	-0,26	-2,09	-2,46	-11,23	-3,11	-31,08	-0,270	-31,35	-16,60	-0,702	-17,30	-33,2	-1,381	-34,6
T6	0,54	-0,34	-1,93	-2,37	-7,15	-2,25	-22,50	-0,270	-22,77	-11,75	-0,702	-12,45	-23,5	-1,381	-24,9
T7	0,46	-0,13	-1,44	-2,79	-5,55	-1,89	-18,90	-0,270	-19,17	-14,25	-0,702	-14,95	-28,5	-1,381	-29,9
T8	0,62	-0,05	-1,51	-2,81	-3,14	-1,38	-13,78	-0,270	-14,05	-26,60	-0,702	-27,30	-53,2	-1,381	-54,6
T9	0,45	-0,56	-1,21	-2,39	-3,02	-1,35	-13,46	-0,270	-13,73	-45,60	-0,702	-46,30	-91,2	-1,381	-92,6
T10	0,50	-0,88	-1,09	-2,03	-7,01	-2,10	-21,02	-0,270	-21,29	-39,10	-0,702	-39,80	-78,2	-1,381	-79,6
T11	0,58	-0,86	-0,85	-2,03	-4,96	-1,62	-16,24	-0,270	-16,51	-64,70	-0,702	-65,40	-129,4	-1,381	-130,8
T12	0,58	-0,01	0,05	-1,98	-3,47	-0,97	-9,66	-0,270	-9,93	-57,90	-0,702	-58,60	-115,8	-1,381	-117,2
T13	0,52	-0,07	-1,07	-1,58	-2,78	-1,00	-9,96	-0,270	-10,23	-63,30	-0,702	-64,00	-126,6	-1,381	-128,0
T14	0,69	-0,21	-1,79	-1,41	-2,21	-0,99	-9,86	-0,270	-10,13	-19,65	-0,702	-20,35	-39,3	-1,381	-40,7
T15	0,64	-0,16	-1,93	-1,44	-8,04	-2,19	-21,86	-0,270	-22,13	-10,45	-0,702	-11,15	-20,9	-1,381	-22,3
T16	0,47	-0,05	-2,03	-1,50	-10,40	-2,70	-27,02	-0,270	-27,29	-10,40	-0,702	-11,10	-20,8	-1,381	-22,2
T17	0,59	-0,57	-2,52	-1,03	-10,50	-2,81	-28,06	-0,270	-28,33	-0,30	-0,702	-1,00	-0,6	-1,381	-2,0
T18	0,60	-1,06	-2,12	-1,13	-13,79	-3,50	-35,00	-0,270	-35,27	-15,90	-0,702	-16,60	-31,8	-1,381	-33,2
T19	0,84	-1,15	-1,74	-0,30	-9,04	-2,28	-22,78	-0,270	-23,05	-14,75	-0,702	-15,45	-29,5	-1,381	-30,9
T20	0,80	-1,14	-0,80	-0,65	-8,08	-1,97	-19,74	-0,270	-20,01	-10,35	-0,702	-11,05	-20,7	-1,381	-22,1
T21	0,77	-1,12	-1,18	-0,32	-1,47	-0,66	-6,64	-0,270	-6,91	-14,95	-0,702	-15,65	-29,9	-1,381	-31,3
T22	0,93	-0,74	-0,84	-0,87	-5,09	-1,32	-13,22	-0,270	-13,49	-31,15	-0,702	-31,85	-62,3	-1,381	-63,7
T23	1,00	-0,58	-0,71	-1,33	-4,05	-1,13	-11,34	-0,270	-11,61	-46,30	-0,702	-47,00	-92,6	-1,381	-94,0
T24	1,11	-0,46	-1,91	-1,91	-2,10	-1,05	-10,54	-0,270	-10,81	-21,40	-0,702	-22,10	-42,8	-1,381	-44,2

MAPAS DE RISCO À EROSÃO DAS PRAIAS DE AQUIRAZ

Figura 85 - Mapa de risco à erosão das praias de Aquiraz com projeção de 10 anos

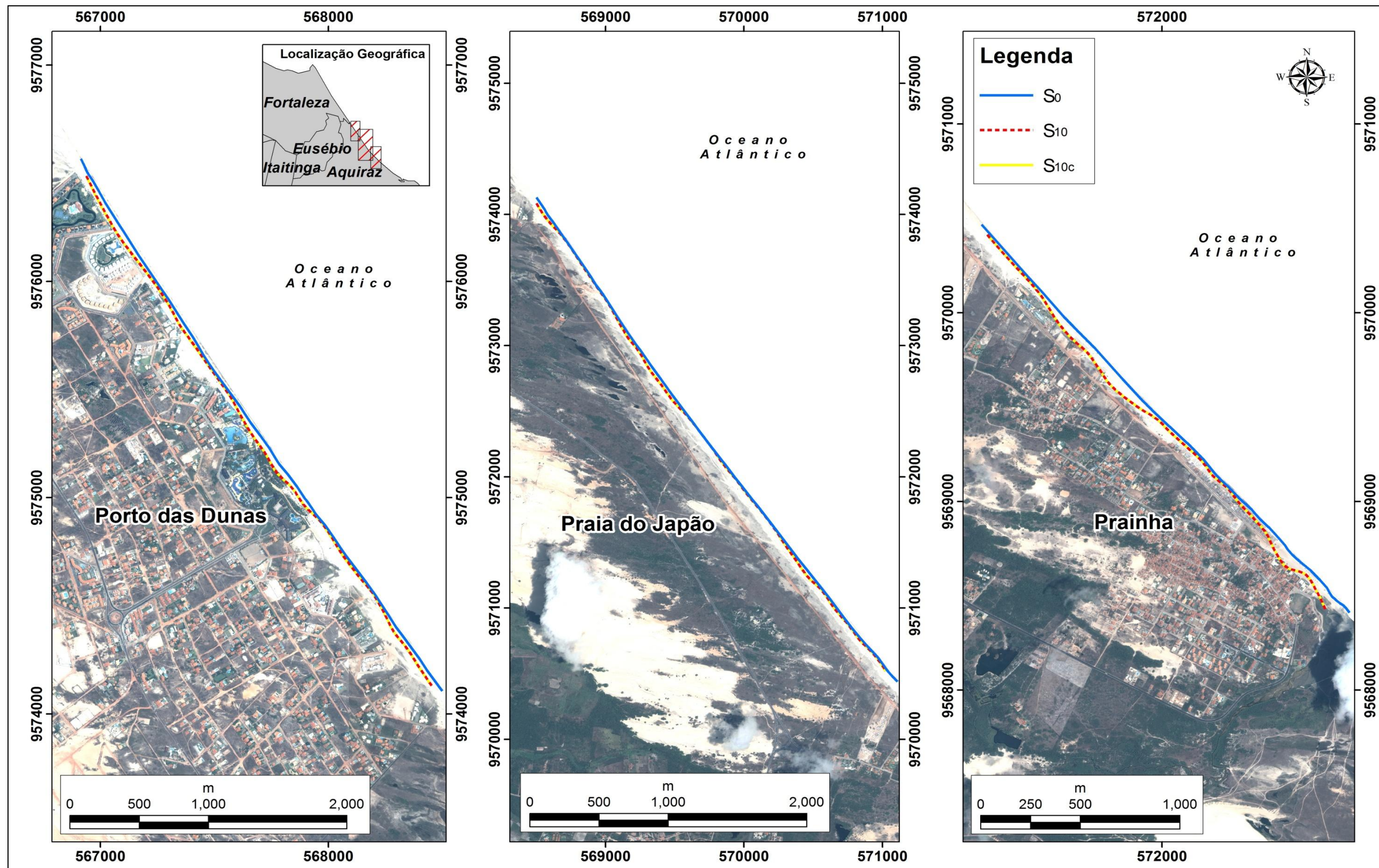


Figura 87 - Mapa de risco à erosão das praias de Aquiraz com projeção de 25 anos

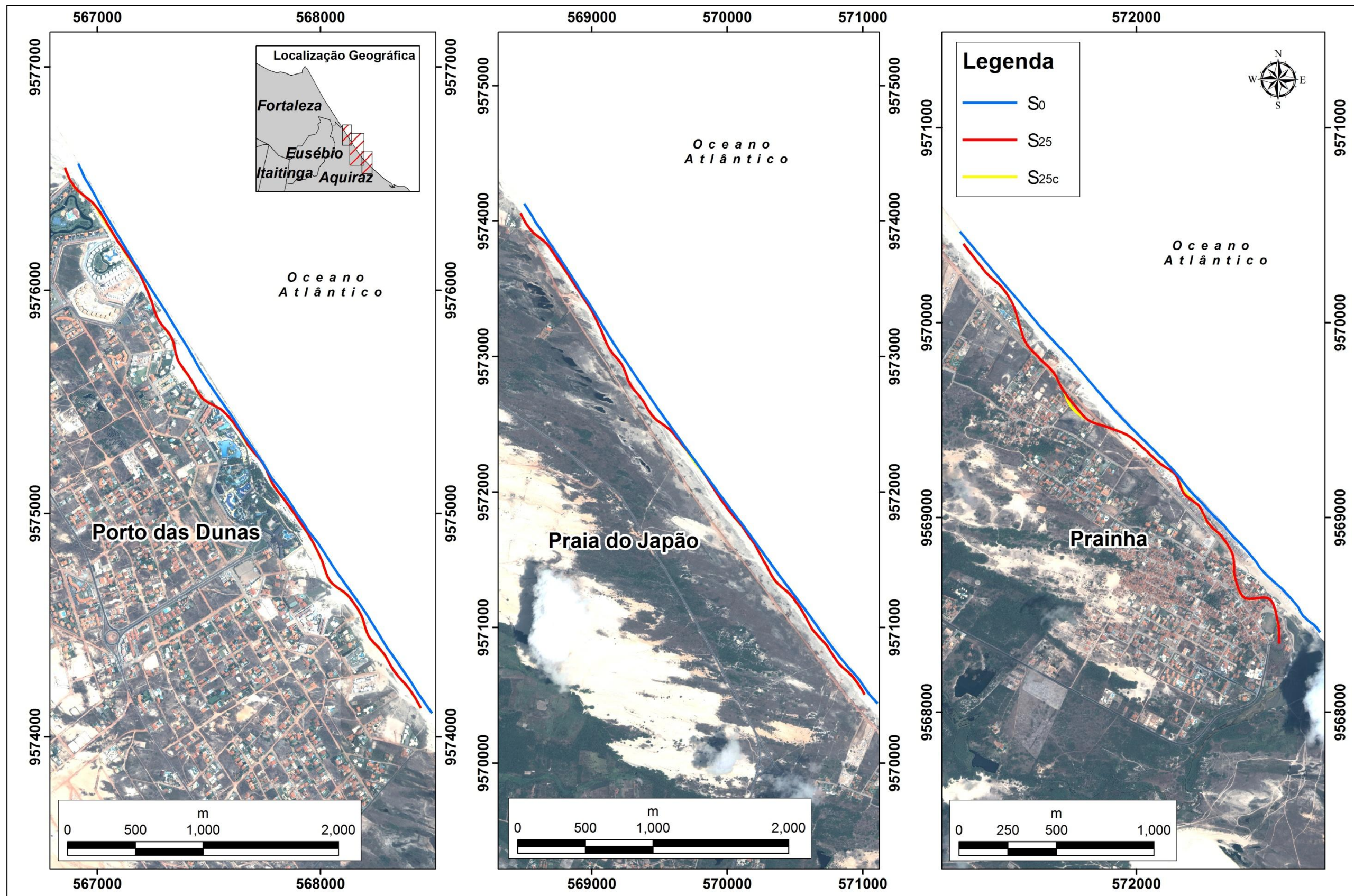
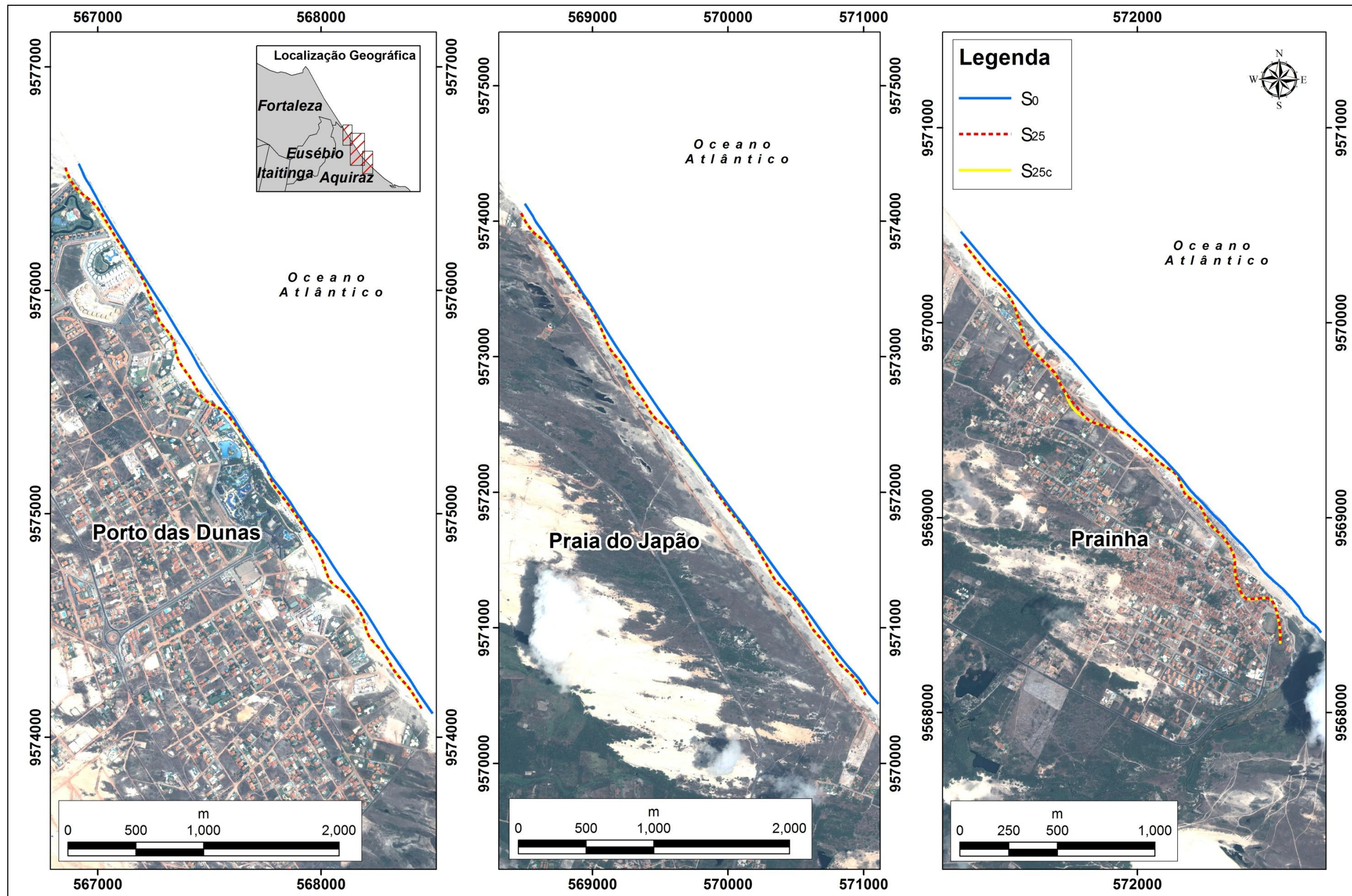


