



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
CURSO DE OCEANOGRAFIA**

LARISSA PLUTARCO FREITAS

**VULNERABILIDADE AOS EVENTOS DE INUNDAÇÃO COSTEIRA NA PRAIA DO
JAPÃO, AQUIRAZ, LITORAL LESTE DO CEARÁ**

FORTALEZA, 2016

LARISSA PLUTARCO FREITAS

**VULNERABILIDADE AOS EVENTOS DE INUNDAÇÃO COSTEIRA NA PRAIA DO
JAPÃO, AQUIRAZ, LITORAL LESTE DO CEARÁ**

Monografia apresentada ao curso de Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Oceanografia

Orientador: Prof^a. Dr^a. Lidriana de Souza Pinheiro.

Co-Orientador: Prof^a. Dr^a. Glacianne Gonçalves de Oliveira Maia.

Fortaleza, 2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Rui Simões de Menezes

F936v Freitas, Larissa Plutarco.

Vulnerabilidade aos eventos de inundação costeira na Praia do Japão, Aquiraz, litoral leste do Ceará / Larissa Plutarco Freitas – 2016.

39 p. : il. color., enc. ; 30 cm.

Monografia (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Curso Bacharelado em Oceanografia, 2016.

Orientação: Prof^ª. Dr^ª. Lidriana de Souza Pinheiro.

Co-Orientação: Prof^ª. Dr^ª. Glacianne Gonçalves de Oliveira Maia.

1. Alterações do nível do mar. 2. Praia arenosa – Aquiraz (CE). I. Título.

CDD 551.458

LARISSA PLUTARCO FREITAS

VULNERABILIDADE AOS EVENTOS DE INUNDAÇÃO COSTEIRA NA PRAIA DO
JAPÃO, AQUIRAZ, LITORAL LESTE DO CEARÁ

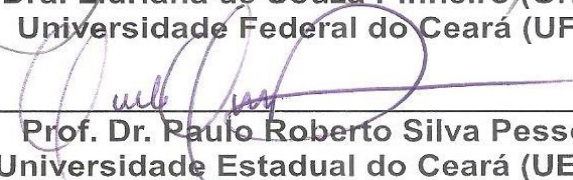
Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Bacharelado em
Oceanografia do Instituto de Ciências do
Mar da Universidade Federal do Ceará,
como parte dos requisitos para a obtenção
do título de Bacharel em Oceanografia.
Área de concentração: Oceanografia
Geológica.

Aprovada em 17 / 02 / 2016.

BANCA EXAMINADORA



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



Prof. Dr. Paulo Roberto Silva Pessoa
Universidade Estadual do Ceará (UECE)



Msc. Reñan Gonçalves Pinheiro Guerra
Doutorando do PPGCMT- Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

À Deus, pois ele habita em mim; sempre me fortalecendo e renovando. Sem Ele nada sou.

Aos meus amados pais e irmã, meu alicerce, por toda dedicação, paciência e amor. Agradeço todo o apoio e suporte necessários para eu sempre ir em busca das minhas realizações.

Ao meu namorado e grande amigo pelo incentivo na caminhada, pelo bom humor no dia a dia e pela parceria na vida. À sua presença e amor, que me tornam mais leve e mais feliz.

Aos pequenos da minha família (Júlia, Alê e Arthas) que me fazem acreditar em um mundo melhor e mais justo.

Aos meus familiares que sempre estão na torcida e que de alguma forma cuidam de mim.

Aos meus amigos, por vivenciarem tantos momentos da minha vida, multiplicando alegrias e compartilhando momentos difíceis.

À minha querida amiga de curso, Clara, pela amizade e companheirismo durante esses anos de graduação. Estamos juntas desde o início.

Aos meus anjos que hoje estão no céu, pela proteção e intercessão em todos os meus passos e decisões. Agradeço por terem de alguma forma cruzado minha vida em Terra, me dando bênçãos e carinhos. Hoje posso senti-los me iluminando aí de cima.

À minha orientadora, Professora Lidriana de Souza Pinheiro, pelo aprendizado e todas as oportunidades que me foram dadas no meio acadêmico. Agradeço ainda pela paciência na orientação principalmente nesses últimos dias e por seu exemplo de determinação e de amor à pesquisa.

À minha querida co-orientadora e amiga Glacianne Gonçalves de Oliveira Maia, que mesmo dedicada nos últimos meses à fase mais importante da vida dela (maternidade) sempre me deu suporte e atenção. A ela também agradeço por sua amizade, palavras de encorajamento e por ter confiado em mim durante todos esses anos em que estivemos juntas no Laboratório de Oceanografia Geológica.

Ao Laboratório de Oceanografia Geológica do Instituto de Ciências do Mar pelo suporte necessário para realização desta pesquisa, nos intensos trabalhos de campos e processamento de dados.

À todos os professores e funcionários do Instituto de Ciências do Mar –
LABOMAR.

À todos que me ajudaram de forma direta e indireta na realização deste
trabalho.

RESUMO

O *Intergovernmental Panel on Climatic Change* (IPCC) prevê cenários climáticos relacionados ao aumento da frequência de ocorrência e de intensidade de fenômenos extremos, provocando perturbações nos sistemas litorâneos, principalmente em áreas arenosas, cuja capacidade de suporte já está, em muitos casos, fragilizada. A praia do Japão, localizada no litoral leste do estado do Ceará, é uma praia considerada natural e que por se tratar de uma zona litorânea, está sujeita aos riscos associados às mudanças climáticas e consequente aumento do nível médio do mar. Mesmo que ambientes como o pós-praia e campos de dunas migrem gradativamente em direção ao continente, ainda ficarão expostas e mais próximas da linha de costa e assim mais vulneráveis aos impactos de eventos extremos. É nesse contexto que este trabalho tem como objetivo principal identificar os riscos de inundação a partir das previsões de subidas do nível do mar em uma praia arenosa no litoral do nordeste brasileiro. Pesquisas desenvolvidas em predição da retração da linha de costa e perda de terra são fundamentais para o planejamento das estratégias de gestão costeira. O método consistiu no estabelecimento de uma grade amostral com a realização de 11 perfis topográficos transversais a linha de costa com equidistância de 10 m, compreendendo o campo de dunas frontais e a face de praia. A hipótese foi simulada através de modelos gerados pelo programa *surfer*. Correlacionando dados oceanográficos, meteorológicos e topográficos, pode-se afirmar a fragilidade da praia do Japão para eventos relacionados à inundações. Conclui-se que seja de extrema importância para o planejamento costeiro a análise e estudos do potencial e vulnerabilidade das regiões litorâneas à hipótese de uma elevação do nível do mar em longo prazo.

Palavras-chave: praia arenosa, elevação do nível do mar, riscos.

ABSTRACT

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) predicts an increase in frequency of occurrence and intensity of extreme phenomena; for example the ocean overtopping due to storm conditions associated with storm surge, causing disturbances in coastal systems, mainly sandy areas, whose resiliency is already, in many cases, damaged. Japao's beach, located on the east coast of the state of Ceara, is a region with a high tourism content and because of that it is a coastal zone that is subject to risks associated with climate change and the consequent sea level rise. Even environments such as post-beach and dune fields gradually migrate inland, more internalized and stable regions, will be any closer to the shoreline and thus more vulnerable to the impacts of extreme events. In this context, this work aims to identify the flood risk from sea level rises forecast in sandy beach in the northeastern Brazilian coast. Prediction of the shoreline retreat and loss of land is a critical issue for the planning of coastal management strategies. The method consisted in establishing a sampling grid with the completion of 11 transverse topographic profiles to the shoreline with equidistance of 10 m, comprising the field of frontal dunes and the beach face. The hypothesis was simulated using models generated by surfer program. Based on oceanographic, meteorological and topographic data, it can be affirmed the fragility of Japan's beach for flooding events. It can be concluded that it is extremely important for coastal planning analysis and studies and the potential vulnerability of coastal regions to the hypothesis of a rise in sea level over the long term.

Keywords: sandy beach, sea level rise, risk.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVO GERAL.....	13
2.1	Objetivos específicos.....	13
3	Ambiente praial.....	13
3.1	Berma	14
3.2	Dunas.....	15
3.3	Linha de costa.....	15
4	DINÂMICA COSTEIRA	16
4.1	Regimes de marés	16
4.2	Eventos de alta energia	16
4.3	Ondas	18
4.4	Ventos.....	18
4.5	Processos erosivos em ambientes costeiros	19
4.6	Aumento do nível médio do mar.....	19
5	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	21
5.1	Aspectos geológicos e morfológicos	22
5.2	Aspectos meteoceanográficos.....	22
5.3	Aspectos sedimentológicos	23
6	METODOLOGIA	23
6.1	Etapa inicial	24
6.2	Etapa de campo	24
6.3	Etapa de laboratório	25
7	RESULTADOS	26
7.1	Os efeitos da sazonalidade na mobilidade praial.	26
7.2	Regimes de inundação costeira e impactos associados	30
7.3	Capacidade de proteção natural da berma com base nas previsões de subida do nível do mar ...	32
8	CONCLUSÃO	36
	REFERÊNCIAS.....	37

LISTA DE LUSTRAÇÕES

Figura 1 - Compartimentação geomorfológica da praia.....	14
Figura 2 - Os quatro regimes que representam os impactos de tempestades em zona costeira	17
Figura 3 - Escala de impactos de tempestade em praias arenosas.	18
Figura 4 - Variação do nível do mar.....	20
Figura 5 - Mapa de localização da área	22
Figura 6 - Representação da malha de monitoramento da praia do Japão	24
Figura 7 - Imagens dos dias de campo.....	25
Figura 8 - Terraplanagem de dunas frontais na praia do Japão.....	27
Figura 9 - Evolução da morfologia praial nos períodos de maior ocorrência da ressaca do mar	28
Figura 10 - Volume dos sedimentos da grade amostral durante o período de experimentos na praia do Japão.....	29
Figura 11 - Regime de inundaçãoFonte	31
Figura 12 - Simulalações das inundações atuais.....	33
Figura 13 - Simulações de inundações para os cenários de 2100	34
Tabela 1 - Valores de Run up, máxima elevação de run up, DHigh e DLow para os períodos da pesquisa em cada ponto.	31

1 INTRODUÇÃO

Conforme Nicoladi & Petermann (2010), um dos grandes desafios a serem enfrentados pela humanidade no Século XXI é o processo de mudanças climáticas, visto que apresenta um grande potencial de gerar impactos econômicos e sociais; com efeito direto na qualidade de vida das populações costeiras. Os autores mencionados ainda afirmam que as ações para enfrentar esse desafio devem ser fundamentadas no conhecimento profundo dos cenários atuais e previstos e desenvolvidas pelos diversos setores da sociedade. Por esse motivo, é cada vez maior a pressão exercida sobre o litoral, e suas consequências relacionadas à degradação de ambientes. Previsões relacionadas às mudanças climáticas sugerem um aumento da frequência e da intensidade de eventos extremos, gerando uma maior preocupação com a vulnerabilidade da zona litorânea (NICOLADI & PETERMANN, 2010).

Atualmente, muito se discute sobre as variações do nível médio do mar de curto ao longo prazo. Esse aumento do nível do mar é induzido principalmente pelo aquecimento global que aumenta a temperatura nos oceanos e pelo derretimento das calotas polares. O *Intergovernmental Panel on Climate Change* é a organização mais citada das que fazem projeções para os próximos anos (SILVA, 2012)

De acordo com Borges (2004), a região litorânea, é um dos ambientes naturais mais dinâmicos e produtivos do planeta; e, além disso, é uma das zonas mais importantes onde os processos morfodinâmicos interagem. Segundo Gruber (2003), a zona costeira é uma das áreas mais complexas e de maior estresse ambiental, estando dessa forma submetida a fortes pressões de origem natural e antrópica.

O uso e a ocupação indevidos de áreas costeiras são fatores determinantes para a modificação do ambiente, principalmente quando há a construção de algum tipo de referencial fixo que se interpõe à trajetória de recuo da linha de costa. (DOMINGUES, 2000). Os motivos destas alterações na zona costeira são as mudanças nos processos físicos, que modificam sua morfologia, podendo gerar impactos ambientais relacionados à disponibilidade de sedimentos e o consequente recuo da linha de costa, desrespeitando a capacidade de suporte do ambiente e, dessa forma, provocando danos de ordem social e econômica (PINHEIRO, 2003).

O equilíbrio do litoral é definido pelo sistema continente-oceano-atmosfera, pois as variáveis atuantes podem tornar o ambiente costeiro instável, causando até

mudanças nos padrões morfodinâmicos associados a processos de sedimentação e erosão (SOUZA, 1988). Segundo Morais (1996), Bird (1999) e Muehe (2006), o processo de erosão costeira, atuante em 70% das praias arenosas, ocorre quando o volume de sedimento retirado é menor do que o depositado; e afeta aproximadamente 70% das linhas de costa do mundo, ocasionando diminuição da largura e volume da faixa de praia, além do comprometimento de outros sistemas associados.

Matias (2010) afirma que se faz cada vez maior a busca por respostas às condições e variações ambientais das regiões litorâneas, principalmente nos últimos anos em que a principal preocupação é com as mudanças climáticas e suas consequências nos oceanos e região costeira. O autor ressalta que dentre os fenômenos que estão ocorrendo, a inundação tem recebido destaque, pois na medida em que o mar avança, as ondas alcançam uma maior distância e atingem campos de dunas e interferem no transporte de sedimentos para o continente, ocasionando a erosão e recuo da linha de costa.

Moura (2012), destaca a importância de estudos de monitoramento que relacionem o processo de expansão urbana à fragilidade natural da zona litorânea, principalmente devido ao atual cenário global de mudanças climáticas, em que alguns dos efeitos observados são a elevação do nível médio do mar, e o aumento na frequência e intensidade de eventos extremos, tornando as regiões costeiras mais vulneráveis ainda.

A pesquisadora Ramos (2009), determina as inundações como fenômenos hidrológicos naturais extremos inevitáveis, de frequência variável e induzidos por ocorrências meteorológicas que consistem na submersão de uma área usualmente emersa. Podem ser potencialmente perigosos dependendo da força, velocidade e frequência com que incidem na costa e se houver elementos a elas expostos, que possam ser destruídos ou gravemente danificados (RAMOS, 2009). O fato de uma área ser costeira em conjunção com o mal uso e ocupação, já a torna uma região de risco à inundação.

Desta forma, é de extrema importância a compreensão das causas dos processos erosivos na costa, de forma a facilitar a tomada de decisões estratégicas na gestão costeira com o intuito de minimizar os prejuízos causados na linha de costa.

2 OBJETIVO GERAL

Identificar os riscos de inundação em uma praia arenosa turística no litoral leste do estado do Ceará, gerando assim informações úteis à gestão e reordenamento de território.

2.1 Objetivos específicos

- Caracterizar o ambiente praial com ênfase na dinâmica sazonal da linha de costa para identificar o nível de mobilidade praial e os recuos e progradações da linha de costa.

- Simular os efeitos dos eventos de alta energia no *run up* das ondas e regimes de inundação.

- Avaliar a capacidade de proteção natural da berma com base nas previsões de subida do nível do mar propostas pelo IPCC para a região nordeste brasileira.

3 Ambiente praial

O ambiente praial desempenha funções significativamente relevantes tanto no viés ecológico como social e até econômico. Segundo Davis (1985), a praia é limitada pela mais alta atuação da onda e na porção inferior, pela marca de maré baixa ou onde há bancos e calhas na antepraia. Conforme Muehe (2006), praias são ambientes deposicionais no limite entre a terra emersa e a água, geralmente constituídas por sedimentos arenosos, podendo ser formadas por seixos e sedimentos lamosos acumulados por ações das ondas. Por apresentar mobilidade, as praias se adequam às condições oceanográficas de forma a tender ao equilíbrio (MUEHE, 2006). Para King (1959), a praia é um ambiente sedimentar costeiro condicionado por um sistema de ondas incidentes, e geralmente formada por areia.

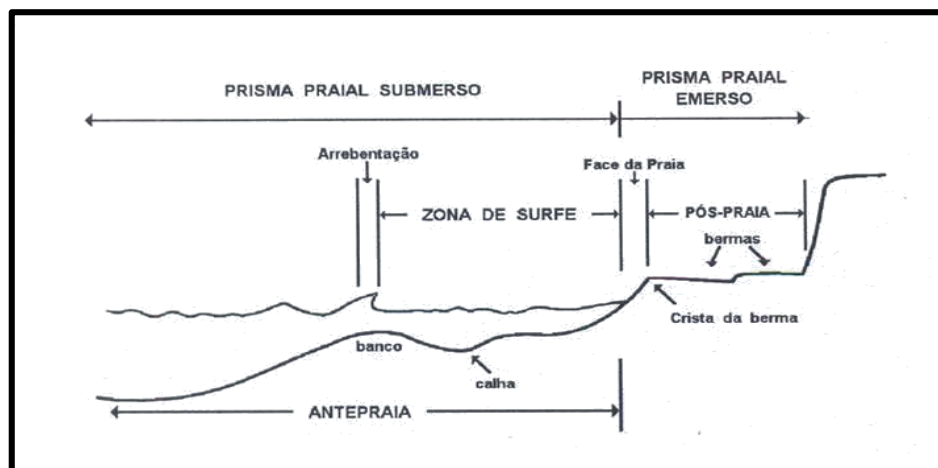
As praias são delimitadas pelo limite superior do espriamento até a profundidade de base da onda, sendo assim, o limite em que as ondas ainda atuam ativamente sobre o fundo marinho promovendo o transporte de sedimentos (SHORT, 1984). Praias são ambientes que ocorrem em todas as linhas de costa sedimentares

expostas a ondas. Conforme, Brown & McLachlan (1990) & Wright & Short (1984) as praias são formadas a partir da interação entre ventos, água e areia que resultam em processos hidrodinâmicos e deposicionais complexos.

Dessa forma, segundo Calliari (2003), os processos responsáveis pelo comportamento das praias começam a atuar na base da antepraia. E a partir desse limite externo são denominadas diversas zonas que compartimentam a praia de acordo com seus processos morfológicos e hidrodinâmicos. Conforme Morais (1996), a pós-praia é limitada pela berma e por um terraço de areia depositada pela ação das ondas, no limite da zona de espriamento.

A antepraia, segundo Muhue et al. (2001), pode ser desfragmentada em três partes: a superior, denominada a zona de surfe, limitada externamente pela arrebenção da onda; a média, que separa a zona de transporte de sedimentos e a zona com baixa taxa de sedimentação, e que envolve o trecho até a profundidade de fechamento; e a inferior, que corresponde ao dobro do comprimento da antepraia média permanecendo coberta pelas águas permanentemente. (FIGURA 1).

Figura 1. Compartimentação geomorfológica da praia.



Fonte: Adaptado de Muehe, 1994. Disponível em: <<http://www.zonacosteira.bio.ufba.br/praias.html>>.

3.1 Berma

De acordo com SHORT (1999), bermas são feições de acresção comuns em muitas praias, resultado de uma acumulação de sedimentos na areia, provenientes de influência de ondas. As bermas são as maiores feições na praia resultantes das ações das ondas; e se localizam em uma zona de transição entre a hidrodinâmica do

processo sedimentar e os processos eólicos. Conforme o mesmo autor, a crista da berma tende a ser mais distinta em praias compostas por sedimentos mais grosseiros, sendo na face de praia, tipicamente muito mais acentuada; e, nas praias de granulação fina a berma pode se apresentar de forma confusa devido às características rítmicas na linha costeira, incluindo cúspides oscilantes e lavagem local associada com canais de alimentação.

3.2 Dunas

De acordo com Lima (2012), dunas costeiras se desenvolvem baseados em condições como a disponibilidade do vento e a granulometria fina que são favoráveis para o transporte através de vento. Estas condições são geralmente encontradas em praias intermediárias, de gradiente suave. Segundo Carter (1990), a velocidade e direção do vento são fatores determinantes no transporte de sedimentos e na mobilidade das dunas. Carter et al., (1990) explicam que quando há diminuição na intensidade do vento a duna pode permanecer estável devido à um estado de equilíbrio entre o material granular e a vegetação. Além de forçantes naturais como vento, granulometria e ação do mar, as ações humanas podem gerar mudanças significativas não só na duna, mas em todo o sistema em que ela está inserida.

Dunas frontais (*foredunes*) são cordões paralelos à linha de costa e formadas logo após a pós-praia, quando sedimentos de granulometria fina são transportados pelos ventos e depositados em decorrência de algum tipo de obstáculo, (CALLIARI e FIGUEREDO 2005; HESP, 2002).

Segundo Hesp (1988) as dunas podem ser classificadas em cinco estágios seguindo um modelo evolutivo que pode ser aplicado a costas progradantes, estáveis ou em erosão. O autor classifica no estágio 1 a duna que possui topografia simples, lateralmente contínua e com muita vegetação. O quinto estágio classifica as dunas frontais que foram removidas por ação dos ventos e/ou ondas, permanecendo apenas montículos remanescentes e segmentos dos cordões (Hesp, 1988).

3.3 Linha de costa

O conceito de linha de costa é bastante amplo. Suguio (1992) afirma que a linha de costa se encontra entre o limite do continente e o mar, onde não há efetiva

ação marinha. Por ser um elemento geomorfológico bastante complexo, envolve diversos fatores de diferentes pressões e frequências tanto de origem antrópica quanto de origem natural (Camfield & Morang, 1996).