Figura 89 - Mapa de risco à erosão das praias de Aquiraz com projeção de 50 anos



Na praia do Japão, as médias AEPRs tiveram valores abaixo quando comparadas a praia da Prainha. A retrogradação se dá em no início da praia (T01 e T02) e na parte central da mesma (T11 ao T13), justamente onde estão localizadas obras de construção de condomínios e *resorts*. Entre os períodos estudados, apenas 1958-2014 que teve progradação da linha de costa e, a partir do período 1988-2014 que se deu início a retrogradação da linha de costa, notadamente nos primeiros e últimos transectos. **(FIGURA 86)**

Dessa forma, para o período de retorno de 10 anos, o (S_{10}) variou de -0,1 m/ano (T17) a -25,9 m/ano (T11). O recuo adicional (R_a) foi de -0,130 m. Nas condições de uma elevação do nível do mar e eventos de alta energia (S_{10C}), a praia do Japão após 10 anos, terá um recuo da linha de costa entre os valores - 0,25 m/ano (T17) a - 26,01 m/ano (T11). Apenas entre os transectos T14 e T21 em que os valores foram os mais baixos, variando de -0,25 m/ano (T17) e -7,99 (T14).

Para o período de retorno de 25 anos, o S_{25} variou de -0,30 m/ano (T17) a - 64,70 m/ano (T11). Valores próximos deste último foram encontrados nos transectos (T13) com -63,30 m/ano, (T02) com - 60,90 m/ano e (T01) com -58,20 m/ano. O recuo adicional (R_a) subiu para - 0,334 m, aumentando conseqüentemente os valores anteriores agravando o processo erosivo por retrogradação. Assim, podem ser encontrados recuos (S_{25C}) de - 65,00 m/ano no T11; - 63,60 m/ano no T13; - 61,20m/ano no T02 e -58,20 m/ano no T12. Percebe-se com esses resultados que a parte mais central da praia encontra-se mais comprometida.

Para o período de retorno de 50 anos, o S_{50} teve variações que foram desde -23,50 m/ano no transecto T06 a -129,40 m/ano no transecto T11. Valores semelhantes a este último, foram encontrados também nos transectos T01 (-116,40 m/ano), T02 (-121,80 m/ano), T12 (-115,80 m/ano) e T13 (126,60 m/ano). O recuo adicional (Ra) teve valor significativo em -0,664 m. Portanto, em casos de eventos de alta energia ou na ocasião de marés meteorológicas (S_{50C}), a praia estará em risco à erosão e possíveis inundações, na medida em que, o recuo ficou entre -21,40 m/ano no (T20) e -130,10 m/ano no (T11).

Como se trata de uma praia com início de ocupação, a erosão é algo preocupante, pois com o avanço das construções e demais ocupações, as consequências serão mais impactantes do que se imagina. Uma das razões para os valores serem abaixo do que foi pontualizado na Prainha está relacionada à topografia, pois a altura da duna e inclinação da praia foi favorável à minimização dos danos provocados pelos eventos futuros.

Na praia do Porto das Dunas, as médias AEPRs foram acima da praia do Japão, porém, ficou abaixo da praia da Prainha. Portanto, é uma praia que ficou intermediária no processo erosivo de Aquiraz quando comparada às demais. Os valores foram bem condizentes aos três Pontos monitorados que estão distribuídos no início, central e nos últimos transectos.

Dessa forma, a variação se deu entre -6,60 m/ano (T21) e -35,0 m/ano (T18). A maioria dos transectos apresentou valores entre -20,0 m/ano e 29,0 m/ano, ou seja, há um recuo com semelhantes proporções por toda a praia, comprovando que, a urbanização maciça na frente costeira tem gerado impactos negativos. O único período com valores positivos foi de 1958 – 2014. De 1988 em diante, os valores foram crescentes, mas com recuos significativos entre 2009 e 2013.

Para o período de retorno de 10 anos, o S_{10} variou entre -9,64 m/ano (T25) e -35,00 m/ano (T18). Outros valores se encontram entre -20,0 m/ano e -25,0 m/ano. O recuo adicional (Ra) se destacou das praias anteriores, pois suas características físicas geraram um valor -0,270 m, ou seja, acima dos demais para o período tratado. Com isso, o (S_{10C}), para eventuais fenômenos, teve valores que variaram de -6,91 m/ano (T21) a -35,00 m/ano (T18).

Para o período de retorno de 25 anos, o S_{25} obteve valores que foram desde -10,40 m/ano (T16) a -64,70 m/ano (T11). Outros transectos foram significativos como este último, como por exemplo, no transecto (T01) com -58,20 m/ano, transecto (T02) com -63,90 m/ano, transecto (T13) e transecto (T13) com -57,90 m/ano. O recuo adicional (R_a) foi de -0,702 m, valor que dobra as demais praias neste período, devido às características local, principalmente no que diz respeito à elevação da duna e perfil topográfico, pois a duna quase não existe nesta praia, substituída por muros e uma topografia pouco inclinada, o que favorece a entrada de ondas *swell* e futuras inundações.

Os valores do (S_{25c}) variaram de -1,00 m/ano no transecto (T17) até -65,40 m/ano no transecto (T11). Alguns outros transectos se destacam como são os casos do transecto (T02) com -61,60 m/ano, transecto (T13) com -64,00 m/ano e 58,60 m/ano no transecto (T12).

Para o período de retorno de 50 anos, o S_{50} variou entre -20,70 m/ano no transecto (T20) e -129,40 m/ano no transecto (T11). Valores semelhantes a este foram encontrados nos transectos (T01 – T02 – T12 – T13) com recuos de -116,40 m/ano, -121,80 m/ano, -115,80 m/ano e -126,60 m/ano respectivamente. O recuo adicional (R_a) teve valor de -1,381 m. Assim, o (S_{50c}) ficou entre -22,08 m/ano e no transecto (T20) e -130,8 m/ano no transecto (T11). Outros transectos merecem destaque, como por exemplo, transecto (T01) com valor -117,78 m/ano, transecto (T02) com valor -123,18 m/ano, transecto (T13) com valor -127,98 m/ano.

A escolha do método está na confiabilidade e eficácia do mesmo, pois órgãos importantes como a Agência Federal de Gestão de Emergência (*Federal Emergency Management Agency* – FEMA) do Departamento de Segurança Interna dos Estados Unidos definiu, segundo CROWELL *et al* (1999ab), linhas *set-backs* calculadas para um período de retorno de 60 anos para identificar áreas de risco a erosão, que têm como objetivo coordenar as respostas aos desastres que ocorrem no país.

No estudo do litoral de Aquiraz foi aplicado o período de 50 anos, atendendo a metodologia proposta e por ter obtido as imagens com qualidade para tal análise. A partir dessa coleta de material, foi pensado em ampliar as projeções para períodos mais próximos do atual, incluindo mais duas projeções: de 10 e 25 anos. A ideia principal foi de verificar com mais detalhe o comportamento e evolução dessas

praias em cada período, fornecendo medidas gerenciais para um futuro próximo e para as décadas porvindouras.

Trazendo o método para o litoral de Aquiraz, a avaliação do comportamento dessas praias para um período de retorno de 50 anos, mostrou que a área está em risco à erosão, pois conforme as linhas *set-backs* que determinaram o avanço ou recuo da costa, há possibilidades da perda das faixas de praia em média de -142,20 metros, - 60,0 metros e - 60,67 metros, correspondente às praias da Prainha, do Japão e do Porto das Dunas respectivamente. Dentro do período de 10 anos, estas mesmas praias perderão, em torno de, -28,40 metros, -12,01 metros, -18,86 metros. E, por fim, com o período de 25 anos, ocorrerá um recuo, em média de, -71,10 metros, -30,00 metros e -30,39 metros.

Percebe-se com os valores acima que a Prainha é a praia com maior risco, comparada às demais praias. Em seguida, temos as praias do Porto das Dunas e Japão com valores bem semelhantes e, ao mesmo tempo, num risco bem menor dentro do período de 50 anos. Uma análise deve ser feita com relação às praias do Japão e do Porto das Dunas.

Com base nos resultados, a tendência é de que, se a praia da Prainha está erodindo, conseqüentemente, as praias posteriores irão também erodir. Porém, esses mesmos sedimentos que não estão sendo depositados, devem estar sendo ou transportados pela deriva por profundidades maiores, o que vem a ser considerado como área de transição sedimentar, ou está havendo algum obstáculo não bem claro que esteja aprisionando esse material. Com isso, entende-se que, após os barramentos no rio Catú e demais construções na pós-praias e margem do mesmo rio, a partir da década de 1980, tem sido um dos principais motivos para a deficiência atual.

Por outro lado, fazendo uma comparação com a urbanização maciça da praia do Porto das Dunas, a Prainha não deveria sofrer tanta erosão quanto àquela, uma vez que, as intervenções humanas, na faixa de praia, conduzem aos processos erosivos severos e perdas irreversíveis do seu ambiente. Isso vem comprovar que, não são necessariamente as ações antrópicas que irão definir os quadros de impactos que acontecem em qualquer ambiente e, especificamente, na zona costeira. Não se pode também negar que, esses processos artificiais podem acelerar processos naturais que seriam identificados somente a longo prazo, como tem sido avaliado e reavaliado quanto as mudanças climáticas de caráter humano.

A praia do Japão, diferente das demais, por ser “semi-ocupada”, teve seus espaços inicialmente modificados a partir de 2012, o que, até então, não havia nenhuma intervenção neste local. Logo, não há meios de comparação com a praia do Porto das Dunas, porém, os resultados mostram que ambas as linhas de costa recuam linearmente. Vale ressaltar que, apenas no período de retorno de 10 anos, estas duas praias terão uma retrogradação com a diferença de 6,85 metros, enquanto que, no período de 25 e 50 anos, as disparidades serão de apenas 0,30 metros e 0,69 metros respectivamente.

Mediante essa problemática, conforme Ferreira, *et al* (2006), a reaplicação e reavaliação do método deve incorporar tanto novas formulações (se os avanços científicos têm sido feito) e novos dados e informações sobre a área de estudo (por exemplo, atualizada evolução costa, atualizada onda características). Como consequência, o método tal como apresentado aqui é capaz de não produzir apenas linhas de *set-back* iniciais de uso imediato para gestão costeira, mas também as atualizam, a fim de garantir decisões gerenciais futuras com base no melhor conhecimento científico disponível em um tempo determinado.

7.5 Conclusões

- Os métodos apresentados neste capítulo tiveram como objetivo a identificação de áreas vulneráveis e de risco à erosão, definidas em três períodos de retorno (10, 25 e 50 anos), prevendo, portanto, as modificações da linha de costa, seja de ordem natural, seja de ordem antrópica, bem como, os efeitos dos eventos de alta energia em praias com ocupação, sem ocupação e altamente ocupada, com base nos conhecimentos científicos disponíveis e específicos no assunto.

- Os resultados exemplificam praias em processo crescente de erosão, em um ambiente aparentemente com dinâmica equilibrada, mas que, perpassa por carência sedimentar. Através da compilação de dados exaustivamente lembrados em todos os capítulos foi possível determinar especificidades em cada praia com vários níveis de vulnerabilidade e, conseqüentemente, remetem graus de riscos aos processos de erosão e recuo da linha de costa.

- Em nenhum momento do estudo e seus resultados, as praias foram vista com baixa vulnerabilidade e risco, mas variando de média a alta, notadamente, dos

Pontos 06 ao 10, entre as praias do Japão e Porto das Dunas. Inclui-se também, nessa classificação alta, o Ponto 01 na praia da Prainha.