Devido a sua vulnerabilidade à tantos fatores, Mazzer (2009) sugere a necessidade de um frequente monitoramento da linha de costa, pois delimitar sua área e avaliar seu comportamento são de extrema importância para inúmeras atividades, principalmente as de engenharia e de planejamento. O principal fator que interfere na movimentação da linha de costa é a elevação do mar proveniente de fatores meteoceanográficos (RUGGIERO *et al*, 1997).

4 DINÂMICA COSTEIRA

4.1 Regimes de marés

As marés são formadas pela ação combinada de forças de atração gravitacional entre a terra, lua e sol, e por forças centrífugas que se localizam no interior da terra (SILVA, 2004). Elas são elementos importantes no processo de transporte sedimentar, pois suas oscilações alteram a morfologia da praia (HOEFEL, 1998).

Quando os três astros (Terra, Lua e Sol) estão alinhados, nas luas nova e cheia ocorrem os maiores alcances da maré, as marés de sizígia. Nas luas crescente e minguante os astros formam um ângulo reto, originando as marés de menores alcances, denominadas de quadratura.

Segundo Morais (1996) as marés podem ser classificadas de acordo com seu tempo de ocorrência, sendo do tipo maré diurna com regularidade de preamar e baixa-mar em um dia (24hs), maré semidiurna que apresenta duas preamares e duas baixa- mares em um dia; e maré mista que também apresenta duas preamares e baixa-mares, entretanto com significativa diferença na altura e duração do ciclo.

4.2 Eventos de alta energia

Conforme Antunes e Torboda (2009) eventos de alta energia são fenômenos oriundos de um aumento anormal do nível da água do mar provocado por uma tempestade de níveis superiores ao da maré astronômica prevista.

Com o objetivo de analisar e avaliar os impactos dos eventos de alta energia em região costeira, Sallenger (2000) desenvolveu uma escala de impacto de

tempestade com base na interação entre processos de tempestade e as feições geomorfológicas. A escala está baseada em 4 (quatro) parâmetros: R_{LOW} , R_{HIGH} , D_{LOW} e D_{HIGH} , e considera 4 diferentes regimes: espraiamento, colisão galgamento e inundação (FIGURA 2)

De acordo com Guerra (2014), o R_{HIGH} e o R_{LOW} incluem a elevação da maré astronômica, a sobre-elevação de tempestade ou (*storm surge*) e o alcance máximo das ondas (*wave run-up*). O R_{LOW} representa as elevações abaixo da praia submersa. Sallenger (2000) ressalta a importância do *wave run up* na dinâmica no ambiente praias, pois quando ultrapassa a cota da base das dunas gera inundação instantânea e contribui significativamente para a erosão das praias.

Conforme Silva (2012), o *wave run up* é determinado pelo empilhamento de água na costa devido a quebra de ondas e pelo espraiamento de onda na face da praia. Se faz essencial a compreensão do processo de *wave run up* para prevenir os impactos gerados pela inundação da costa.

Sallenger (2000) agrupou os 4 regimes em níveis máximos de impactos (FIGURA 3).

Figura 2. Os quatro regimes que representam os impactos de tempestades em zona costeira.

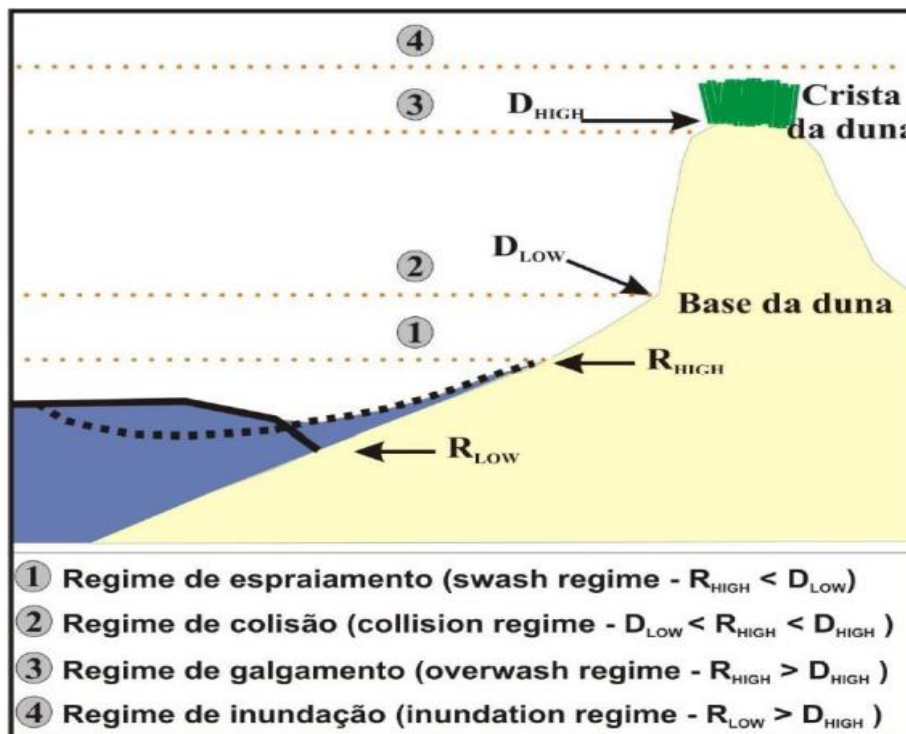


Figura 3. Escala de impactos de tempestade em praias arenosas.

Nível de impacto	Range of R_{HIGH}/D_{HIGH} e R_{LOW}/D_{HIGH}	Regimes e predições nas mudanças de praia
1	$R_{HIGH}/D_{HIGH} = 1$ para D_{LOW}/D_{HIGH}	Regime de espriamento (<i>Swash regime</i>)
2	$R_{HIGH}/D_{HIGH} = D_{LOW}/D_{HIGH}$ para 1	Regime de colisão (<i>Collision regime</i>)
3	$R_{HIGH} / D_{HIGH} > 1$ e $R_{LOW} / D_{HIGH} < 1$	Regime de galgamento (<i>Overwash regime</i>)
4	$R_{HIGH}/D_{HIGH} > 1$ e $R_{LOW} / D_{HIGH} > 1$	Regime de Inundação (<i>Inudation regime</i>)

Fonte: SALLENGER (2000).

4.3 Ondas

Ondas são movimentos que influenciam na morfologia e morfodinâmica da praia, formando diversas feições devido à remobilização de sedimentos na plataforma continental (MAIA, 2014). Como a onda é a energia da massa de água e possui capacidade modeladora de perfis saonais em espaço curto de tempo, a determinação de seus parâmetros é fundamental para um planejamento de construções e infraestruturas costeiras (USACE, 1992).

A ação dos ventos gera ondas na superfície do mar. Segundo Morais (1996), são três os tipos de ondas que podem entrar em contato com a costa. Ondas *swell*: cuja o período é longo e possui crista arredondada; geradas longe da zona costeira. Ondas *sea*: são ondas irregulares de período mais curto e que são resultantes da ação de ventos locais. E por último, ondas de tempestade: ondas de maior energia resultantes da ação de ventos fortes associados à tempestades, ocasionando intensos processos erosivos e movimentação de material sedimentar junto à praia, causando grandes impactos na costa.

4.4 Ventos

A intensidade e direção dos ventos são determinadas por fatores como : a pressão atmosférica, umidade do ar e evaporação. De acordo com Pinheiro (2000), os ventos são importantes na manutenção do equilíbrio e da paisagem das praias e regiões associadas. A ação eólica é fator determinante no transporte de sedimentos

para outros pontos deposicionais, formando dunas frontais ou dunas semifixas; na geração de ondas; e na modelagem da linha de costa (PINHEIRO, 2000).

4.5 Processos erosivos em ambientes costeiros

O processo de erosão foi definido por Suguio (1998) como sendo de origem natural, que pode atuar tanto em costa rasa quanto escarpada. Entretanto, vale ressaltar que a erosão costeira pode ser também induzida pelo homem. Já o processo de progradação da linha de costa foi definido pelo mesmo autor como um mecanismo de avanço da linha de costa mar adentro, geralmente relacionado à sedimentação por processos marinhos litorâneos ou fluviais; e também pode ocorrer de forma artificial através de métodos de engorda de praia.

A erosão costeira é um processo ocasionado devido à quebra do equilíbrio dinâmico original (ALFREDINI, 2005). O balanço se torna negativo quando o processo de erosão é dominante. Em praia onde o solo é arenoso o ambiente se torna mais sensível e a perda de areia em um setor tende a ser compensada pelo acúmulo em outro, equilibrando o sistema (MUEHE, 2001).

Para Moraes (1996), a erosão costeira tem início quando o material erodido é transportado da linha de costa em maior proporção do que é depositado. O mesmo autor divide a erosão costeira em dois tipos: erosão natural e erosão antrópica. A erosão natural é um processo normal de equilíbrio, resultado da sazonalidade dos regimes de ondas e da morfodinâmica das feições fisiográficas costeiras. Enquanto que na erosão antrópica existe a interferência do homem de diversas formas nesse sistema dinâmico. Muehe (2001) afirma que uma das principais causas da erosão na linha de costa é a urbanização da orla, sendo essa constatação um fator importante à medida em que se coloca a erosão provocada por fenômenos naturais em um segundo plano, dando foco a uma suposta elevação do nível do mar.

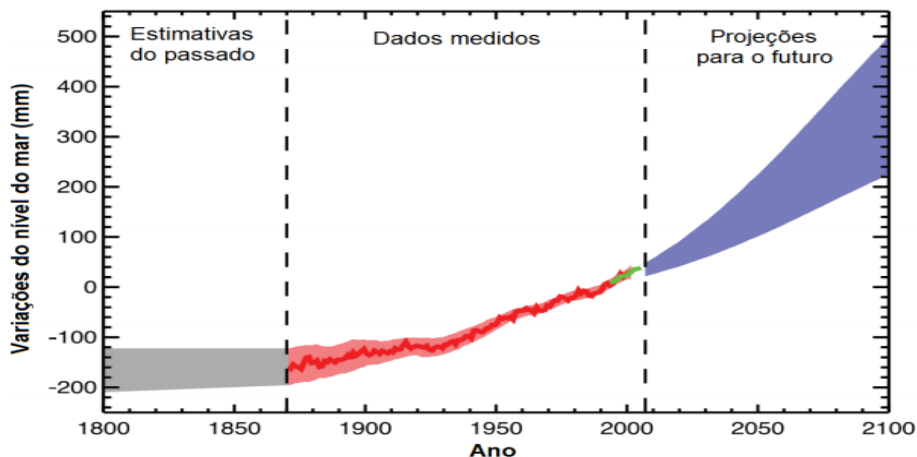
4.6 Aumento do nível médio do mar

O aquecimento global, em resposta ao acúmulo de gases de efeito estufa induzidos pelo homem, já causou várias consequências, dentre elas o aumento da temperatura média na terra e no oceano, ocasionando assim uma aceleração do processo de derretimento de geleiras e consequente elevação do nível médio do mar.

O Intergovernmental Panel on Climatic Change (IPCC) prevê o aumento de frequência de ocorrência e de intensidade de eventos extremos como por exemplo, os galgamentos oceânicos associados a eventos de storm surge, e as inundações na costa, provocando perturbações nos sistemas litorâneos, afetando de forma direta a sociedade. Esses fenômenos são acumulativo com a subida do nível do mar e afetarão as áreas de costa baixa planeta, especialmente as áreas de litoral arenoso (IPCC, 2001).

De acordo com o último relatório do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (Meehl et al., 2007), prevê-se o aumento da intensidade dos temporais marítimos em algumas regiões do globo e; conseqüentemente, o aumento do risco de inundação das zonas costeiras.

Figura 4. Variação do nível do mar.



Fonte: IPCC 2007

De acordo com Vaz (2010), as alterações climáticas sempre se fizeram presentes no nosso planeta; porém, antes do desenvolvimento de instrumentos tecnológicos e de produção, estas alterações ocorriam com uma sazonalidade equilibrada, de forma natural.

Entende-se por vulnerabilidade o grau de susceptibilidade de um sistema para lidar com os diferentes efeitos da mudança do clima, como a variabilidade climática e os eventos extremos do tempo (IPCC 2007). A vulnerabilidade está associada a uma função de carácter, força e ritmo da mudança do clima e da variação a que um sistema está exposto, considerando também sua capacidade de adaptação (IPCC II 2007). Já risco é a probabilidade de fracasso, considerando o quão susceptível a região está a perda em caso de perda dos valores a serem destruídos em caso de falha do sistema de proteção (Plate e Duckstein, 1988).

A vulnerabilidade natural da zona costeira é uma situação proveniente do aumento das inundações e da salinidade dos rios e aquíferos costeiros; assim como das alterações nos regimes de marés nos rios, das mudanças no transporte de sedimento e nutrientes e da contaminação química e microbiológica (IPCC, 1996).

Sistemas marinhos costeiros estão entre os mais vitais do planeta. Contudo, é visto cientificamente que os ecossistemas marinhos costeiros, juntamente com os serviços que naturalmente ofertam, são ameaçados pela mudança climática global acelerada por ações humanas (IPCC, 2001). As tendências climáticas atuais já desencadearam respostas significativas na biota da Terra (IPCC, 2001).

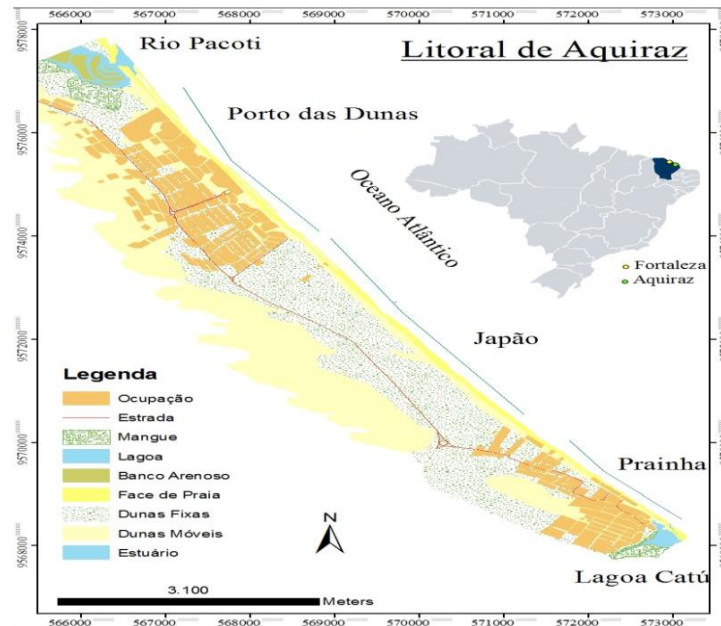
A teoria de Brunn (1962) estabelece que, quando o perfil de equilíbrio da zona litorânea é atingido, uma elevação do nível relativo do mar irá perturbar este equilíbrio, e então será restaurado mediante movimentação rumo ao continente. Devido a esse processo, com a erosão do prisma praial, o material será transferido e depositado na antepraia. O autor afirma que essa transferência de material sedimentar através de setores causa um desequilíbrio que proporciona a movimentação da linha de costa, aumentando o risco de degradação do ambiente.

Facilmente se conclui que a faixa costeira deve ser considerada como zona de risco, independentemente de suas variáveis terem forçantes naturais ou antrópicas.

5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Localizado na costa leste do estado do Ceará, o município de Aquiraz apresenta uma área de 480,976 km². Encontra-se a uma distância de aproximadamente 25 km da capital Fortaleza e possui um total de 30 km de praias (OLIVEIRA MAIA, 2014). Nas últimas décadas, impulsionado pelo desenvolvimento de Fortaleza, o município de Aquiraz vivenciou uma grande e acelerada expansão urbana na orla marítima em uma pequena escala de tempo, gerando assim uma mudança também na morfologia e morfodinâmica de algumas praias.

Figura 5: Mapa de localização da área.



Fonte: Elaborado por Oliveira Maia (2013).

5.1 Aspectos geológicos e morfológicos

Encontram-se na praia do Japão as seguintes feições geomorfológicas: faixa de praia (*beachface*), dunas frontais, planícies de deflação eólica e dunas fixas (OLIVEIRA & MEIRELES, 2010).

A praia é arenosa, moderadamente inclinada, influenciada por marés e com perfil morfodinâmico característico de praia intermediária (MOURA & MORAIS, 2011). No município de Aquiraz é característico as dunas barcanoides, transversais e frontais (BRANCO *et al* (2003).

A praia do Japão é visivelmente caracterizada por dunas frontais que foram removidas parcialmente por ações das ondas e ou dos ventos.

5.2 Aspectos meteoceanográficos

Os ventos alísios predominam no nordeste brasileiro. Maia (2014) constatou, segundo os dados obtidos pelo Banco de Dados Meteorológicos – BDMEP/INMET, que a direção predominante dos ventos no primeiro semestre do ano é de E-NE (60°-90°) e no segundo semestre E-SSE, tendendo para SE (120°-150°). As velocidades médias variam ao longo do ano ente 4 e 10 m/s (MAIA, 1998).

A sazonalidade se faz presente no clima de ondas, associando diretamente ao comportamento dos ventos dominantes (MAIA, 2014). Quando os ventos dominantes são os alísios de nordeste, as ondas incidem na forma de *swell*. No restante do ano, com a migração da ZCIT para norte e o predomínio dos alísios de sudeste, as ondas atingem a costa na forma de *sea* (CLAUDINO-SALES *et al*, 2006).

Conforme as pesquisas de dados coletados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias – INPH (2001) de MAIA (2014), as ondas que predominam no litoral são as do tipo *sea*, apresentando período entre 4 e 9 segundos. Contudo, vale ressaltar que no primeiro semestre, as ondas *swell* são as que dominam com picos entre 10 a 16s. No segundo semestre (setembro-outubro) também há entrada de *swell*, geralmente promovendo uma egorda na praia (MAIA,2014).

De acordo com Morais (1980),as marés na região são semidiurnas com período médio de 12,4 h e defasagem média de 50 minutos.

A corrente longitudinal tem direção predominante para NW, variando de 8 cm/s-1 a 68 cm/s-1 na superfície e de 7 cm/s-1 a 12 cm/s-1no fundo (MAIA,1998). Moura e Morais (2011) determinara que no período de 2007 e 2008, as velocidades de correntes longitudinais eram de 0,01 m/s no período de chuvas e de 0,04 m/s no período de estiagem para a zona costeira de Aquiraz.

5.3 Aspectos sedimentológicos

De acordo com Maia (2014), os sedimentos da duna frontal na praia do Japão são constituídos predominantemente por areias quartzosas com granulometria média. Os dados obtidos por Maia (2014) afirmam que 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.

6 METODOLOGIA

Essa pesquisa foi compartimentada em 3 etapas. Na primeira, foi realizada o levantamento bibliográfico, referente à uma consulta dos temas abordados. A segunda consistiu-se em coleta de dados através de metodologia específica. O tratamento de amostras e de dados em laboratório caracterizou o último estágio do trabalho.

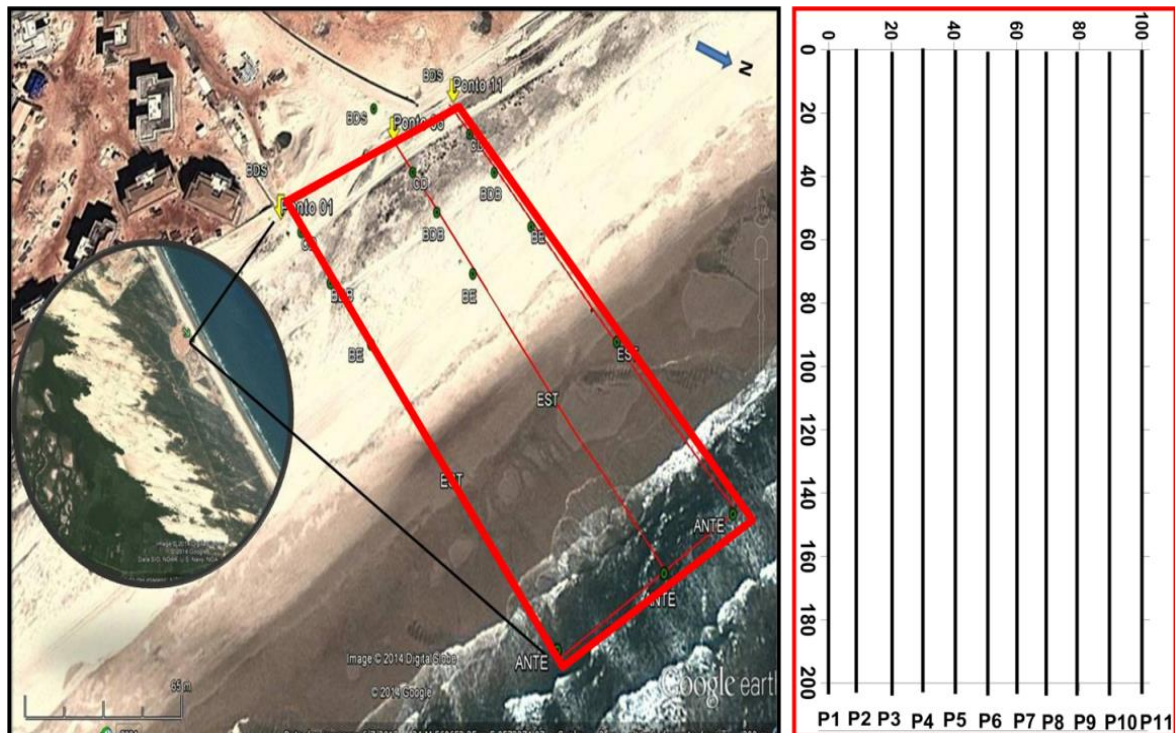
6.1 Etapa inicial

O trabalho iniciou-se com o levantamento bibliográfico dos processos costeiros e de dinâmica litoral, de análises sedimentológicas, dos processos erosivos e de transporte eólico no litoral de Aquiraz. Na etapa inicial também foram definidos a área de trabalho e os pontos de monitoramento e amostragem.