- No quesito risco, a praia da Prainha exibiu resultados mais preocupantes, pois em todos os períodos trabalhados, o recuo superou as praias do Japão e Porto das Dunas. Enquanto que, no quesito vulnerabilidade, apenas o Ponto 01 foi o que apresentou classificação alta. Essas duas análises foram compatíveis, pois buscando características e ponderações em cada praia, acabam complementando as informações.

- Na Praia do Japão com início de ocupação, a erosão é algo preocupante, pois com o avanço das construções e demais ocupações, as consequências serão mais impactantes do que se imagina. Uma das razões para os valores serem abaixo do que foi visto na Prainha, está relacionado à topografia, pois a altura da duna e inclinação da praia foi favorável à minimização dos danos provocados pelos eventos futuros.

- Os mapas de vulnerabilidade e risco foram satisfatórios as expectativas do estudo das praias de Aquiraz, uma vez que, apesar de poucos dados históricos, foi suficiente para um primeiro diagnóstico sobre os eventos de alta energia e sua repercussão em praias arenosas semi-urbanizadas e naturais. Isso não significa que o estudo terminou por aqui, pelo contrário, esse foi o início de posteriores estudos e atualizações dos conhecimentos adquiridos, num trabalho contínuo, na medida em que, novos dados surgirem e métodos adequados servirem de comparação.

- Estas informações são úteis para a comunidade e para o governo, na tomada de decisões, nos planos de desenvolvimento e nos programas de usos da terra. Por causa da variabilidade natural das praias arenosas, da sua natureza particular e sua evolução ao longo do tempo, é muito difícil estabelecer uma feição física como sendo representativa da linha de praia. A feição indicadora da linha de praia deve ser prática, e principalmente, a feição deve existir consistentemente ao longo de toda área investigada.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O litoral de Aquiraz, influenciada pela combinação das ondas e marés, mostrou-se vulnerável aos eventos de alta energia com as ressacas do mar. A presença da duna com alturas consideráveis é um dos fatores principais de proteção dessas praias, tanto na possibilidade de eventos extremos quanto no fornecimento de sedimentos.

A inserção do *overwash*, como um dos principais assuntos, foi a de investigar as possibilidades no litoral de Aquiraz vir a ter, em uma projeção futura, o alcance das ondas (*runup*), sobre as dunas frontais e, quem sabe, sobrepô-las, finalizando em inundações. Alguns trechos apresentam-se predispostos, na medida em que, a erosão e o recuo da linha de costa são um fato percebido nas análises das imagens de satélite multitemporais.

A topografia também corrobora ao avanço e potencial das ondas por ser do tipo ligeiramente plana no estirâncio a ligeiramente inclinada na berma. Esses, dentre outros fatores motivaram o estudo dos processos de *overwash*/ressacas do mar nas praias de Aquiraz. Ademais esta região está na rota de desenvolvimento do turismo, com projetos de construção de resorts e residenciais financiados principalmente pelo capital estrangeiro.

A escolha da área foi motivada pelo interesse de entender, a partir das condições naturais, quais os mecanismos de adaptação ao cenário de aumento dos eventos de alta energia em uma região que passa por um momento de migração da população da capital para moradia, comércio, turismo e lazer nestas praias, e isso, tem trazido sinais de erosão, avanço do mar e modificação morfológica e sedimentar. Essa problemática tem instigado à investigação e análise desses fatores e o que pode ser solucionado por meio de previsão para 10, 25 e 50 anos.

No litoral do município de Aquiraz, pelos poucos trabalhos realizados com praias e dunas frontais, a observação e os registros dos geoindicadores foram determinantes, a fim de comparar a parte empírica e observacional dos dados coletados com os tratados e analisados em laboratório, confirmando e validando os resultados descritos nos capítulos posteriores.

Áreas como a Prainha e Porto das Dunas, consideradas urbanizadas com ocupações de grande porte, tiveram vulnerabilidade não tão significativa, das quais,

mostraram-se tão fragilizadas quanto à praia do Japão, uma vez que é sabido que quanto maior avanço da ocupação, maior seria o impacto local. Esta situação não foi verificada no litoral de Aquiraz. Porém, a tendência para os próximos anos é de uma predisposição a inundações, pois a topografia é mais plana e as dunas são quase que inexistentes substituídas por muros e demais construções.

Com relação ao risco à erosão e inundação, a Prainha é a praia com maior risco, comparada às demais praias. Em seguida, temos as praias do Porto das Dunas e Japão com valores bem semelhantes e, ao mesmo tempo, num risco bem menor dentro do período de 50 anos. Por outro lado, a vulnerabilidade ficou mais equilibrada pelos quesitos que as classificaram, notadamente, a cota topográfica e distância da linha de costa. Resultado disto, maior vulnerabilidade na Praia do Porto das Dunas, seguido da praia do Japão com valores bem semelhantes.

Portanto, a partir desse mostruário de informações, torna-se mais fácil atender e especificar os principais problemas por que passam as praias de Aquiraz, uma vez que, nunca houve um maior detalhamento de dados e resultados na área e, assim, buscar meios mais eficazes e direcionais quanto às tendências erosivas e de riscos futuros de inundações. Não se pode negar a importância do município para o Estado do Ceará, principalmente no que diz respeito ao turismo e lazer, equipamentos econômicos que vem cada vez mais se expandindo para o litoral leste atraindo não somente turistas nacionais e internacionais, mas para também ser um local de residências permanentes como tem sido visto nas últimas décadas.

A hipótese defendida no início da tese é reafirmada aqui, pois como foi proposto que: “As mudanças na linha de costa e os processos erosivos (faixa de praia e dunas frontais) no litoral de Aquiraz têm como principal causa os eventuais fenômenos de origem natural, como as ressacas do mar” foi plausível nos resultados e conclusões das quais tenderam as análises contidas em todos os capítulos.

Porém, é consciente que ao interferir nas dinâmicas naturais das praias e ambientes associados, os processos de erosão e avanço do mar são uma certeza, principalmente quando há deficiência sedimentar devido à ocupação e construções *onshore e offshore*. É neste cenário que o estudo preocupou-se ao longo dos últimos 50 anos, tendo a urbanização papel reforçador no impacto ambiental do litoral de Aquiraz.

São resultados importantes que contribuirão numa melhor gestão do ambiente e em como tomar medidas concretas mediante situações de fragilidades,

vulnerabilidades e riscos a erosão e inundação dessas praias, não somente ao poder público, mas também atingindo o conhecimento a toda a comunidade, pois quanto se tem informação, há mudanças positivas.

9. REFERÊNCIAS

- **AAGAARD, T.(1990). Infragravity waves and nearshore bars in protected, storm dominated coastal environments. *Marine Geology*, 94, 181-203.
[http://dx.doi.org/10.1016/0025-3227\(90\)90069-V](http://dx.doi.org/10.1016/0025-3227(90)90069-V)
- AGUIAR, P.F.; EL-ROBRINI, M.; FREIRE, G.S.S.; CARVALHO, R.G. (2013). Morfodinâmica das praias dominadas por mesomares nas planícies arenosas de Almofala, NW, Ceará (Brasil). *Pesquisas em Geociências*, 40 (1): 61-73. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. Disponível em:
<http://www.ufrgs.br/igeo/pesquisas/4001/5-4001.pdf>
- AHRENDT, K. (2001). Expected effect of climate change on Sylt island:Results from a multidisciplinary German Project. *Climate Research*. Vol. 18: 141–146. Disponível em:
<http://www.int-res.com/articles/cr/18/c018p141.pdf>
- ALBUQUERQUE, M.G. ; CALLIARI, L. J. ; CORREA, I. C. S.; PINHEIRO, L. S. (2009). Morfodinâmica da Praia do Futuro, Fortaleza-CE: uma síntese de dois anos de estudos. *Quaternary and Environmental Geoscience*, v. 2, p. 49-57
<http://www.uece.br/lgco/index.php/publicacoes> .
- ALMEIDA, A. B. (2003). A Gestão do Risco em Sistemas Hídricos – Conceitos e Metodologias Aplicadas a Vales com Barragens, in 6º SILUSBA – Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Cabo Verde, Vol. 3, pp. 647-66. Disponível em: <http://www.civil.ist.utl.pt/~joana/artigos%20risco%20ABA/pub-2003/a%20gest%C3%A3o%20do%20risco%20em%20sistemas%20h%C3%ADricos%20-%20SILUSBA03.pdf>
- ALMEIDA, J.A.C., DALL`AGNOLD, R., OLIVEIRA, D.C. (2006). Geologia, petrografia e geoquímica do Granito Anorogênico Bannach, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará. *Rev. Bras. Geoc.*, 36:282-295. Disponível em:
<http://rbg.sbgeo.org.br/index.php/rbg/article/view/1228>
- ALVES, F.; PINTO, F.T.; FERREIRA, J.C.; (1999) A análise da vulnerabilidade e do risco na zona costeira como contributo para a tomada de decisão. III Congresso de Geografia Portuguesa, Porto, pp, 559-566. Disponível em:
http://www.apgeo.pt/files/section44/1258914716_INFORGEO_12_13_P559a566.pdf
- ALVES-DA-SILVA, A.M.M.; VENTURA, J.E.E.S. (2011) Cartografia da linha de costa: reflexões e propostas. IN: VI Congresso Planeamento e gestão das zonas costeiras dos países de expressão portuguesa. Anais. Ilha de Boa Vista/Cabo Verde. Disponível em:
<ftp://ftp.sp.gov.br/ftpescas/Anais2012ArraialdoCabo.pdf>
- AQUINO, M.C. Evolução e Dinâmica Sócio-Ambiental na praia da Caponga, Cascavel, Ceará, Brasil.(2012) Dissertação (mestrado em Geografia) - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza. Não publicado
- **ARMON, J.W.; McCANN, S.B., (1979), Longshore Variations in shoreline erosion, malpeque barrier system, Prince Edward Island. *The Canadian Geographer / Le Géographe*

canadien, 23: 18–31. doi: 10.1111/j.1541-0064.1979.tb00635.x. Disponível em:
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1541-0064.1979.tb00635.x/abstract>

BATTJES, J.A., 1971, "Run-up Distributions of Waves Breaking on Slopes," J. Waterways, Harbors and Coastal Engr. Div., ASCE, Vol. 97, pp. 91-114.
<https://icce-ojs-tamu.tdl.org/icce/index.php/icce/article/viewFile/5112/4790>

BRANDÃO, R.L. (1998) Diagnóstico geoambiental e os principais problemas de ocupação do meio físico da região metropolitana de Fortaleza. CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, v. 1. Fortaleza. Texto Impresso

BRANCO, M.P.N.C.; LEHUGEUR, L.G.O.; CAMPOS, J.E.G.; NOGUEIRA, S.R.P., (2005) Morfodinâmica das Praias Arenosas à Barlamar e à Sotamar do Promontório Ponta do Iguape – Estado do Ceará – Brasil. Revista de Geologia, Vol. 18, nº 2, 215-229. Disponível em:
http://www.revistadegeologia.ufc.br/documents/revista/2005/19_2005.pdf

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. (2010) Monitoramento Ambiental Integrado e Avaliação dos Processos de Erosão Costeira nos Municípios de Paulista, Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes – PROJETO MAI. Disponível em:
<http://www.prpe.mpf.gov.br/internet/Casos/Erosao-Costeira-Avanco-do-mar>

**BELÉM, A.L. (2007) Impacto das Mudanças Climáticas Globais no Risco de Inundações em Zonas Costeiras. Jornadas Internacionales sobre Gestión del Riesgo de Inundaciones y Deslizamientos de Laderas. Brasil. Disponível em:
<http://hercules.cedex.es/hidraulica/prohimet/Br07/Comunicaciones/Belem.pdf>

BENAVENTE, J.; DEL RÍO, L.; GRACIA, F.J.; MARTÍNEZ-DEL-POZO, J.A. (2006) Coastal flooding hazard related to storms and coastalevolution in Valdelagrana spit (Cadiz Bay Natural Park, SW Spain). *Continental Shelf Research*, 26, 1061-1076. Disponível em:
<http://adsabs.harvard.edu/abs/2006CSR....26.1061B>

BENDER, M.A., T.R. KNUTSON, R.E. TULEYA. (2010). Modeled Impact of Anthropogenic Warming on the Frequency of Intense Atlantic Hurricanes. *Science* 327:454-458. DOI:10.1126/science.1180568 <http://www.sciencemag.org/content/327/5964/454.full>

BERGER, A. R. & IAMS, W. J. (1996). *Geoindicators. Assessing Rapid Environmental Changes in Earth Systems*. 466 pp. Rotterdam, Brookfield: A. A. Balkema. Price Dfl. 165.00 (hard covers). ISBN 90 5410 631 X. Disponível em:
<http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=4317>

BERGER, A.R. (1997) Assessing rapid environmental change using geoindicators. *Environmental Geology*: Volume 32, Issue 1, pp 36-44. DOI:
<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs002540050191>

BLAIR, T.C.; McPHERSON, J.G. (1999) Grain-size and textural classification of coarse sedimentary particles *Journal of Sedimentary Research* January 1, 1999 69:6-19. Disponível em: http://www.gps.caltech.edu/~mpl/Ge126_Reading_List/Ch14.pdf

BORUFF, B.J.; EMRICH, C.; CUTTER, S.L., 2005. Erosion hazard vulnerability of US coastal counties. *Journal of Coastal Research*, 21(5), 932–942. doi:<http://dx.doi.org/10.2112/04-0172.1>

BRASIL. DHN. Diretoria Hidroviária de Navegação. Dados de onda e maré.
http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-publicacoes/direito_uso.html

**BRAY, T. F., Jr.; CARTER, C. H. (1992) Physical processes and sedimentary record of a modern, transgressive, lacustrine barrier island. *Mar. Geol.*, 105: 155-168. Disponível em:
http://www.researchgate.net/publication/248460449_Physical_processes_and_sedimentary_record_of_a_modern_transgressive_lacustrine_barrier_island

**BROKER, I; COULTON, K; GANGAI, J; HATHEWAY, D; LOWE, J; NOBLE, R; SRINIVAS, R. (2005). Wave Runup and Overtopping (Org. Chris Jones). FEMA - Coastal Flood Hazard Analysis and Mapping Guidelines. Focused Study Report. 51p. Disponível em:
http://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1541-20490-9494/frm_p1wave2.pdf

BRUUN, P..(1962) Sea-level rise as a cause of shore erosion. *Journal of the Waterways and Harbors Division*. 88, 117–130.