6.2 Etapa de campo

Nesta etapa do experimento, o método de avaliação consistiu no estabelecimento de 11 perfis topográficos transversais a linha de costa com equidistância de 10 m, delimitando uma malha de 200 x 100 m, que englobou feições da Praia do Japão desde a estrada passando pela duna frontal até -2,5 m de profundidade na antepraia. Incluiu setores como base da duna, crista da duna, base da duna à barlavento, Pós-Praia, estirâncio e antepraia. Para essa metodologia, foi utilizado um sistema DGPS-RTK e Estação Total RTS-825R³ da marca Ruide disponibilizado pelo LOG (Labomar-UFC). Paralelamente a elaboração do MDT foi calculado o volume sedimentar da área para cada mês de experimento.

Figura 6: Representação da malha de monitoramento da praia do Japão



Fonte: Maia, 2014.

Figura 7: Imagens dos dias de campo



Fonte: Autoria própria

Os experimentos foram realizados nos meses de outubro de 2011, período de domínio das ondas sea e início das ocorrências de swell; e, entre os meses de janeiro a abril de 2012, realizados mensalmente na baixa-mar de sizígia com pico de swell. A previsão das marés foi obtida através do site da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha-DHN.

6.3 Etapa de laboratório

Os dados processados permitiram a geração do Modelo Digital de Terreno (MDT) realizado através do software Surfer versão 9. Os dados foram organizados em *worksheet* em plano cartesiano X, Y e Z e foram transformados em informações gráficas (*grid) (DOYLE, 1978). Em seguida, foi possível gerar mapas em superfície 3D; e, dessa forma, analisar a variação sazonal da morfologia praial e identificar as áreas de maior dinâmica sedimentar correlacionados com cálculo de volume. Guerra (2014) sugere que o estudo da variação sazonal do volume de sedimentos permite avaliar o equilíbrio morfológico da praia. A análise do balanço sedimentar da área de estudo foi realizado através do *software Surfer*.

Para determinar o RHIGH e o RLOW, foi realizada a intergração de dados como níveis de maré, sobre-elevação meteorológica (*storm surge*) e *run-up* e *set-up* das ondas. Entende-se por DHIGH, o limite superior da duna frontal e por DLOW, a base da duna sendo o limite entre o início da duna e a face de praia (SALLENGER 2000).

A relação que representa o valor do run-up excedido em 2% (R2) (SALLENGER, 2000), foi obtida através da parametrização empírica abaixo proposta por Stockdon et al. (2006).

$$R2 = 1.1 (0.35 \beta f (HsL)^{1.2} + [HsL(0.563 \beta f^2 + 0.004)]^{1.2})$$

Entende-se por βf o declive da praia (*beach slope*); Hs, a altura significativa da onda e L, o comprimento da onda.

Os pontos vulneráveis ao galgamento na praia do Japão, foram definidos de acordo com cenários com altura significativas de ondas. Para isso foi considerado o alcance máximo da elevação do *run-up* (RHIGH), calculado através da equação proposta por Sallenger (2000):

$$RHIGH = R2 + \eta_{mean}$$

O valor de R2 foi estabelecido pela parametrização empírica de Stockdon et al. (2006) e o η_{mean} (nível médio do mar) que corresponde a soma da maré astronômica e da sobre-elevação meteorológica (*storm surge*), que com base no trabalho de Paula (2012), o valor médio para o litoral do Ceará é de 0,32 m.

7 RESULTADOS

7.1 Os efeitos da sazonalidade na mobilidade praial.

Com base no MDT gerados e nas pesquisas de Maia (2014), pode-se observar a significativa capacidade de transporte sedimentar em um curto espaço de tempo.

A praia do Japão, por ainda não possui ocupação relevante, apresenta um extenso campo de dunas frontais. Com base na tese de Maia (2014), a distância entre a estrada e a base das dunas é de 120 metros e estão localizados entre as cotas e 8,5m e 5,6m. Essa dinâmica pôde ser verificada durante os caminhamentos na linha de preamar onde as ondas excederam a altura das escapas que tinham altura entre 1,0 e 1,6 metros (MAIA, 2014).

Pode-se observar que no mês de outubro de 2011 ocorreu ondas sea com

Hs variando de 1,7 a 1,9 m. Na arrebentação a altura média (H_b) era de 1,2 m. Nesse período houve redução da cota com erosão na base da duna frontal e sedimentação no perfil 1 e no setor central. No período dentre outubro/11 e janeiro/12, houve sedimentação do estirâncio médio e erosão do perfil 1. 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 (MAIA, 2014).

Vale ressaltar, que foi iniciado o processo de rebaixamento do terreno (figura 8) na praia do Japão. Dessa forma, os campos de dunas e a faixa de praia podem se tornar cada vez mais fragilizadas, aumentando a vulnerabilidade da praia, tendo em vista que as dunas são feições estratégicas de proteção a possíveis eventos de elevação do nível do mar.

Figura 8: Terraplanagem de dunas frontais na praia do Japão.

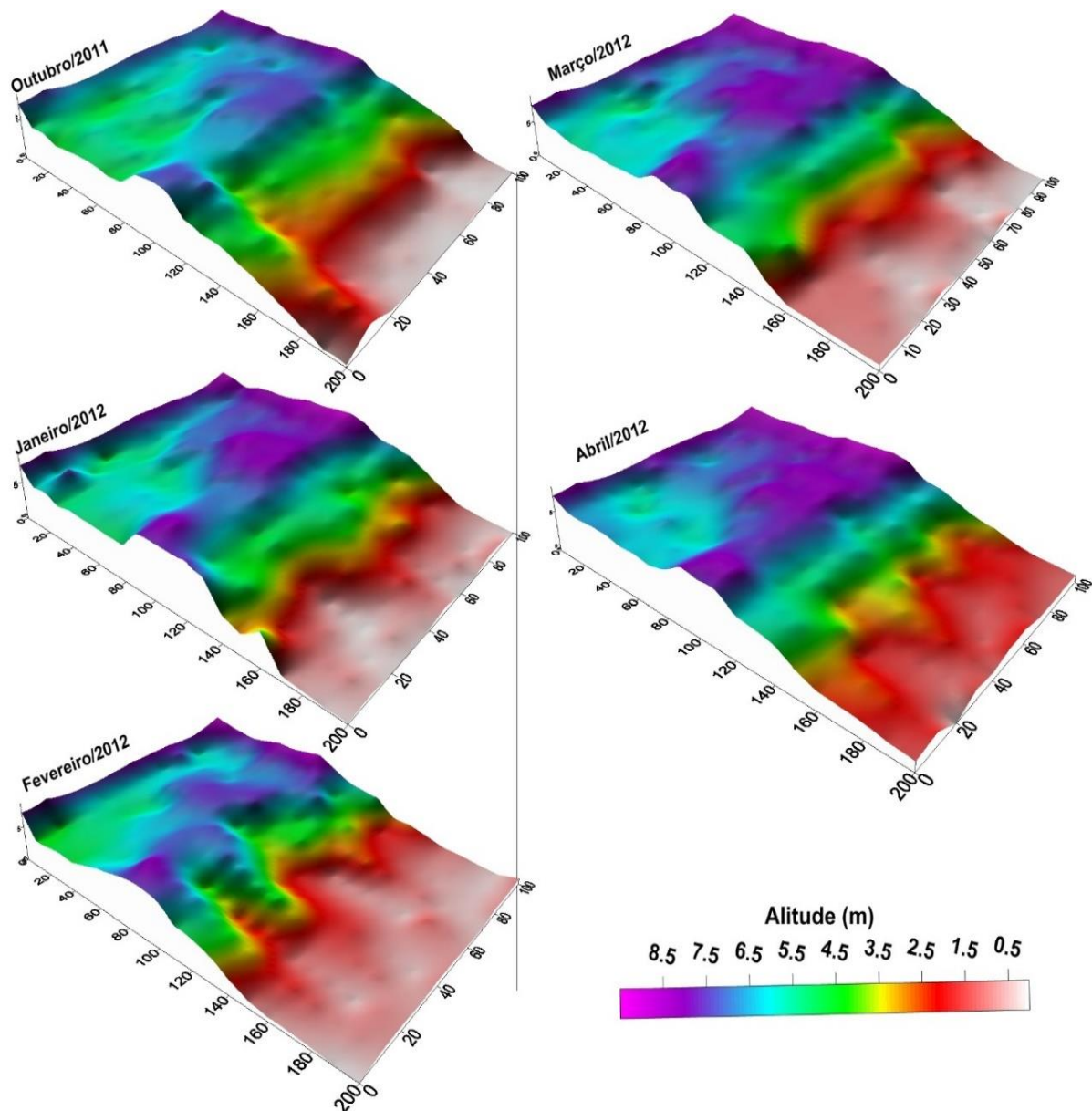


Fonte: Próprio autor.

Comparando o MDT de outubro de 2011 a abril de 2012 observa-se que existe uma tendência de perda de material da face de praia. Esse fenômeno pode ser explicado devido ao 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 do rebaixamento das dunas.

Figura 9: Evolução da morfologia praial nos períodos de maior ocorrência da ressaca o mar



Conforme Short (1999), o volume sedimentar é dado pela fonte de sedimento menos as perdas em um determinado espaço de tempo, e varia quando há retirada ou deposição de material, geralmente, de forma natural, em eventos de tempestades (*storms*) e pós-tempestades (*post-storms*).

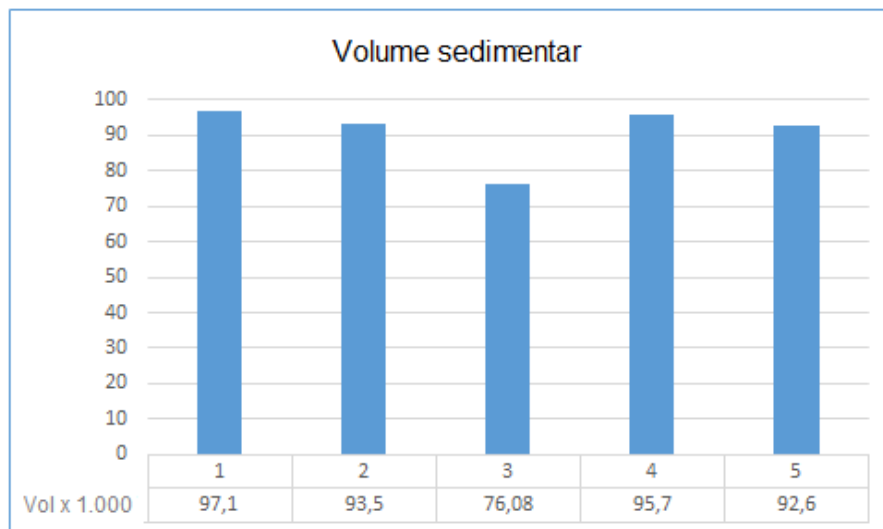
As pesquisas de Oliveira Maia (2014) afirmam que os sedimentos da duna

frontal na praia do Japão são constituídos predominantemente por areias quartzosas com granulometria média.

O maior volume sedimentar ocorreu no mês de outubro de 2011, provavelmente devido às fortes incidências de ventos no segundo semestre. O mês com menor volume sedimentar foi o de fevereiro, apresentando apenas 97,1 x1000 m³. Este último mês corresponde a mobilização dos sedimentos das cristas das dunas para a faixa de praia em decorrência do overwash, intensificado pela entrada de swell típico com período de onda de 12 segundos e altura de onda de 2 metros.

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), corroborando o volume sedimentar calculado; 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.

Figura 10: Volume dos sedimentos da grade amostral durante o período de experimentos na praia do Japão.



Fonte: Autoria própria.

A variação no comportamento da praia do Japão é causada por elementos naturais, nos quais as forças alteram o transporte de sedimentos paralelo e perpendicular à costa em escala curta de tempo. Os processos costeiros são importantes no controle da morfologia da praia e são eles que determinam geralmente

os locais de erosão, progradação ou estabilidade costeira.

7.2 Regimes de inundação costeira e impactos associados

A análise dos parâmetros oceanográficos observados, permitiu comprovar o importante papel das ondas no empilhamento da água junto à costa.

A sobrelevação associada as ressacas do mar no primeiro semestre, com destaque para os meses de janeiro a abril, estão associadas a entrada de sucessivas ondas de maior altura e período caracterizando entrada de *swell*. Dessa forma, podemos determinar o tipo de regime que o ponto da praia sofreu.

O *overwash* é o regime que ocorre quando a altura da onda (runup) atinge a parte superior da crista da duna ou da berma. De acordo com Oliveria Maia (2014), eventos de ressaca seguidos de *overwash* ocorrem sazonalmente no litoral cearense como consequência da sobrelevação 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 astronômicos como as marés equinociais.

Para determinar o regime de inundação para cada ponto da praia do Japão, foram analisados e tidos como base para o cálculo os parâmetros oceanográficos. No mês de outubro a altura de onda H_s foi de 1,7 m e apresentou período de onda de 5,8 e maré de 3, 2 metros. Combinando esses dados oceanográficos com a tangente de declividade do terreno e o valor de storm surge de 0,32 , conforme Paula (2012) para também os meses de janeiro a abril, obtêm-se os valores da tabela 1.

Tendo como base os parâmetros de cada ponto referentes a cada mês de experimento (TABELA1), pode determinar os regimes que atuaram na praia de acordo com as condicionantes da FIGURA 11.

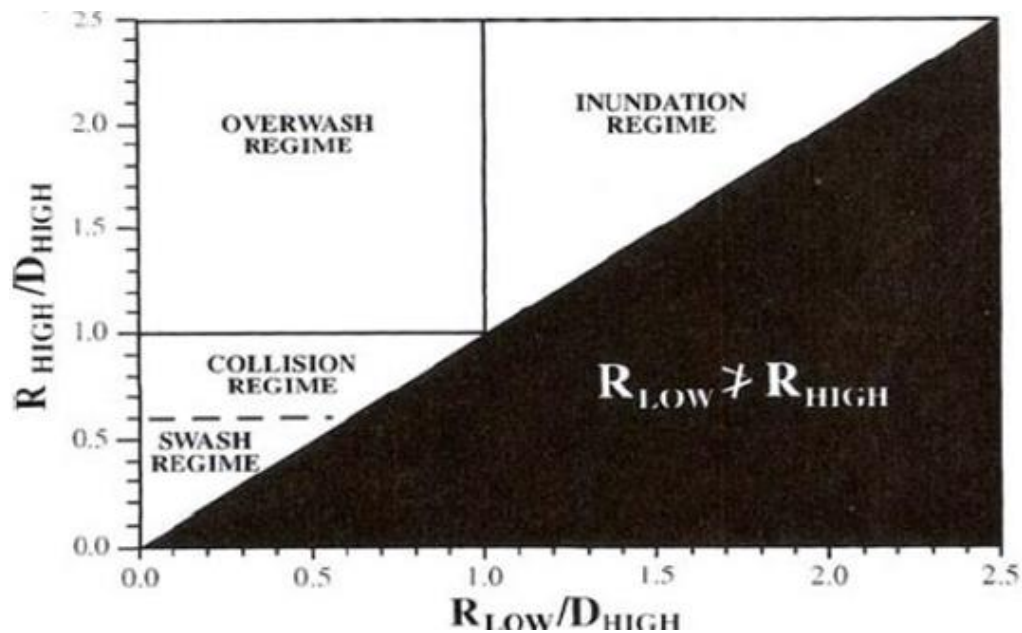
Dessa forma, pode-se afirmar o regime de colisão presente na praia do Japão, visto que o D_{high} encontrado foi maior que o R_{high} em todos os pontos, definindo o impacto no intervalo entre a base da duna e o topo. O destaque para a altimetria do topo das dunas ressalta a intensidade do evento na região; além da significativa entrada de *swell*.

Tabela 1: Valores de Run up, máxima elevação de run up, DHigh e DLow para os períodos da pesquisa em cada ponto.

	OUTUBRO				JANEIRO				FEVEREIRO				MARÇO				ABRIL			
	RUN UP	R HIGH	D HIGH	D LOW	RUN UP	R HIGH	D HIGH	D LOW	RUN UP	R HIGH	D HIGH	D LOW	RUN UP	R HIGH	D HIGH	D LOW	RUN UP	R HIGH	D HIGH	D LOW
P1	0,38	3,90	7,19	4,49	0,64	4,20	6,49	2,52	1,22	4,70	7,00	3,88	0,64	5,84	6,91	4,55	0,48	4,00	6,72	4,58
P2	0,34	3,90	7,42	4,72	0,49	4,00	7,47	4,54	1,05	4,60	6,50	2,99	0,62	6,82	7,18	4,20	0,48	4,00	7,39	4,47
P3	0,34	3,90	6,22	3,82	0,43	4,00	6,49	4,00	1,32	4,80	6,56	2,85	0,63	6,53	6,83	4,00	0,55	4,07	6,51	4,12
P4	0,42	3,90	6,30	4,51	0,49	4,00	5,85	4,63	1,22	4,70	6,33	2,10	0,53	6,23	6,45	4,00	0,46	3,98	6,77	4,00
P5	0,42	3,90	6,78	4,55	0,49	4,00	6,38	4,47	1,05	4,70	6,53	3,20	0,59	5,79	6,24	3,52	0,48	4,00	6,85	4,32
P6	0,46	4,00	7,00	4,78	0,49	4,00	7,15	4,75	1,20	4,60	5,00	2,00	0,58	6,28	7,00	4,95	0,37	3,89	7,00	3,50
P7	0,46	4,00	7,16	4,43	0,49	4,00	7,32	4,63	1,32	4,70	6,47	2,60	0,63	6,57	7,00	3,80	0,39	3,91	7,20	3,98
P8	0,46	4,00	7,17	5,05	0,44	4,00	7,00	3,64	1,32	4,80	6,45	3,73	0,60	5,25	7,00	4,90	0,47	3,99	7,20	3,69
P9	0,46	4,00	6,99	4,65	0,44	4,00	7,00	4,58	1,32	4,80	6,80	3,86	0,61	5,81	7,15	4,22	0,50	4,02	6,73	4,55
P10	0,46	4,00	7,00	4,94	0,40	3,90	7,35	3,21	1,32	4,80	7,00	2,45	0,59	5,98	7,10	3,37	0,39	3,91	6,49	3,00
P11	0,50	4,00	7,86	6,05	0,59	4,10	7,46	5,91	1,32	4,80	7,00	2,30	0,71	5,91	8,20	4,00	0,53	4,05	7,70	4,50

Fonte: Autoria própria

Figura 11: Regime de inundação (●).



Fonte: Sallenger (2000)

O risco de inunda o costeira devido às marés altas e ondas energéticas está concentrado em torno das áreas urbanas que apresentam uma maior vulnerabilidade devido a baixa altitude. Inunda es costeiras e urbana são um perigo para a sociedade global, principalmente para as zonas costeiras com um elevado

índice de ocupação. A criação de infraestruturas rígidas afim de evitar os possíveis desastres na costa podem acabar aumentando de forma indireta a erosão e danificar ainda mais os ecossistemas.

Matias et al. (2005) sugeriu que um incremento nas dunas ou bermas podem mitigar eventos de overwash, tornando assim uma possível estratégia para a problemática que esse processo pode vir a causar. A berma da praia desempenha um importante papel na gestão de inundações costeira. Dessa forma, estudos nos Estado Unidos sugerem a criação de bermas artificiais com base nas previsões de elevação do mar a curto e a longo prazo. Contudo, os dados de design e desempenho da berma são fundamentais para o sucesso do projeto. A compreensão da eficácia desse tipo de pesquisa é bastante relevante para a gestão das praias em um futuro próximo