BUSH, D.M.; NEAL, J.W.; YOUNG, R.S. and PILKEY, O.H. 1999. Utilization of geoindicators for rapid assessment of coastal hazard risk and mitigation. *Ocean & Coastal Management*. 42, 647-670. [http://dx.doi.org/10.1016/S0964-5691\(99\)00027-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0964-5691(99)00027-7)

CALLAGHAN, D.P.; ROSHANKA, R.; SHORT, A., (2009) Quantifying the storm erosion hazard for coastal planning *Revista Coastal Engineering*, número 56, p. 90–93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coastaleng.2008.10.003>

CALLIARI, L.J. TOZZI, H.A.M. and KLEIN, A.H.F. (1998) Beach morphology and coastline erosion associated with storm surges in southern Brazil – Rio Grande to Chuí, RS. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 70 (2), 231-247. <http://www.praia.log.furg.br/Publicacoes/1998/1998b.pdf>

CALLIARI, L.J.; GUEDES, R.M.C.; PEREIRA, P.S.; LÉLIS, R.F.; ANTIQUEIRA, J.A. & FIGUEIREDO, S.A. (2010). Hazards and risks associated to coastal processes along the southern Brazilian coastline: A synthesis. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.* 14(1): 51-63. ISSN 1808-7035. Disponível em:
<http://siaiweb06.univali.br/seer/index.php/bjast/article/viewFile/2254/1601>

CAMARGO, R.; HARARI, J.; BISCARO, T.S.; BIAZETO, B. (2002) Avaliação das Previsões de Maré meteorológicas Realizadas com o Princeton Ocean Model no Laboratório Master/I/USP XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu-PR. Disponível em:
http://www.cbmet.com/cbm-files/11_66ded7ee8780ed4b83b43e4b2732ce76.pdf

CAMARA, C.F.; LOURENÇO, R.M.; FARIAS, J.F.; SILVA, E.V., (2010) Estudo geoambiental do litoral da Prainha e do Porto das Dunas/ Aquiraz-CE: propostas para o planejamento ambiental. VI Seminário Latino Americano de Geografia Física/ II Seminário Ibero Americano de Geografia Física/ Universidade de Coimbra. Disponível em:
http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema3/camila_freitas

CARVALHO, A.M. de; MAIA, L.P. (1990). Estudos dos sedimentos Cenozóicos da região de Paracuru, Ceará, Brasil. Relatório de Graduação. Universidade Federal do Ceará. Dep. Geol. Fortaleza. 86p. Impresso

- CARVALHO, A.M. de, MORAIS, J.O. de, COUTINHO, P.N. (1994) Caracterização geoambiental e dinâmica costeira da Região de Aquiraz na costa leste do Estado do Ceará. *Revista de Geologia*, vol. 7. p.55-68. Disponível em: <http://www.revistadegeologia.ufc.br/>
- CARVALHO, M.; GHERARDI, D. F. M.(2005) Modelagem de um banco de dados geográficos para o mapeamento da sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo na zona costeira. In: IMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. Anais... Goiânia: INPE, p. 2101-2108. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.20.17.27/doc/2101.pdf>
- CARVALHO, A.M. de; MAIA, L.P.; DOMINGUEZ, J.M.L. (2006) Caracterização do processo de migração das dunas de Flexeiras, Baleia, Paracuru e Jericoacoara, costa noroeste do Estado do Ceará. *Arq. Ciên. Mar, Fortaleza*, 39: 44 – 52 Disponível em: http://www.labomar.ufc.br/images/stories/arquivos/ArqCienMar/V39_2006/acm_2006_39_05.pdf
- CARTER, R. W. G.; ORFORD, J. D. (1981), Overwash processes along a gravel beach in south-east Ireland. *Earth Surf. Process. Landforms*, 6: 413–426. doi: 10.1002/esp.3290060503
- CARTER, R.W.G. (1988). *An introduction to the physical, Ecological and Cultural System of Coastline*. Elsevier Science. San Diego, California, 619P. ISBN: 0-12161856-0 Disponível em: <http://books.google.com.br/books>
- CEIA, F.R (2009). Vulnerabilidade das Ilhas-Barreira e Dinâmica da Ria Formosa na Óptica da Gestão. *Revista de Gestão Costeira Integrada*. Número 1, Maio 2009, Páginas 57-77. DOI: [10.5894/rgci159](https://doi.org/10.5894/rgci159)
- CEIA, F.R. *et al.* (2010) Coastal vulnerability in barrier islands: The high risk areas of the Ria Formosa (Portugal) system. *Revista Ocean & Coastal Management*, número 53. p.478 – 486. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2010.06.004>
- CIAVOLA, C. P. ; ARMAROLI, J. CHIGGIATO, A. VALENTINI, M. DESERTI, L. PERINI and P. LUCIANI.(2007) Impact of storms along the coastline of Emilia-Romagna: the morphological signature on the Ravenna coastline (Italy). *Journal of Coastal Research*, SI 50 (Proceedings of the 9th International Coastal Symposium), 01 – 05. Gold Coast, Australia, ISBN). Disponível em: <http://www.cerf-jcr.org/>
- COELHO, C.; GOMES, F.V. (2005) - Classificação de Vulnerabilidades e Riscos como Contributo no Planeamento das Zonas Costeiras. III Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras de Países de Expressão Portuguesa, Maputo, Moçambique [CD-ROM]
- COWELL, P.J.; THOM, B.G., (1997). Morphodynamics of coastal evolution. In: R.W.G. Carter and C.D. Woodroffe, *Coastal evolution, Late Quaternary shoreline morphodynamics*, Cambridge University Press, 33-86. ISBN: 0-521-59890-7
- CHU, Z.X.; SUN, X.G.; ZHAI, S.K.; XU, K.H. (2006) Changing pattern of accretion/erosion of the modern Yellow River (Huanghe) subaerial delta, China: Based on remote sensing images. *Marine Geology*, v. 227, p. 13-30. DOI:10.1016/j.margeo.2005.11.013

CLAUDINO-SALES, V.; PEULVAST, J.P.(2006a) . Formas Litorâneas: barreiras no litoral do Estado do Ceará, Nordeste, Brasil. In: Litoral e Sertão: natureza e sociedade no nordeste brasileiro. SILVA, J.B. (org). Fortaleza: Expressão Gráfica, 408p. ISBN: 978-85-7563-278-9

CLAUDINO-SALES, V.; MAIA, L.P.; PEULVAST, J.P.(2006b) Pequenas barreiras no Estado do Ceará, Nordeste do Brasil. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/ Regional Conference of Geomorphology. Goiania-Goias. Disponível em: <http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/sinageo/articles/285.pdf>

CLOUTIER, M.; A. HÉQUETTE. (1998). Aeolian and overwash sediment transport across a low barrier spit, southeastern Canadian Beaufort Sea. *Zeitschrift fur Geomorphologie* 42 3:349–366. Disponível em: <http://serials.unibo.it/cgi-ser/start/en/spogli/ds-s.tcl?authors=%22Hequette%2C+A%22&language=ENGLISH>

COOPER, A.; McLAUGHLIN, S. (1998) *Contemporary multidisciplinary approaches to coastal classification and environmental risk analysis*. J. Coastal Research, 14 (2). pp. 512-524. [Journal article] Disponível em: <http://journals.fcla.edu/jcr/article/view/80623>

**CRISTIENSEN, H.; SIEFERT, W.(1978) Storm surge prediction by combined wind and tide data. Chapter 55. Disponível em: <http://journals.tdl.org/icce/index.php/icce/article/view/3317/2985>

COELHO, C. (2005). Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal. 404p. Não Publicado. Disponível em <http://ria.ua.pt/bitstream/10773/2405/1/2005001720.pdf>

CPTEC. (2014). Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. Boletins Infoclima de Precipitação entre os anos de 2010 e 2013. Disponível em: <http://infoclima.cptec.inpe.br/>

CUTTER, S.L.,(1996) Vulnerability to Environmental Hazards.Progress in Human Geography. 20, n4, pp. 529-539. Disponível em: http://webra.cas.sc.edu/hvri/docs/progress_human_geography.pdf

DAVIES, J. L. 1958. Wave refraction and the evolution of shoreline curves. *Geogr. Stud.*, 5:1-14. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000101&pid=S1679-8759200700020000400011&lng=en

DAVIES, J.L.,(1964). A morphogenic approach to world shorelines.Z. Geomorphol., 8, pp. 27–42.

DAVIS, R.A. (1997) Regional coastal morphodynamics along the United States Gulf Of Mexico. *Jornal Coastal Research* (13) 3, 595 -604. Fort Lauderdale (Florida), ISSN 0749-0208. Disponível em: <http://journals.fcla.edu/jcr/article/view/80175/77430>

DEAN, R. G; DALRYMPLE, R. A. (2004). *Coastal Processes with Engineering Applications*. USA: Cambridge University Press, 489p. Disponível em: 212.117.161.3/genesis/523000/.../_as/472847__coinread.com.pdf

De FARIAS, E.G.G.de; MAIA, L.P.(2009) Aplicação de técnicas de geoprocessamento para a análise da evolução da linha de costa em ambientes litorâneos do estado do Ceará. IN: XIV

Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, Natal. Anais. p.4585-4595. Disponível em http://www.inct-tmcocean.com.br/pdfs/Produtos/34_FariasMaia.pdf

De FARIAS, E. G. G.; MAIA, L. P. (2010) Uso de técnicas de geoprocessamento para a análise da evolução da linha de costa em ambientes litorâneos do Estado do Ceará, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, v. 10, p. 521-544. DOI: [10.5894/rgci224](https://doi.org/10.5894/rgci224)

DANTAS, E. W. C. (2002) *Mar à Vista: estudo da maritimidade em Fortaleza*. 1ª edição, Fortaleza: Museu do Ceará, v. 1, 134 p.

DAVIDSON-ARNOT, R.G.D. (2005) - Conceptual model of the effects of sea level rise on sandy coasts. *Journal of Coastal Research*, 21(6):1166-1172. http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-176_Souza.pdf

DIAS, J.A. (2004) - A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos: Uma Introdução à Oceanografia Geológica. II – Análise Textural. http://w3.ualg.pt/~jldias/JAD/ebooks/Sedim/SedimA_AT.pdf

DIAS, J.A.; FERREIRA, Ó.; PEREIRA, A.R., (2005) Estudo sintético de diagnóstico da geomorfologia e da dinâmica sedimentar dos troços costeiros entre Espinho e Nazaré. Edição Electrónica. <http://www.w3.ualg.pt/~jldias/JAD/ebooks>

DIAS, J.A. (2007). Glossário das Zonas Costeiras. Disponível em: <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/autores.html>

DINGLER, J.R.; REIS, T. E. (1990). Cold-front driven storm erosion and overwash in the central part of the Isles Dernieres, a Louisiana barrier-island arc. *Marine Geology* 91: 195-206. [http://dx.doi.org/10.1016/0025-3227\(90\)90036-J](http://dx.doi.org/10.1016/0025-3227(90)90036-J)

DINGLER, J.R.; CLIFTON, H.E. (1994). Barrier Systems of California, Oregon and Washington. In: Davis Jr, R. A. (Ed.). *Geology of Holocene Barriers Island Systems*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, chap 4, p. 115-165 http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-78360-9_4#page-1

DI PAOLA, G.; IGLESIAS, J.; RODRÍGUEZ, G.; BENASSAI, G.; AUCELLI, P.; PAPPONE, G. (2010) Estimating Coastal Vulnerability in a Meso-Tidal Beach by Means of Quantitative and Semi-Quantitative Methodologies. In: Micallef, A. (ed.), *MCCR3-2010 Conference Proceedings*, *Journal of Coastal Research*, Special Issue, No. 61, pp. 303-308. Grosseto, Tuscany, Italy, ISSN 0749-0208, 2010.

DOLAN, T. J.; CASTENS, P. G.; SONU, C. J.; EGENSE, A. K., (1987) Review of Sediment Budget Methodology: Oceanside Littoral Cell, California ASCE. AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. pp. 1289-1304. Disponível em: <http://cedb.asce.org/cgi/WWWdisplay.cgi?51634>

DOLAN, R., FENSTER, M.S., HOLME, S.T. (1991). Temporal analysis of shoreline recession and accretion. *Journal of Coastal Research*, 7(3): 723-744 Disponível em: <http://faculty.rmc.edu/mfenster/research/PDF/signalOrNoise.pdf>

DONNELLY, J.P.; BRYANT, S.S.; BUTHER, J.; DOWLING, J.; FAN, L.; HAUSMANN, N.; NEWBY, P.; SHUMAN, B.; STERN, J.; WESTOVER, K.; WEBB III, T. A (2001a).

700-year sedimentary record of intense hurricane landfalls in southern New England. Geological Society of America Bulletin 113, 714– 727,.