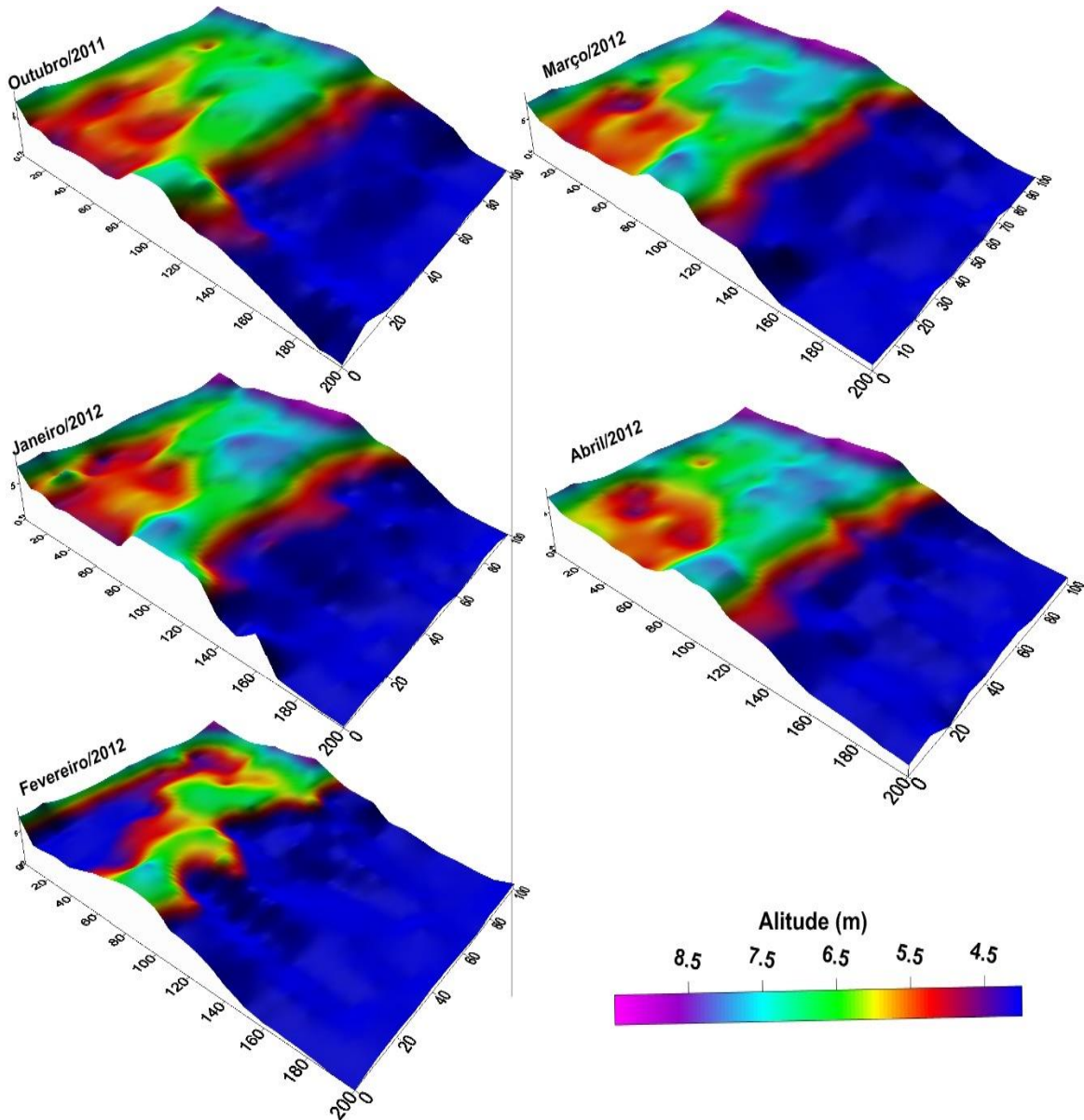
7.3 Capacidade de proteção natural da berma com base nas previsões de subida do nível do mar

De acordo com o Quinto Relatório do IPCC (2014), entre 2000 e 2010 as emissões cresceram mais rapidamente do que na década anterior, especialmente em razão do aumento do uso de carvão para geração de energia. Atualmente, a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera é a mais alta desde últimos 800 mil anos. Conforme o relatório de 2014, se tudo continuar do mesmo jeito, a previsão é de que até 2100 a temperatura média global aumente quase 5°C.

O nível do mar aumentou em cerca de 19 cm entre 1901 e 2010 devido à expansão térmica das águas. No cenário mais pessimista, a elevação pode chegar de 45 a mais de 80 cm até 2100 devido ao aumento de 2,6 °C ou 4,8 °C na temperatura do planeta. Já no cenário mais otimista, com corte de emissões e políticas climáticas, o aumento da temperatura terrestre poderá variar entre 0,3 °C e 1,7 °C de 2010 até 2100 e conseqüentemente o nível médio do mar subirá entre 26 e 55 cm ao longo deste século.

Através das atuais simulações de inundações (figura 12), baseados nos dados topográficos, climáticos e oceanográficos, constata-se que os eventos de alta energia do primeiro semestre são responsáveis pelos regimes de galgamento, induzidos pelo wave setup (sobre-elevação devido intensidade das ondas).

Figura 12: Simulações das inundações atuais



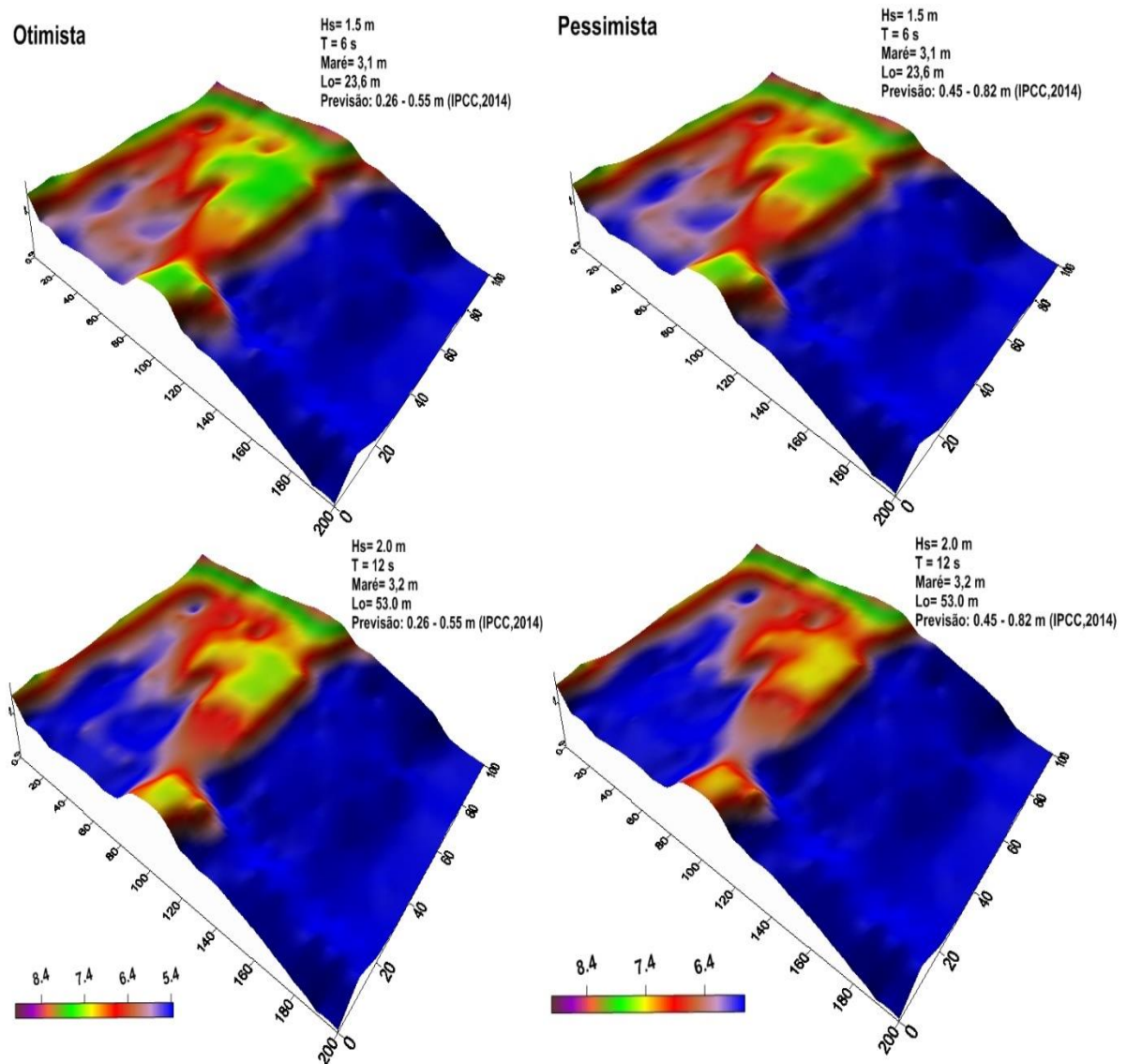
Fonte: Autoria própria.

Simulando os cenários do IPCC para a região da praia do Japão, baseados nos parâmetros oceanográficos temos,

$H_s (1,5) + \text{storm surge} (0,32) + \text{maré} (3,2) + \text{projeção}$

Dessa forma, simulando a pior hipótese do cenário pessimista, a praia do Japão apresentará uma elevação de 5,82 metros. Enquanto na melhor hipótese do mesmo cenário, a elevação será de 5,47 metros. Para a pior hipótese do cenário pessimista, haverá uma elevação de 5,57 metros comparado a 5,28 da melhor hipótese. A figura 13 representa essas simulações. Pode-se observar que a elevação do nível do mar supera a cota de 5 metros, sendo inquestionável os fenômenos de inundação.

Figura 13: Simulações de inundações para os cenários de 2100



Fonte: Autoria própria.

A erosão costeira é um efeito esperado e já vem sendo observada, ocasionando o recuo da linha de areia nas praias, mudanças no perfil dos litorais e destruição de infra-estruturas litorâneas construídas pelo homem, como barragens, estradas e habitações. Os resultados comprovam que região apresenta elevado risco de inundação. Além da erosão, a inundação de áreas baixas costeiras; os efeitos sobre os ecossistemas costeiros, como a intrusão de água salgada nos estuários e aquíferos; e mudanças na deposição de sedimentos ao longo dos canais fluviais são consequências preocupantes sobre o ambiente natural.

A possibilidade de evitar esse aumento da temperatura terrestre e consequente subida do nível do mar depende de uma ação sustentável, política e social da comunidade como um todo; ainda assim, provavelmente alguns danos e riscos ao meio ambiente e às populações não poderiam ser mais evitados.

8 CONCLUSÃO

- O espraiamento das ondas ultrapassando a pós praia e alcançando a base da duna frontal e a deficiência de granulometria fina, foram os principais indicadores/consequências dos eventos de alta energia na praia do Japão, pois aumentam a fragilidade da praia.
- Com base nos parâmetros oceanográficos e atmosféricos pode-se comprovar que o empilhamento da água junto à costa durante a ressaca ocorrida em fevereiro e março/11 foi ocasionada pela entrada de sucessivas ondas do tipo swell.
- A morfologia da Praia do Japão apresentou alterações em curto período que resultaram tanto na retirada, quanto na acreção de sedimentos dos perfis de praia.
- As dunas frontais são feições extremamente importantes que servem como verdadeiros muros de proteção aos eventos de alta energia e elevação do nível do mar.
- Em zonas não ocupadas ainda, observa-se que não existe uma preocupação com o fenômeno do recuo de linha de costa e inundações; dessa forma, se faz essencial um disciplinamento de gestão de uso e ocupação do solo, com a delimitação de faixas de recuos.
- O desenvolvimento do estudo na área da praia do Japão mostrou que a metodologia empregada para a identificação e avaliação de áreas vulneráveis aos eventos de alta energia e subida do nível do mar foi válida e viável para tal finalidade.
- Considerando as projeções para 2100, os resultados mostram que o risco de inundações é bastante elevado tendo como base a altimetria do terreno; e afirmam a necessidade de medidas de adaptação à essas condições.
- O monitoramento da praia proporciona uma maneira de entendimento de sua dinâmica e os fatores que influenciam os ganhos e perdas ao longo da costa e podem revelar tendências de estabilidade de praia ou taxas de movimentação desta linha.