**DONNELLY, J.P., ROLLS, S., WENGREN, M., BUTHER, J., LEDERER, R.; WEBB, T., III. (2001b) Sedimentary evidence of intense hurricane strikes from New Jersey: *Geology*, v. 29, p. 615–618. Disponível em: <http://www.geo.brown.edu/georesearch/esh/QE/Publications/Geology2001/JDonnelly/NewJersey/NewJersey.htm>

DONNELLY, J. P., BUTLER, J., ROLLS, S., WENGREN, M., WEBB III, T. (2004) A Backbarrier Overwash Record of Intense Storms from Brigantine, New Jersey. *Marine Geology*, 210, pp. 107-121. Disponível em: <https://www.whoi.edu/science/GG/coastal/publications/pdfs/Donnelly%20et%20al%20MGG%202004.pdf>

DONNELLY, C.; KRAUS, N.; LARSON, M. (2005) State of Knowledge on Measurement and Modeling of Coastal Overwash. *Journal of Coastal Research: Volume 22, Issue 4*: pp. 965 – 991. doi: <http://dx.doi.org/10.2112/04-0431.1>

DONNELLY, C.; KRAUS, N.; LARSON, M. (2006a) State of knowledge on measurement and modeling of coastal overwash. *Journal of Coastal Research*, 22(4), 965–991. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208,. Disponível em: <http://chl.ercd.usace.army.mil/chl.aspx?p=s&a=Publications;647&g=92>

DONNELLY, C.; WAMSLEY, V.; KRAUS, N. C.; LARSON, M.; HANS H. (2006b) Morphologic Classification of Coastal Overwash. *Coastal Engineering*, pp. 2805-2817. <http://dx.doi.org/10.1142/9789...>

DOUGLAS, B. C. (1991), Global sea level rise, *J. Geophys. Res.* 96, 6981–6992. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2005GL024826/pdf>

ESTEVEES, L.S., WILLIAMS, J.J., NOCK, A. & LYMBERY, G.O. (2009) - Quantifying shoreline changes along the Sefton coast (UK) and the implications for research-informed coastal management. *Journal of Coastal Research*, SI56(I):602-606 Disponível em: http://www.cerf-jcr.org/images/stories/602.606_L.S...

ESTEVEES, C.J.O., (2011). Risco e Vulnerabilidade Socioambiental: Aspectos Conceituais. Caderno IPARDES. Estudos e Pesquisas. Curitiba, PR, eISSN 2236-8248, v.1, n.2, p. 62-79. Disponível em: <http://www.ipardes.pr.gov.br/ojs/index.php/cadernoipardes/article/view/421>

FARIAS, E.G.G.; MAIA, L.P., (2009). Aplicação de técnicas de geoprocessamento para a análise da evolução da linha de costa em ambientes litorâneos do estado do Ceará. XIV Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, Natal, Brasil, INPE, p: 4585-4592. Disponível em: http://www.inct-tmcocean.com.br/pdfs/Produtos/34_FariasMaia.pdf

FARIAS, E. G. G.; MAIA, L. P. (2010). Uso de Técnicas de Geoprocessamento para a Análise da Evolução da Linha de Costa em Ambientes Litorâneos do Estado do Ceará, Brasil. UNIVALE. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*. 1: 1-23. DOI: [10.5894/rgci224](https://doi.org/10.5894/rgci224)

FERREIRA, O.GARCIA, T; MATIAS, A; TABORDA, R; DIAS, A. (2006) An integrated method for the determination of set-back lines for coastal erosion hazards on sandy shores. *Revista Continental Sele Research*, número 26. p.1030–1044.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2005.12.016>

FREITAS, D.; ARAUJO, R.S.; KLEIN, A.H.F.; MENESES, J.T. (2010) Quantification of coastal hazards and future shoreline position for ITAPOCORÓI Bay – SC.Braz. *J. Aquat. Sci. Technol.* 14(1): 39-49. ISSN 1808-7035. Disponível em:
<http://www6.univali.br/seer/index.php/bjast/article/view/2253>

**FIGLUS, J.; KOBAYASHI, N.; GRALHER, C.; IRANZO, V. (2011) Wave overtopping and overwash of dunes. *J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng.*, 137(1), 26–33. DOI:
[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)WW.1943-5460.0000060](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000060)

FIGUEIRAS, C.A.; CAMARA, G. (2001). *Modelagem Numérica do Terreno*. Capítulo 07. In: *Geoprocessamento: Teoria e Aplicações*. (Org.) Gilberto Camara. Disponível em:
<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/>

**FISHER, J.S.; LEATHERMAN, S.P., and PERRY, F.C. (1974) Overwash processes on Assateague Island. *Proceedings 14th Coastal Engineering Conference* (Copenhagen, Denmark, ASCE), 1194–1211. Disponível em:
<http://journals.tdl.org/icce/index.php/icce/article/view/2965>

FLORENZANO, T.G. (2002) *Imagens de satélite para estudos ambientais*. São Paulo: Oncinha de Textos. Disponível em:
http://www.politecnico.ufsm.br/cursos/tecnicos/images/geo/sr/sr_t02.pdf

R. L. Folk , Peter B. Andrews & D. W. Lewis (1970) Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand, *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 13:4, 937-968, DOI:10.1080/00288306.1970.10418211 To link to this article:
<http://dx.doi.org/10.1080/00288306.1970.10418211>

FOLK. R.L., (1974) *Petrology of sedimentary rocks*. Disponível em:
<http://www.scribd.com/doc/114841708/Petrology-of-sedimentary-rocks-Robert-L-Folk-1974>

FREIRE, C.S., (2009) *O turismo e a territorialização dos resorts: a praia do Porto das Dunas como “enclave” em Aquiraz-CE*. Dissertação (mestrado em geografia) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 185p. Não Publicado.

FUNCEME. *Histórico da Zona de Convergência Intertropical*.
<http://www.funceme.br/index.php/areas/satelite-e-radar/historico-zcit>. Consultado em: 15/07/2013.

GARCIA, T., FERREIRA, Ó., MATIAS, A., DIAS, J.A., (2005). Coastal hazards representation for Praia do Barril (Algarve, Portugal). *Journal of Coastal Research*, SI 49, 28-33.

GARCIA, T.; FERREIRA, Ó.; MATIAS, A.; DIAS, J.A. (2010) Overwash vulnerability assessment based on long-term wash over evolution, *natural Hazards*, 54: 225-244. DOI10.1007/s11069-009-9463-3. Disponível em:
http://download.springer.com/static/pdf/459/art%253A10.1007%252Fs11069-009-9463-3.pdf?auth66=1395664454_c34ccd781b8d74d3327d6b6e4ce3f282&ext=.pdf

GOMES, M. L. (2003) Aspectos hidrológicos, sedimentológicos e impactos ambientais na lagoa costeira do Rio Catu-Aquiraz-Ceará. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza.

GOMES, L.G.; PEREIRA, E.C.G.; MORAIS, J.O. (2008). Degradação Socioambiental no Baixo Curso do Rio Catú, Aquiraz-Ceará: Comprometimento da mata ciliar e recursos hídricos. IV Encontro Nacional da Anppas 4, 5 e 6 de junho de 2008 Brasília – DF – Brasil. <http://anppas.org.br/encontro4/cd/ARQUIVOS/GT2-574-287-20080518233534.pdf>

GOMES, I. M. S.(2013) Perfil de equilíbrio das praias de Fortaleza / Iliana Maria da Silva Gomes. –Monografia (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Curso de Oceanografia, Fortaleza. Não Publicado.

GORNITZ, V. M.; BEATY, T. W.; DANIELS, R. C. (1997). A Coastal Hazards Data Base for the U.S.West Coast. Environmental Sciences Division Publication n.º 4590, ORNL/CDIAC-81,NDP-043C, 78 p. Disponível em: <http://cdiac.esd.ornl.gov/epubs/ndp/ndp043c/tables/tablec-2.htm>

GRUBER, N.L.S.; BARBOZA, E.G.; NICOLODI, J.L.; TOLDO JR, E.E.; AYUP-ZOUAIN, R.N., (2003). Morfodinâmica de Antepraia e Variabilidade dos Perfis de Equilíbrio no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa; IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário; II Congresso do Quaternário dos Países de Língua Ibérica. Disponível em: http://www.abequa.org.br/trabalhos/quatcost_129.pdf

HAYES, M.O. (1967) Hurricanes as geological agents, south Texas coast.American Association Petroleum Geologists Bulletin, 51, 937–942. Disponível em: <http://archives.datapages.com/data/bulletns/1965-67/data/pg/0051/0006/0900/0937.htm>

**HAUSMMAN, N., NEWBY, P., SHUMAN, B., STERN, J., WESTOVER, K., WEBB III, T. (2001a) A 700-year sedimentary record of intense hurricane landfalls in southern New England.Geological Society of America Bulletin 113, 714– 727. Disponível em: <http://www.geo.brown.edu/georesearch/esh/QE/Publications/GSAB2001/JDonnelly/Succotash/Succotash.htm>

HESP, P.A., (1988). Surfzone, beach and foredune interactions on the Australian south east coast. J. Coastal Research Spec. Issue 3: 15-25.

HESP, P. A (2002) A Gênese de cristas de praias e de dunas frontais. Mercator: revista de geografia da UFC, ano 01, n.2, pp.119-125. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/index.php/mercator/article/viewFile/186/152>

HOLMAN, R.A. (1985). Extreme Value Statistics for Wave Run-up on a Natural Beach. Coastal Engineering, 9 (1986) 527--544 527, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam -- Printed in The Netherlands.

**HONEYCUTT, M.G., CROWELL, M., DOUGLAS, B.C. (2001).Shoreline-position forecasting: impact of storms, rate-calculation methodologies, and temporal scales. Journal of Coastal Research, 17(3): 721-730. Disponível em: <http://journals.fcla.edu/jcr/article/view/81484/78626>

HOUSER, C.(2009)Geomorphological Controls on Road Damage during Hurricanes Ivan and Dennis. Journal of Coastal Research: Volume 25, Issue 3: pp. 558 – 568. doi:
<http://dx.doi.org/10.2112/07-0923.1>

HOUSER, C (2012).Feedback between ridge and swale bathymetry and barrier island storm responseand transgressio. Geomorphology. Volumes 173–174, 1 November 2012, Pages 1–16. [http://dx.doi.org/10.1016/S0037-0738\(03\)00136-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0037-0738(03)00136-2)

**HOUSTON, J.R.; DEAN, R.G.,(2013) Effects of sea-level decadal variability on acceleration and trend difference. Journal of Coastal Research.Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208. Disponivel em: DOI: <http://dx.doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-12-00238.1>

**HUGHES, S. A., and NADAL, N. C. 2009. Laboratory study of combined wave overtopping and storm surge overflow of a levee, Coastal Engineering, Elsevier, Vol 56. No. 3, pp 244-259. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coastaleng.2008.09.005>

HUNTER, J., (2011). A simple technique for estimating an allowance for uncertain sea-level rise, Climatic Change, DOI 10.1007/s10584-011-0332-1. Disponível em:
http://staff.acecrc.org.au/~johunter/hunter_2012_author_created_version_merged.pdf

HONEYCUTT, M.G., CROWELL, M., DOUGLAS, B.C. (2001).Shoreline-position forecasting: impact of storms, rate-calculation methodologies, and temporal scales. Journal of Coastal Research, 17(3): 721-730. Disponível em:
<http://journals.fcla.edu/jcr/article/view/81484/78626>

IBGE (2013). População de Aquiraz e demais informações estatísticas em 2010.
<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=230100&search=|infoгр%EF5es-completas>

INMET/CFS. (2014) Climatologia de Aquiraz. Precipitação e Temperatura mensal. Disponível em: <http://www.climatempo.com.br/climatologia/960/aquiraz-ce>

INMET (2014). Parâmetros climáticos em Fortaleza. Disponível em:
http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_conv_graf

INPH (2001). Parâmetros Oceanográficos. Série Histórica.
<http://www.eccodigital.com.br/inph/>

_____.(1998). Observações por Ondógrafo. <http://www.eccodigital.com.br/inph/inph.html>

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change.(2001; 2007;2014) Climate Change 2007: Synthesis reporthttps://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf

IPECE. 2009. Indicadores Sócio-Econômicos do Município de Aquiraz
<http://www.ipece.ce.gov.br/cipp/indicadores-socioeconomicos-cipp>

IPECE, 2011. Perfil básico municipal. Disponível em:
http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/perfil-basico-municipal-2011

IPECE, 2012. Perfil Básico do Município de Aquiraz.
http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/perfil-basico-municipal-2012

IRION, G.; BUCHAS, H.; JUNK, W.J.; NUNES da CUNHA, C.; MORAIS, J.O. and KASBOHM, J., 2009. Aspects of the geological and sedimentological evolution of the Pantanal plain during the Pleistocene. In: JUNK, W.J., NUNES da CUNHA, C., W ANTZEN, K.M. and da SILVA, C.J.(eds.), *The Pantanal: Ecology, biodiversity and sustainable management of a famous South American wetland*. Heidelberg, Germany: Pensoft Publishers, in press.

Irion, G., de Moraes, J.O., and Bungenstock, F., (2012) , Holocene and Pleistocene sea-level indicators at the coast of Jericoacoara, Ceará, NE Brazil: *Quaternary Research*, v. 77, p. 251–257, doi: 10.1016/j.yqres .2011 .10 .007.