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, C.; TABORDA, R. Sea level at Cascais tide gauge: data, analysis and results. *J. Coastal Research* SI 56 (1) pp. 218-222, 2009.
- BAKUN, A. Global climate change and intensification of coastal ocean upwelling. *Science*, 247, 198–201, 1990.
- BIRD, E. C. F. *Submerging coasts: the effects of a rising sea level on coastal environments*. Chichester; New York: John Wiley & Sons, 184p., 1993.
- BORGES, P; LAMEIRAS, G; CALADO, H. A erosão costeira como factor condicionante da sustentabilidade. 1º Congresso de Desenvolvimento Regional de Cabo Verde, 2004.
- BRANCO, M.P.N.C.; LEHUGEUR, L.G.O.; CAMPOS, J.E.G.; NOGUEIRA, S.R.P. 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, 2005. Disponível em: <http://www.revistadegeologia.ufc.br/documents/revista/2005/19_2005.pdf>. Acessado em: 12 jan 2016.
- BROWN, A. C.; MCLACHLAN, A. *Ecology of sandy shores*. New York: Elsevier, 1990.
- BRUUN, P., Sea-level rise as a cause of shore erosion, *Waterw. Harbors Coastal Eng. Div. Am. Soc. Civ. Eng.*, 88, 117-130, 1962.
- CALLIARI, L. J.; FIGUEIREDO, S. A. Variabilidade das dunas frontais no litoral norte e médio do Rio Grande do Sul, Brasil. *Gravel (Porto Alegre)*, Porto Alegre, v. 3, p. 15-31, 2005.
- CAMFIELD, F.E. & MORANG, A. Defining and interpreting shoreline change. *Ocean and Coastal Management*, 32 (3):129-151, 1996.
- CARTER, R.W.G.; HESP, P.A.; NORDSTROM, K.F. *Erosional landforms in coastal dunes in Coastal Dunes – Form and Process*. John Willey & Sons, 1990.
- CARVALHO, A.M. de; MAIA, L.P.; DOMINGUEZ, J.M.L. 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, 2006.
- CLAUDINO-SALES, V., PEULVAST, J.P. Geomorfologia da zona costeira do Estado do Ceará, _Nordeste do Brasil. In: SILVA, J.B.da. et al (org). *Litoral e Sertão, natureza e sociedade no nordeste brasileiro*. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006.
- COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; de GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M., HANON, B. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997.
- DAVIS. *Coastal Sedimentary Environments*. New York: Springer-Verlag, 2ª ed. 716 p. 1985.

DOMINGUES, J.M.L. Projeto costa do descobrimento: avaliação da potencialidade mineral e dos subsídios ambientais para o desenvolvimento sustentado dos municípios de Belmonte, Santa Cruz Cabrália, Porto Seguro e Prado. Salvador: CBPM, 2000.

DONNELLY, C.; KRAUS, N.; LARSON, M. State of knowledge on measurement and Modeling of coastal overwash. *J. Coastal Res*, 22(4): 965-99, 2006.

DOYLE, F.J. Digital terrain models: an overview. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.44, n.12, p.1481-1485, 1978.

GRUBER, N.L.S.; BARBOZA, E.G.; NICOLODI, J.L. Geografia dos sistemas costeiros e oceanográficos: subsídios para gestão integrada da zona costeira. *Gravel*, n.1, pp. 81-89, 2003.

GUERRA, R. G. P. Vulnerabilidade costeira a eventos de alta energia no litoral leste de Fortaleza, Ceará. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Ceará, 2014. Disponível em: < <http://www.repositoriobib.ufc.br/000017/00001797.pdf>> . Acessado em: 12 jan 2016.

GUERRA, R. G. P.; MOURA, F. J. M.; PAULA, D. P.; MORAIS, J. O. Os riscos costeiros associados aos galgamentos oceânicos em praias urbanas: o caso da Praia dos Diários, Fortaleza, Ceará, Brasil. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIAS DO MAR, 11, 2011, Balneário Camboriú, 2011.

HESP, P. A gênese de cristas de praias e dunas frontais. *Mercator - Revista de Geografia da UFC*, Vol 01, n.2. 2002.

HESP, P. A. Morphology, dynamics and internal stratification of some established foredunes in southeast Australia. *Sedimentary Geology*. 55: 17-41.1988.

HOEFEL F. G. Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica. Itajaí, Editora da Univali, 92 p., 1998.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Preparing to meet the coastal challenges of the 21st century. In: WORLD COAST CONFERENCE, 1993.

IPCC, Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2001.

IPCC, Synthesis Report. A Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/>>. Acessado em: 29 jan 2016.

IPCC. The regional impacts of climate change: an assessment of vulnerability. Cambridge University Press, Cambridge, 1998.

KING, C.A.M. Beaches and coasts. Arnold, London, 403 p., 1959.

LEATHERMAN, S.P. Barrier dune systems - reassessment. *Sediment Geol*, 24(1-2):

1-16,1979.

LIMA, R. S. de. Vulnerabilidade da linha de costa a eventos de alta energia na Praia da Caponga - Cascavel, Ceará. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Ceará, 2012.

MAIA, G.G. O. Vulnerabilidade e riscos naturais a eventos de alta energia nas praias semi-urbanas e naturais do litoral de Aquiraz, Ceará. Tese de doutorado em Ciências Marinhas Tropicais. Universidade Federal do Ceará.

MAIA, L. P. Procesos costeros y balance sedimentario a lo largo de Fortalezas (NE - Brasil): implicaciones para una gestión adecuada de la zona litoral. Tese de doutorado, Universidade de Barcelona. 1998.

MATIAS, A., Ferreira, O., Mendes, I., Dias, J.A., Villa-Concejo, A. Artificial construction of dunes in the south of Portugal. *J. Coast. Res.* 21 (3), 472e481, 2005.

MATIAS, A. *et al.* (2010) Short-term morphodynamics of non-storm overwash. *Revista Marine Geology*, número 274.p. 69–84, 2010. Disponível em:<
<http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2010.03.006>>. Acessado em : 14 jan 2016

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

MORAIS, J. O. Aspectos de geologia ambiental costeira do município de Fortaleza (Estado do Ceará). Tese de professor titular, Universidade Federal do Ceará, pp. 249. 1980.

MORAIS, J. O. Processos e impactos ambientais em zonas costeiras. *Revista de Geologia da UFC, Fortaleza – CE*, v.9,p.191-242,1996.

MOURA, M.R. Dinâmica costeira e vulnerabilidade à erosão do litoral dos municípios de Caucaia e Aquiraz, Ceará. Tese de mestrado. Universidade Federal do Ceará. *Geografia*, 2012.

MUEHE, D. Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de Limites da Orla costeira para fins de gerenciamento. *Revista Brasileira de Geomorfologia*.Volume 2, Nº 1, 35-44p., 2001.

MUEHE, D. Erosão e progradação no litoral brasileiro / Dieter Muehe, organizador.– Brasília: MMA, 2006.

MUEHE, D. *Geomorfologia*. 2ed, cap. 6, pp. 291, 1994.

MUEHE, D. *Geomorfologia costeira*. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos – 9º Ed.* Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

NICOLADI, J.L.; PETERMANN, R.M. Mudanças Climáticas e a Vulnerabilidade da Zona Costeira do Brasil: Aspectos ambientais, sociais e tecnológicos. *Revista da*

Gestão Costeira Integrada 10(2):151-177, 2010.

OLIVEIRA, G.G.; MEIRELES, A.J.A. Dinâmica geoambiental a partir da "litoralização" de Aquiraz, Ceará, Brasil.. REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA, Vol. 5, No2. ISSN 1982-5528. 2010. Disponível em: <<http://www.prodema.ufc.br/revista/>>. Acesso em: 23/10/2015.

PINHEIRO, L. S. Compatibilização dos Processos Morfodinâmicos e Hidrodinâmicos com o uso e ocupação da praia da Caponga-Cascavel-CE. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2000.

PINHEIRO, L. S. Riscos e gestão no estuário do rio Malcozinhado, Cascavel-CE. Tese (Doutorado em Oceanografia). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

PLATE, E.J. and DUCKSTEIN, L., RELIABILITY-BASED DESIGN CONCEPTS IN HYDRAULIC ENGINEERING¹. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 24(2), pp.235-245, 1988.

RAMOS, C. Dinâmica Fluvial e Ordenamento do Território (Programa de Unidade Curricular do 2º ciclo). SLIF- 6, Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, Lisboa. ISBN: 978-972-636-195-4, 2009.

RUGGIERO, P.; KAMINSKY, G.M.; KOMAR, P.D.; AND MCDOUGAL, W.G. Extreme waves and coastal erosion in the Pacific Northwest, Proceedings of Waves'97, ASCE, Virginia Beach, VA, pp. 947-961, 1997.

SALLENGER, A.H. Storm impact scale for barrier islands. Journal of Coastal Research, 16(3): 890-895, 2000.

SHEPARD, F. P. Harper and row publishers. Submarine Geology. New York, 517 pp. 1973.

SHORT, A. D. Handbook of beach and shoreface morphodynamics. J. Wiley and Sons, p. 145-170. 1999.

SHORT, A. D.; WRIGHT, L. D. Morphodynamics of high energy beaches – an Australian perspective. In: B.G. Thom (ed.), Coastal Geomorphology in Australia, Academic Press, 43-68, 1984.

SILVA, A. C.; FAÇANHA, P.; BEZERRA, C.; ARAUJO, A.; PITOMBEIRAS, E. Características das ondas sea e swell observadas no litoral do Ceará-Brasil: variabilidade anual e interanual. Tropical Oceanography Online, 17-26. 2011.

SILVA, C. G.; PATCHINEELAM, S. M.; BAPTISTA NETO, J. A.; PONZI, V. R. A. Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de costa. In: BATISTA NETO, J. A et al (org). Introdução à Geologia Marinha. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

SOUZA, M. J. N. Contribuição ao Estudo das Unidades Morfo-Estruturais do Ceará. Revista de Geologia, Fortaleza, v. 1, 1988.

SUGUIO, K. Dicionário de Geologia Marinha: com termos correspondentes em inglês, francês e espanhol. T.A. Queiroz, São Paulo p.171 1992.

USACE, U. S. Army Corps of Engineers. Engineering and design coastal littoral transport. Washington, D.C. 1992.

VI Seminário Latino Americano de Geografia Física II Seminário Ibero Americano de Geografia Física Universidade de Coimbra. Alterações climáticas, riscos ambientais e problemas de saúde: breves Considerações Dirley dos Santos Vaz1,2010. Disponível em: < <http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema4/dirley> > Acesso em: 23 jan.2016.