JESUS, L.V.; ANDRADE, A.C.S.,(2013) Parâmetros Granulométricos dos sedimentos da praia dos Artistas-Aracaju-SE . *SCIENTIA PLENA VOL. 9, N 05*. Disponível em: <http://www.scientiaplenu.org.br/ojs/index.php/sp/article/viewFile/1289/729>

KANA, T.W. (1995). A mesoscale sediment budget for Long Island, New York. *Marine Geology*. Volume 126, Issues 1–4, Pages 87–110. [http://dx.doi.org/10.1016/0025-3227\(95\)00067-9](http://dx.doi.org/10.1016/0025-3227(95)00067-9).

KRAUS, N.C.; ROSATI, J.D., (1999a). Estimation of Uncertainty in Coastal-Sediment Budgets at Inlets. Coastal Engineering Technical Note CETN IV-16,U.S. Army Engineer Research and Development Center, Coastal and Hydraulics Laboratory, Vicksburg,MS, 12p. Disponível em: <http://chl.erdc.usace.army.mil/library/publications/chetn/pdf/cetn-iv-16.pdf>

KRAUS, N.C.; ROSATI, J.D., (1999b). "Formulation of sediment budgets at inlets," Coastal Engineering Technical Note CETN-IV-15, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal and Hydraulics Laboratory, Vicksburg, MS. Disponível em: <http://chl.erdc.usace.army.mil/library/publications/chetn/pdf/cetn-iv-15.pdf>

**KERRY, E. (2005)Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*. Vol436.doi:10.1038/nature03906.<http://www.nature.com/nature/journal/v436/n7051/pdf/nature03906.pdf>

KLEIN, R.J.T., & NICHOLLS, R.J., (1999) Assessment of Coastal Vulnerability to Climate Change. Vol. 28, No. 2, pp. 182-187. Disponível em:<http://www.jstor.org/discover/10.2307/4314873?uid=37485&uid=3737664&uid=2129&uid=2134&uid=37482&uid=5909624&uid=2&uid=70&uid=3&uid=67&uid=62&sid=21103979459913>

**KOBAYASHI, N. (1997). Wave Runup and Overtopping on Beaches and Coastal Structures. Research Report. 48p. Disponível em: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a332059.pdf>

**KOCHEL, C.R.; WAMPFLER, L.A., (1989) Relative Role of Overwash and Aeolian Processes on Washover Fans, Assateague Island, Virginia-Maryland. *J. Coastal Res.*, 5:453-475. Disponível em: <http://www.jstor.org/discover/10.2307/4297556?uid=37485&uid=3737664&uid=2129&uid=37482&uid=5909624&uid=2&uid=70&uid=3&uid=67&uid=62&sid=21103875073823>

KOMAR, P.D.,(1983) Physical Oceanography of Coastal and Shelf Seas (Chapter 2). In: *Nearshore Currents and Sand Transport on Beaches*. Elsevier Oceanography Series Volume

35. ISBN 0-444-42153-X. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=JQ21InGyy58C&oi=fnd&pg=PP2&dq=Physical+Oceanography+of+Coastal+and+Shelf+Seas&ots=MR9555z8a7&sig=VbdYwGLWpPM1x2iEGFXwXE651ug#v=onepage&q=Physical%20Oceanography%20of%20Coastal%20and%20Shelf%20Seas&f=false>

KOMAR, P. D. (1998). The 1997–1998 El Niño and erosion on the Oregon Coast: Shore and Beach, Oregon Geology. v. 66, p. 33–41. Disponível em: <http://www.wou.edu/las/physci/taylor/g331/komar.pdf>

KRIEBEL, D.L. & DEAN, R.G. (1993). Convolution method for time dependent beach-profile response. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 119, 204–226.

**LARSON, M; WISE, R. A.; KRAUS, N. C. (2004) Coastal Overwash, Part 2: Upgrade to SBEACH. Vicksburg, Mississippi U.S. Army Engineer Research and Development Center, Regional Sediment Management Demonstration Technical Note ERDC/RSMTN-15. Disponível em: <http://chl.ercd.usace.army.mil/library/publications/chetn/pdf/chetn-xiv-14.pdf>

LEATHERMAN, S.P. (1976). Barrier island dynamics: Overwash processes and aeolian transport. Proceedings of the Coastal Engineering Conference, ASCE, 1958-1974. Disponível em: <http://journals.tdl.org/icce/index.php/icce/article/view/3163/2827>

LE MOS, A.T.; GHISOLFI, R.D. (2010) Long-term mean sea level measurements along the Brazilian coast: a preliminary assessment. Pan-American Journal of Aquatic Sciences, 5(2): 331-340. http://www.panamjas.org/pdf_artigos/PANAMJAS_5%282%29_331-340.pdf

LEONT'YEV, I.O., (2003). Modeling erosion of sedimentary coasts in the western Russian Arctic Coastal Engineering 47, 413–429

LIMA, R.S. (2012) Vulnerabilidade da Linha de Costa a Eventos de Alta Energia na Praia da Caponga – Cascavel, Ceará. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza, 94p. Não publicado.

LINS-DE-BARROS, F. M. (2005). Risco e Vulnerabilidade à Erosão Costeira no Município de Maricá, Rio de Janeiro. 147f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGG / UFRJ. Rio de Janeiro. Não Publicado

**LIU, K.; FEARN, M.L. (1993) Lake-sediment record of late Holocene hurricane activities from coastal Alabama. Geology 21, 793–796. Disponível em: ftp://texmex.mit.edu/ftp/pub/emanuel/Paleo/Liu_Fearn_1993.pdf

**LIU, K.; FEARN, M.L. (2000) Reconstruction of prehistoric landfall frequencies of catastrophic hurricanes in NW Florida from lake sediment records. Quaternary Research 54, 238–245. Disponível em: <http://www.ingentaconnect.com/content/ap/qr/2000/00000054/00000002/art02166>

LOPES, J.L.S.; CESTARO, L.A.; KELTING, F.M.A. (2011) Zoneamento Ambiental como Instrumento de Suporte e Planejamento de Uso e Ocupação do Solo do Município de Aquiraz/CE. Revista Brasileira de Geografia Física, Vol. 4, No 4. Disponível em: <http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewArticle/196>

MACEDO, R.J.A.; MANSO, V.A.V.; PEREIRA, N.S.;FRANÇA, L.G. (2012) Transporte de Sedimentos e Variação da Linha de Costa em Curto Prazo na Praia de Maracaípe (PE), Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada* 12(3):343-355 .

**MCCARTHY, J.J.; CANZIANA, O.F.; LEARY, N.A.; DOKKEN, D.J., WHITE, K.S. (eds.), (2001). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 1032p. Disponível em: <https://ipcc.ch/ipccreports/tar/wg2/pdf/wg2TARfrontmatter.pdf>

McLAREN, P.; BOWLES, D., (1985) The effects of sediment transport in grain-size distributions. *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 55, no 04. Disponível em: http://www.sedtrend.com/pdfs/publications/sta_mclaren_bowles.pdf

MAIA, L P ; JIMENEZ, J. A.; MORAIS ,J.O, (1998). The coastline of Fortaleza city: a product of environmental impacts caused by the Mucuripe Harbor. *Arquivos de Ciências do Mar*, v. 31, p. 93-100. Disponível em: http://www.labomar.ufc.br/images/stories/arquivos/ArqCienMar/V31_1998/acm_1998_31_1-2_10.pdf

MAIA, L. P.; FREIRE, G S S ; LACERDA, L D de .(2005) Accelerated dune migration and eolian transport during el niño events along the NE Brazilian Coast. *Journal of Coastal Research*, EUA, v. 21, n.6, p. 1121-1126,.

MAIA, N.Z. 2011. Avaliação da elevação do nível do mar e riscos de inundação costeira associados à passagem de ciclones no Balneário Hermenegildo, RS. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Brasil.

MCKEE, E.D. (1979) Sedimentary structures in dunes. In: MCKEE, E.D. (editor), *A Study of global sand seas Geological survey professional paper*, p. 83-134.

MARINO, M. T.R.D; FREIRE, G.S.S. (2013) Análise da evolução da linha de costa entre as Praias do Futuro e Porto das Dunas, Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), estado do Ceará, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada* Volume 13, Número 1, pages 113-129. DOI: [10.5894/rgci373](https://doi.org/10.5894/rgci373)

MARTINS, L.R. (1964) Significance of skewness and kurtosis in environmental interpretation. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1965, 35 (1): 768-770. Disponível em: <http://jsedres.sepmonline.org/content/35/3/768.full.pdf+html>

MARTINS, L.R.; TABAJARA, L.L.FERREIRA, E.R (2004) Linha de costa: problemas e estudo. *Revista Gravel*, n.2, Porto Alegre. p. 40-56.

MASSELINK, G.; HUGHES, M. (1998) Field investigation of sediment transport in the swah zone. *Continental Shelf Research*, Vol 18, I 10, Pag 1179–1199. [http://dx.doi.org/10.1016/S0278-4343\(98\)00027-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0278-4343(98)00027-2)

MASSELINK, G.; TURNER, I.L., (1999). The effect of the tides on beach morphodynamics. In: SHORT, A. D. (ed.) (1999). *Beach and Shoreface Morphodynamics*. Chichester, United Kingdom: John Wiley e Sons, 379p. ISBN:0-401-96570-7

- MASSELINK, G.; HUGHES, M. (2003) An Introduction to Coastal processes and Geomorphology . London . 368p.
- MASSELINK, G; RUSSEL P; TURNER I; BELNKINSOPP (2009) Net sediment transport and morphological change in the swash zone of a high-energy sandy beach from swash event to tidal cycle time scales; *Marine Geology* 26, 18–35.
- **MATIAS, A., 2006. Overwash sedimentary dynamics in the Ria Formosa barrier islands. Ph.D. thesis, Universidade do Algarve, Portugal. Available at:<http://www.ualg.pt/ciacomar/downloads/PhD-Matias-2006.pdf>.
- MATIAS, A, A VILA-CONCEJO, FERREIRA, Ó. Ferreira, MORRIS, B., DIAS, J. A. (2009) Sediment Dynamics of Barriers with Frequent Overwash. *Journal of Coastal Research*: Volume 25, Issue 3: pp. 768 – 780. doi: <http://dx.doi.org/10.2112/08-1032.1>
- MATIAS, A. *et al.* (2010) Short-term morphodynamics of non-storm overwash. *Revista Marine Geology*, número 274.p. 69–84.<http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2010.03.006>
- MEDINA, A, S; MEDINA, S.S.S. (2007). A representação da superfície topográfica através do modelo digital do terreno. *Graphica*. Curitiba, Paraná, Brasil. Disponível em:http://www.degraf.ufpr.br/artigos_graphica/AREPRESENTACAODASUPERFICIETOPOGRAFICA.pdf
- MEIRELES, A.J.A., (2008) Impactos ambientais decorrentes da ocupação de áreas reguladoras do aporte de areia: a planície costeira da Caponga, município de Cascavel, litoral leste cearense. *Confins* [Online] *Revista Franco - Brasileira de Geografia*, v.2, número 2. Disponível em: <http://confins.revues.org/2423>
- MELO, E.; ALVES, J.H.G.M.; JORDEN, V. & ZAGO, F. (1995) Instrumental confirmation of the arrival of north atlantic swell to the ceara coast, p. 1984-1996, in Proceedings of the 4th international conference on coastal and port engineering in developing countries (COPEDEC IV), Rio de Janeiro.
- MESQUITA, A. R., FRANCO, A. S., HARARI, J., SAMPAIO, FRANÇA, C. A. (2005). On sea level along the Brazilian coast – part 2. Disponível em:http://www.mares.io.usp.br/aagn/aagn8/ca/sea_level3_partii.html
- MORAES, A. C. R. (2007) Contribuição para Gestão da Zona Costeira do Brasil: elementos para uma geografia do litoral brasileiro. – São Paulo: Annablume. ISBN: 9788574196770
- MORAIS, J. O. (1980) Aspectos de geologia ambiental costeira do município de Fortaleza (Estado do Ceará). Tese de professor titular, Universidade Federal do Ceará, pp. 249.
- MORAIS, J.O. ; PINHEIRO, L.S. ; MEDEIROS, C. ; PITOMBEIRA, E. S. (2006) Erosive processes monitoring linked to the estuarine evolution systems nearby Aguas Belas, Cascavel, Ceará, Brazil. *Journal of Coastal Research*, Itajaí, v. 39, n. 1, p. 1403-1406. ISSN 1806-8324
- MORAIS, J.O.; MAIA, L.P., Ceará: Atlas de Erosão. In: MUEHE, D.(2006) Erosão e progradação no litoral brasileiro / Dieter Muehe, organizador.– Brasília: MMA, 476p. ISBN 85-7738-028-9

MORAIS, J.O. ; IRION, G. F.; PINHEIRO, L. S.; KASBOHM, J. (2009) Preliminary results on Holocene sea-level changes on Ceara coast / Brazil. *Journal of Coastal Research* , v. SI 56, p. 646-649. Disponível em: http://e-geo.fcsh.unl.pt/ICS2009/_docs/ICS2009_Volume_I/646.649_J.O.Morais_ICS2009.pdf

MORRIS, R.V., (1977). Origin and evolution of the grain-size dependence of the concentration of fine-grained metal in lunar soils - The maturation of lunar soils to a steady-state stage. In: *Lunar Science Conference, 8th, Houston, Tex., March 14-18, Volume 3.* (A78-41551 18-91) New York, Pergamon Press, p. 3719-3747. Disponível em: <http://adsabs.harvard.edu/full/1977LPSC....8.3719M>

MORTON, R.A.; GONZALEZ, J. L.; LOPEZ, G. I., and CORREA, I. D. (2000) Frequent Non-Storm Washover of Barrier Islands, Pacific Coast of Colombia. *Journal of Coastal Research*, 16(1), 82-87. Royal Palm Beach (Florida), ISSN 0749- 0208. Disponível em: http://www.academia.edu/220962/Frequent_NonStorm_Washover_of_Barrier_Islands_Pacific_Coast_of_Colombia

MORTON, R. A.; SALLENGER, A. H., Jr. (2003). Morphological impacts of Extreme Storms on Sandy Beaches and Barriers. *Journal of Coastal Research*. West Palm Beach, Florida. 19, 3, 560-573. Disponível em: <http://www.personal.kent.edu/~jortiz/marineprocesses/ExtremeStormandBeachMorphology.pdf>

MORTON, R.A., (2010) First-Order Controls of Extreme-Storm Impacts on the Mississippi–Alabama Barrier-Island Chain. *Journal of Coastal Research: Volume 26, Issue 4:* pp. 635 – 648. doi:<http://dx.doi.org/10.2112/08-1152.1>

MOURA, M.R.; MORAIS, J.O., (2011) Análise do balanço sedimentar da faixa de praia do litoral oeste de Aquiraz, Ceará. *Revista de Geologia*, Vol. 24, nº 2, 187 – 198. Disponível em :http://www.revistadegeologia.ufc.br/documents/revista/2011/14_2011.pdf

MOURA, M.R. (2012) Dinâmica Sócio Ambiental da Zona Costeira de Caucaia e Aquiraz, Ceará: avaliação de indicadores erosivos como subsídio para gerenciamento costeiro do Estado. *Revista: Mercator - Revista de Geografia da UFC*, 11(25). ISSN eletrônico: 1984-2201 <http://www.redalyc.org/pdf/2736/273624812017.pdf>

MUEHE, D., (1998) Geomorfologia Costeira. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da (org.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.

MUEHE, D. (2005) Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. *Mercator - Revista de Geografia da UFC*, ano 04, número 07. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/index.php/mercator/article/view/113>

MUEHE, D. (2006) *Erosão e progradação no litoral brasileiro / Dieter Muehe, organizador.*– Brasília: MMA, 476p. ISBN 85-7738-028-9

MUSSI, C. S. (2011) Avaliação da sensibilidade ambiental costeira e de risco à elevação média dos oceanos e incidência de ondas de tempestades: um estudo de caso para a Ilha de Santa Catarina, SC. *Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental)*. Universidade

do Vale do Itajaí. Disponível em:

http://www6.univali.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=932

NASCIMENTO, F.R., CARVALHO, O., (2006) Subcompartimentação topográfica, caracterização e descrição das formas de relevo na bacia metropolitana do Pacoti em Fortaleza, CE. Revista brasileira de geomorfologia, ano 7, nº 1. Disponível em: http://www.ugb.org.br/home/artigos/SEPARATAS_RBG_Ano_7_n_1_2006/RBG_Ano_7_n_1_2006_19_26.pdf

**NEUMMAN, C.J., JARVINEN, B.R., McDIEN, C.J., ELMS, J.D., (1993) Tropical cyclones of the North Atlantic Ocean, 1871 – 1992. NCDC/NHC Historical Climatology Series 6– 2, 193 pp. Disponível em: www.nhc.noaa.gov/pdf/TC_Book_Atl_1851-2006_lowres.pdf

NICHOLLS, R.J., and TOL, R.S.J., (2006). Impacts and responses to sea-level rise: A global analysis of the SRES scenarios over the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 364:1,073–1,095. Disponível em: <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/364/1841/1073>

NICHOLLS, R.J.; TOL, R.S.J.; HALL, J.W. (2007) Assessing impacts and responses to global mean sea-level rise. In: Schlesinger ME, Kheshgi HS, Smith J, de la Chesnaye FC, Reilly JM, Wilson T, Kolstad C (eds) *Human-induced climate change*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 119–13. <http://ebooks.cambridge.org/chapter.jsf?bid=CBO9780511619472&cid=CBO9780511619472A024&tabName=Chapter>

OLIVEIRA, Glacianne Gonçalves de; PINHEIRO, Lidriana de Sousa ; MORAIS, Jäder Onofre de (2005). Erosive processes and economic valuation impacts at caucaia litoral, northastern. CARICOSTAS 2005, International Conference on Integrated Coastal Zone Management, Universidad de Oriente, Universidad Satiago de Cuba.

OLIVEIRA, Glacianne Gonçalves de ; MEIRELES, A.J.A (2008). Balanço sedimentar como ferramenta na análise de erosão decorrentes da ocupação das praias do Barro Preto à Prainha, Aquiraz, Ceará.. In: Encontro Nacional de Geógrafos - ENG, São Paulo, 2008.

OLIVEIRA, G.G.de. (2009) Análise integrada da linha de costa situada entre o riacho Barro Preto e rio Catú, Aquiraz, Ceará. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil. Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/7898/1/2009_dis_ggoliveira.pdf

OLIVEIRA, Glacianne Gonçalves de ; MEIRELES, A.J.A (2010). Dinâmica geoambiental a partir da "litoralização" de Aquiraz, Ceará, Brasil.. REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA, Vol. 5, No2. ISSN 1982-5528. Disponível em: <http://www.prodema.ufc.br/revista/>

**ORFORD, J.D.,; CARTER, R.W.G., (1982), Crestal overtop and washover sedimentation on a fringing sandy gravel barrier coast, Carnsore Point, southeast Ireland. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 52, p. 265–278. doi: 10.1306/212F7F2C-2B24-11D7-8648000102C1865D. <http://jسدres.geoscienceworld.org/content/52/1/265.short>

PARK, D. (1999). *Waves, Tides and Shallow-Water Processes*. The Open University, 227p.

PARK, Y.H., EDGE, B.L..(2010)An empirical model to estimate overwash. *Journal of Coastal Research*, 26(6), 1157-1166.doi:<http://dx.doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-09-00017.1>

PATISCH K; GRIGGIS, G. (2006) Littoral Cells, Sand Budgets, and Beaches: Understanding California's Shoreline. Institute of Marine Sciences/ University of California, Santa Cruz., 40p

PLANT N.G., GRIGGS G.B., (1992), Interactions between nearshore processes and beach morphology near a Seawall,*Journal of Coastal Research*, 8, 1, p. 183-200. Disponível em: <http://www.jstor.org/discover/10.2307/4297962?uid=37485&uid=3737664&uid=2129&uid=37482&uid=5909624&uid=2&uid=70&uid=3&uid=67&uid=62&sid=21103860048713>

PAULA, D. P.; DIAS, J. M. A.; FERREIRA, O.; ALMEIDA, L. P M.; MORAIS, J. O., (2011): Impactos costeiros induzidos por ressacas do mar ao longo do litoral norte de Fortaleza-ce (Brasil). Simpósio Internacional de Climatologia.*Disponível em:* <http://sic2011.com/sic/arq/71653284095907165328409.pdf>

PAULA. D.P., (2012). Análise dos riscos de erosão costeira no litoral de Fortaleza em função da vulnerabilidade aos processos geogênicos e antropogênicos. Tese (doutorado em Ciências do Mar) – Universidade do Algarve, Portugal, 364p.

PAULA, D. P.; DIAS, J. M. A.; SOUZA, M.A.L. ; FARRAPEIRA, C.A.; BARROS, E.L. (2013) Monitorização de curto prazo da praia do Icaraí (Caucaia, Ceará, Brasil) após a construção da estrutura rígida do tipo bagwall para controle da erosão. 6º Congresso sobre planejamento e gestão das zonas costeiras dos países de expressão portuguesa. Maputo, Moçambique. Disponível em http://w3.ualg.pt/~jdiarias/JAD/papers/CI/2013_DPP_Iacari_11CPGZCPEP_red.pdf

PAULA, J.E.A. (2013) . Dinâmica Morfológica da Planície Costeira do Estado do Piauí. Evolução, comportamento, e a avaliação da linha de costa. (TESE DE DOUTORADO) Instituto de Ciências do Mar –LABOMAR/UFC, 242 p.

PAVAN,R.A., (2012) Avaliação da sensibilidade ambiental costeira e de risco sócio ambiental do litoral centro-sul catarinense a eventos naturais extremos e a elevação do nível médio dos oceanos.Dissertação – (Curso de Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade do Vale do Itajaí, Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://siaibib01.univali.br/pdf/Roberto%20Angelo%20Pavan.pdf>

PDDU. PREFEITURA MUNICIPAL DE AQUIRAZ.(2005) Plano diretor de desenvolvimento urbano – PDDU. Aquiraz. CD-ROM

PETROBRAS. Companhia Brasileira de Petróleo. Maré observada com sensor de ondas em plataforma de petróleo no Estado do Ceará: Brasil. Disponível em: <http://www.mares.io.usp.br/aagn/32o2.html>

PINHEIRO, L.S. (2000) Compatibilização dos processos erosivos com o uso e ocupação da praia da Caponga-Ceará. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza.

PINHEIRO , L.S. ; MORAIS,J.O. ; MEDEIROS, Carmen. (2001) Mudanças da linha de praia e feições morfológicas em Cascavel-Estado do Ceará. Arquivos de Ciências do Mar, Fortaleza, v. 35. Disponível em:

http://www.labomar.ufc.br/images/stories/arquivos/ArqCienMar/V34_2001/acm_2001_34_14.pdf

PINHEIRO, L.S.; MORAIS, J. O., PAULA, J.E.A., (2003) Evolução Morfodinamica da praia do Iguape. II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa/ IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário /II Congresso do Quaternário dos Países de Língua Ibérica. Disponível em: http://www.abequa.org.br/trabalhos/dinamicacosteira_338.pdf

PINHEIRO, L.S.; MEDEIROS, C.; MORAIS, J.O. (2006) Erosive processes monitoring linked to the estuarine evolution systems nearby Águas Belas, Cascavel-CE, Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 39 (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium), 1403 - 1406. Itajaí, SC, Brazil, ISSN 0749-0208. Disponível em: http://siaiacad09.univali.br/ics2004/arquivos/294_pinheiro.pdf

PINHEIRO, L. de S; MORAIS, J. O. de., (2010) Interferências de barramentos no regime hidrológico do estuário do rio Catú-Ceará-Nordeste do Brasil. *Sociedade & natureza (UFU. Online)*, v. 22, p. 237-250. <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-45132010000200002>

Ponçano, W.L., and Gimenez, A.F., 1987, Reconhecimento sedimentológico do estuário do Itajaí-Açu: *Revista Brasileira de Geociências*, v. 17, no. 1, p. 33–41.

PUGH, D.T.(1987) *Tides, Surges and Mean Sea Level*. John Wiley & Sons. Chichester, U.K. 472 p. Disponível em: <http://eprints.soton.ac.uk/19157/1/sea-level.pdf>

QUINTELA, T.O.F. (2014) *Procedimentos de Investigações e Avaliações Metodológicas no Estudo Morfológico de Feições Costeiras. (TESE DE DOUTORADO) Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR/UFC, 229*

RAMOS, L.; DIAS, J.A. (2000) Atenuação da vulnerabilidade a galgamentos oceânicos no sistema da ria formosa mediante intervenções suaves. 3º Simpósio sobre a Margem Ibérica Atlântica / 3º Simposio sobre el Margen Ibérico Atlántico / 3rd Symposium on the Iberian Atlantic Margin. Disponível em: http://w3.ualg.pt/~jdiarias/GESTLIT/papers/00_SMLR.pdf

RITCHIE, W.; PENLAND, S. (1988) Rapid dune changes associated with overwash processes on the deltaic coast of South Louisiana. *Marine Geology*, 81: 97 – 122. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam -- Printed in The Netherlands. Disponível em: <http://pubs.er.usgs.gov/publication/70013744>

**ROBIN G. D.; ARNOTT, D., (2005) Conceptual Model of the Effects of Sea Level Rise on Sandy Coasts. *Journal of Coastal Research: Volume 21, Issue 6: pp. 1166 – 1172.* doi:<http://dx.doi.org/10.2112/03-0051.1>

ROCHA, G. C. & DINIZ, M. T. M. (2011) Implicações da Erosão Costeira em Atividades Econômicas na Praia da Caponga – Cascavel – Ceará. *Scientia Plena* 7, 025401. Disponível em: <file:///C:/Users/Glacianne/Downloads/221-1151-1-PB.pdf>

ROCHA, G.H.M. (2013) *Morfodinâmica de desembocaduras de sistemas estuarinos barrados: o caso do Rio Pacoti – Ceará.* http://www.uece.br/mag/dmdocuments/gustavo_rocha_dissertacao

- ROSATI, J.D., (2005), Concepts in sediment budgets. *Journal of Coastal Research*, 21(2), 307–322. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208. Disponível em: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a482879.pdf>
- ROIG-MUNAR, F.X.; MATÍN-PRieto, J.A.; RODRIGUEZ-PEREA, A.; PONS, G.X.; GELABERT, B.; MIR-GUAL, M. (2012) Risk assessment of beach–dune system erosion: beach management impacts on the Balearic Islands. *Journal of Coastal Research*, 28(6), 1488–1499. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.
- RUDOFF, F.M.; BONETTI, J., (2010) Avaliação da suscetibilidade à erosão costeira de praias da ilha de Santa Catarina. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol*, 14(1):9-20. DOI: <http://dx.doi.org/10.14210/bjast.v14n1.p9-20>
- RUGGIERO, P., P. D. KOMAR, W. G. McDOUGAL, and R. A. BEACH (1996), Extreme water levels, wave runup and coastal erosion, paper presented at the 25th International Conference on Coastal Engineering, Am. Soc. Of Civ. Eng., Orlando, Fla. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2003JC002160/pdf>
- HUGLES, S.A.; NADAL, N.C (2009). Laboratory study of combined wave overtopping and storm surge overflow of a levee. *Coastal Engineering* Volume 56, Issue 3, March 2009, Pages 244-259
- SALLENGER, A.H.,(2000). Storm impact scale for barrier islands. *Journal of Coastal Research*, 16(3), 890-895. Disponível em: <http://coastal.er.usgs.gov/hurricanes/publications/jcr.pdf>
- SANTOS, C. A.C.; MANZI, A.O. (2011) Eventos extremos de precipitação no estado do Ceará e suas relações com a temperatura dos oceanos tropicais. *Rev. bras. meteorol.* vol.26, no.1 São Paulo Mar. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862011000100014>.
- SHEPARD, F.P.; YOUNG, R., (1961) Distinguishing between Beach and Dune Sands. *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 31 No. 2, Pages 196-214. Disponível em: <http://archives.datapages.com/data/sepm/journals/v01-32/data/031/031002/0196.htm>
- **SHEPARD, F. P.; CURRAY, J.R., (1964) Carbon-14 determination of sea level changes in stable areas. *Progress in Oceanography* Volume 4, n°2, Pag 283–291. [http://dx.doi.org/10.1016/0079-6611\(65\)90055-8](http://dx.doi.org/10.1016/0079-6611(65)90055-8)
- SIEGLE, E.; CALLIARI, L.J., (2008) High-energy events and short-term changes in superficial beach sediments. *Brazilian Journal of Oceanography*, 56(2):149-152. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/bjoce/v56n2/08.pdf>
- SILVA A.L.C.; SILVA M.A.M., RIBEIRO, P.; SANTOS R.A.; VASCONCELOS S.C. (2005) Os Leques de Arrombamento e a Retrogradação da Barreira Arenosa da Parte Oeste da Praia de Itaipuaçu, Maricá/RJ. *In: SBG, Simpósio de Geologia do Sudeste*, 9, Niterói, RJ, atas, p. 187. Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/110>
- SILVA, A.L.C.; SILVA, M.A.M.; SANTOS, C.L.; RIBEIRO, G.P.; SANTOS, R.A.; VASCONCELOS, S.C. (2008) Retrogradação da Barreira Arenosa e Formação de leques de arrombamento na praia de Itaipuaçu (oeste de Maricá, RJ). *Revista Brasileira de Geomorfologia* - Ano 9, n° 2. Disponível em:

http://www.academia.edu/1427402/Retrogradacao_da_Barreira_Arenosa_e_Formacao_de_leques_de_arrombamento_na_praia_de_Itaipuacu_oeste_de_Marica_RJ_

SILVA, A. C.; FAÇANHA, P.; BEZERRA, C.; ARAUJO, A; PITOMBEIRAS, E.(2011) Características das ondas "Sea" e "Swell" observadas no litoral do Ceará-Brasil: variabilidade anula e inter-anual. *Tropical Oceanography*. Recife, v. 39, n. 2. p. 17-26.
DOI:10.5914/1676.3013.2011.0055

SHEPARD, F. P. (1973) Harper and row publishers.Submarine Geology.New York, 517 pp.
SHORT, A. D. (1979). Wave power and beach stages: A global model. In:
INTERNATIONAL CONFERENCE ON COASTAL ENGINEERING, 16. Hamburg, 1978.
Proceedings. Hamburg, ASCE. p. 1045-1062.

SHORT, A. D. (1993). Beaches of the New South Wales Coast. A guide do their nature, characteristics, surf and safety. Australian Beach Safety and Management Proogram. The University Printing Service, University of Sidney. 358 p.

SHORT, A. D. (ed.) (1999). Beach and Shoreface Morphodynamics. Chichester, United Kingdom: John Wiley e Sons, 379p. ISBN:0-401-96570-7

SCHETTINI, C. A. F.; MAIA, L. P.; TRUCCOLO, E. C. (2011). Análise da variabilidade do nível da água na costa de Fortaleza, Ceará. *Arq.Ciênc. Mar,Bras.*, v. 44, n. 1, p. 27-32.
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000166&pid=S1679-8759201300010000300030&lng=en

SMALL, C.; NICHOLLS, R.J. (2003). A global analysis of human settlement in coastal zones. *J. Coast Res* 19(3):584–599.
<http://www.jstor.org/discover/10.2307/4299200?uid=37485&uid=3737664&uid=2134&uid=37482&uid=5909624&uid=2&uid=70&uid=3&uid=67&uid=62&sid=21102484909741>

SMITH, E.R.; WANG,P.; EBERSONE, B, A.; ZHANG, J. (2004) Dependence of Total Longshore Sediment Transport Rates on Incident Wave Parameters and Breaker Type. *Journal of Coastal Research: Volume 25, Issue 3:* pp. 675 – 683.
doi:<http://dx.doi.org/10.2112/07-0919.1>

SOUZA, M.J.N.de (2000). Bases geoambientais e esboço do zoneamento geoambiental do Estado do Ceará. In LIMA, Luiz. C (Org.). (2000) Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará. Editora da FUNCEME, Fortaleza: 6- 104.

SOUZA, C.R. de G. & LUNA, G.C. (2009) - Taxas de retrogradação e balanço sedimentar em praias sob risco muito alto de erosão no município de Ubatuba (Litoral Norte de São Paulo). *Quaternary and Envir onmental Geosciences*, 1(1):25-41. ISSN: 2176-6142 Disponível em: <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/abequa/issue/view/814>).

SOUZA, C.R.G.; LUNA, G.C. (2010) Variação da linha de costa e balanço sedimentar de longo período em praias sob risco muito alto de erosão do município de Caraguatatuba (Litoral Norte de São Paulo, Brasil). *Revista da Gestão Costeira Integrada* 10(2):179-199. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*,10(2):179-199,2010. Disponível em: http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-176_Souza.pdf

- SOUZA, P. H. G. O.; SIEGLE, E.; TESSLER, M. G. (2011) Environmental and Anthropogenic Indicators for Coastal Risk Assessment at Massaguaçu Beach (SP) Brazil, SI 64 (Proceedings of the 11th International Coastal Symposium), pg – pg. Szczecin, Poland, ISSN 0749-0208. Disponível em: http://www.form.ics2011.pl/artic/SP64_319-323_P.H.G.O.Sousa.pdf
- SORENSEN, R.M. (1997), *Basic Coastal Engineering*, Chapman and Hall, New York. Disponível em <http://homepages.cae.wisc.edu/~chinwu/GLE401/web/Mike/references.htm>
- SUGUIO, K. (1992) – *Dicionário de Geologia Marinha*. T.A. Queiroz, Editor, 171p., São Paulo.
- SUGUIO, K. (2003a) Tópicos de geociências para o desenvolvimento sustentável: as regiões litorâneas. *Geologia USP: Série Didática*, v. 2, n. 1, 2003.
- SUGUIO, K.(2002) *Dicionário de Geologia Marinha: com termos correspondentes em inglês, francês e espanhol /Kenitiro Suguiou – São Paulo: T. A. Queiroz.(Biblioteca de Ciências Naturais; v.15).*
- SCHETTINI, C. A. F.; MAIA, L. P.; TRUCCOLO, E. C. (2011) Análise da variabilidade do nível da água na costa de Fortaleza, Ceará. *Arq.Ciênc. Mar Bras.*, v. 44, n. 1, p. 27-32. Disponível em: http://www.inctmcocean.com.br/pdfs/Produtos/Artigos_periodicos/105_MaiaSchettini.pdf
- STOCKDON, H.F.; HOLMAN, R.A.; HOWD, P.A.; SALLENGER, A.H. (2006). Empirical parameterization of setup, swash, and runup. *Coastal Engineering*. Vol. 53, Issue 7, pages. 573-588.
- TAGLIANI.C.R. (2003). Técnica para Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental de Ambientes costeiros utilizando um sistema de informações geográfica. XI Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Belo Horizonte, MG, Anais, p. 1657 – 1664.
- TEIXEIRA,C. (Coord.) (2007). Glossário das Zonas Costeiras. Disponível em: <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/autores.html>
- TESSLER, M.G.; SOUZA, L.A.P. (1998). Dinâmica sedimentar e feições sedimentares identificadas na superfície de fundo do sistema Cananéia-Iguape, SP. *Revista Brasileira de Oceanografia*. v. 46, n. 1. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/rbo.v46i1.6843>
- TESSLER, M. Potencial de Risco Natural. In: Ademilson Zamboni & Joao Luiz Nicolodi (org.), *Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil*, pp.93-120,Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Mudancas Climáticas e Qualidade Ambiental. Brasília. DF, Brasil, ISBN: 9788577381128, 2008.
- TESSLER, M.G.; SOUZA, L.A.P. (1998). Dinâmica sedimentar e feições sedimentares identificadas na superfície de fundo do sistema Cananéia-Iguape, SP. *Revista Brasileira de Oceanografia*. v. 46, n. 1. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/rbo.v46i1.6843>
- TREBOSSSEN H, DEFFONTAINES B, CLASSEAU N, KOUAME J & RUDANT JP. (2005). Monitoring coastal evolution and associated littoral hazards of French Guiana shoreline with

radar images. C.R. Geoscience, 337: 1140-1153. Doi: 10.1016/j. crte.2005.05.013 Disponível em: <http://www.em-consulte.com/en/article/37545>

**TRUCCOLO, E. C.; FRANCO, D.; SCHETTINI, C. A. F. (2006) The low frequency sea level oscillations in the northern coast of Santa Catarina, Brazil. Journal of Coastal Research, v. SI39, p.547-552. Disponível em: http://siaiacad09.univali.br/ics2004/arquivos/108_truccolo.pdf

THIELER, E.R., HIMMELSTOSS, E.A., ZICHICHI, J.L., ERGUL, A. (2005). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0—An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278..Available online at <http://pubs.usgs.gov/of/2008/1278/>.

**TINH, N.X., (2006). Modelling of Coastal Overwash. Tese (doutorado em Water Resources Engineering), Lund Institute of Technology/Lund University, 82p. Disponível em: <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=1328841&fileId=1328842>

**TITUS, J.G. (1998) Rising Seas, Coastal Erosion and the Taking Clause: How to Save Wetlands and Beachs without Hurting Property Owners. MARYLAND LAW REVIEW.V 57, nº 04. Disponível em: <http://papers.risingsea.net/takings.html>

**TODD, L. WALTON, Jr. (2005) Short Term Storm Surge Forecasting. Journal of Coastal Research: Volume 21, Issue 3: pp. 421 – 429. doi:<http://dx.doi.org/10.2112/03-0036.1>

TOLDO Jr., E. E.; NICOLODI, J. L.; ALMEIDA, L. E. S. B.; CORRÊA, I. C. S. and ESTEVES, L. S., (2004). Coastal dunes and shoreface width as a function of Longshore transport. Journal of Coastal Research, SI 39 (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium), 390 - 394. Itajaí, SC, Brazil, ISSN 0749-0208.

**TRUCCOLO, E. C.; FRANCO, D.; SCHETTINI, C. A. F.(2006)The low frequency sea level oscillations in the northern coast of Santa Catarina, Brazil. Journal of Coastal Research, v. SI39, p.547-552. Disponível em: http://siaiacad09.univali.br/ics2004/arquivos/108_truccolo.pdf

VELOSO-GOMES, F.; TAVEIRA-PINTO, F.; DAS NEVES, L.; PAIS BARBOSA, J.; COELHO, C. (2004). Erosion risk levels at the NW Portuguese coast:The Douro mouth - Cape Mondego stretch. January 2004, Volume 10, Issue 1, pp 43-52. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1652/14000350%282004%29010%5B0043:ERLATN%5D2.0.CO%3B2>

VILA-CONCEJO, A.; FERREIRA, Ó.; MATIAS, A.; DIAS, J.M.A., (2003) The first two years of an inlet: sedimentary dynamics. Continental Shelf Research Vol 23, Issues 14–15, Pag 1425–1445. [http://dx.doi.org/10.1016/S0278-4343\(03\)00142-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0278-4343(03)00142-0)

VIANA, M. L.(2000) Ressacas na costa norte do nordeste causadas por furacões extratropicais.In: IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro, 2613-1619. Disponível em: <http://www.cbmet.com/cbm-files/12-c9248a76fa2e31305cb1a3ba93bf4f32.pdf>

XAVIER, T. DE M^a. B. S.; XAVIER, A. F. S. (1987). Classificação e monitoramento de períodos secos ou chuvosos e cálculo de índices pluviométricos para a região nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia*, v.5, n.2.

WEBSTER, P. J., HOLLAND, G. J., CURRY, J. A. & CHANG, H. R.(2005). Changes in Tropical Cyclone Number, Duration, and Intensity in a Warming Environment. *Science*, V. 309, pp. 1844-1846. *DOI*: 10.1126/science.1116448

WOODWORTH, P.L.,;GEHRELS, W.R, ; NEREM, R.S. (2011). Nineteenth and twentieth century changes in sea level.*Oceanography* 24(2):80–93, [doi:10.5670/oceanogr.2011.29](https://doi.org/10.5670/oceanogr.2011.29) .

WRIGHT, L.D; Short, A.D., 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine Geology*. Amsterdam, v.56,.93-118. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.175.7797&rep=rep1&type=pdf>

WRIGHT, L. D.; S, A. D. & G, M. O. (1985). Short term changes in the morphodynamic states of beaches and surf zones: an empirical predictive model. *Mar. Geol.*, 62(3-4):339-364.

ZHANG, X., H, G., Z, F., K, J. (2005) Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature extremes. *Journal of Climate*, v. 18, p. 1641–1651.