

Estudo dos métodos de proteção e reabilitação das praias no litoral do Ceará

Study of protection and rehabilitation methods of beaches in Ceara coast

Glacianne Gonçalves de Oliveira Maia

glacianne@gmail.com
Profa. Dra da Universidade de Fortaleza-Unifor

Luis Feitosa Neto

luisneto1998@hotmail.com
Engenharia Civil/Unifor

Vitória Tavares

vitorialimat@outlook.com
Engenharia Ambiental/Unifor

Lucas Fernandes

lucasfernandes_@msn.com
Engenharia Civil/Unifor

Marcio Fonseca

marcioengenhariacivill@gmail.com
Engenharia Civil/Unifor

Resumo

A zona costeira cearense tem sua importância na economia do estado devido a suas exuberantes praias, que atraem milhares de turistas anualmente, assim como a extensão de sua orla, que tem um potencial marítimo, sendo rota direta de navios comerciais entre Europa e América do Norte. Em decorrência desses fenômenos, a ocupação no litoral cearense foi desordenada, provocando um expressivo recuo da linha de costa. Para reduzir a erosão costeira proveniente desse recuo, foram construídas obras que, devido à falta de um estudo expressivo da área instalada, acabaram agravando os problemas locais. Uma dessas obras é a do Porto do Mucuripe, que provoca danos ao longo da costa cearense até os dias de hoje, principalmente na área de estudo deste artigo, a praia do Icarai. Assim, é necessário estudar a região foco a fim de determinar qual a obra costeira mais adequada que minimize e/ou reabilite a situação erosiva e de degradação local, evitando que praias adjacentes passem tais problemas.

Palavras-chave: Obra costeira. Erosão costeira. Icarai.

Abstract

The coastal zone of the State of Ceará has its importance on local economy due to exuberates beaches which attracts thousands of tourists annually, as well as its extension has a maritime potential which is direct rote of commercial ships between Europe and North America. As result of those phenomenons, the occupation in the coast of Ceará was disordered causing an expressive recoil of the coastline. To reduce coastal erosion from this recoil were built works that due to the lack of an expressive study of the installed area the local problems were aggravated. One of these works is the one on the Port of Mucuripe, which causes damage along the coast of Ceará until the present day, mainly on the area of study of this article, Icarai. So it is necessary to study the focus region to determine the best coastal work that improves the local situation and does not have negative consequences in the adjacent areas.

Keywords: Coastal works. Coastal wrosion. Icarai.

1 Introdução

Os espaços litorâneos são dinâmicos e bastante complexos. Uma variedade de sistemas ambientais, integrados pelos fluxos de matéria e energia, compõem um território que foi analisado de modo a promover ações adequadas para o planejamento e a gestão (OLIVEIRA & MEIRELES, 2010).

A zona costeira desfruta de uma beleza exuberante, além de ser, desde os primórdios da civilização, uma conexão com outras cidades, motivos pelo qual sempre foi ocupada pelos humanos que exploraram seus recursos para sobrevivência. Essas atividades se intensificaram na medida em que as cidades prosperavam e a população aumentou, necessitando, assim, de mais recursos para suportar a crescente atividade turística e comercial que aquecia a economia local. Os processos erosivos naturais se agravaram como resultado dessas intervenções humanas.

Em nível nacional, as zonas costeiras passaram, nos últimos 40 anos, por uma considerável intervenção ambiental, gerada pela pressão das ações antrópicas, nas inúmeras atividades e usos dos espaços costeiros, e pela baixa capacidade

desses ecossistemas de absorverem os impactos resultantes. Assim, esse ambiente, com a interface com o mar, sempre foi alvo de usos diversos, como a exploração de recursos marinhos, a circulação com alocação dos pontos terminais dos fluxos intercontinentais de mercadorias através das atividades portuárias e, modernamente, o litoral particularizou-se pela apropriação cultural como espaço de lazer, principalmente aqueles *locus* ainda preservados, sendo considerados mais valorizados nesse sentido.

A ocupação da zona costeira, principalmente da Região Metropolitana de Fortaleza, foi incentivada, sobretudo, pela construção de segundas residências na década de oitenta, em que o turismo de fins de semana (veraneio) ou sazonais (resorts) estavam presentes para atender o turismo internacional. (Morais et al 2005) Porém, um mau ordenamento de uso e ocupação do solo, e irregularidades ambientais, geraram o que Moraes (2000) vem tratar de processos de degradação. Ele declara que “em Fortaleza entre as décadas de setenta e oitenta refletiram na área estudada com o início do processo de erosão que reduziu a faixa de praia e criaram condições de riscos as estruturas instaladas”.

As faixas de praia do município de Fortaleza, bem como do município de Caucaia (litoral oeste), sofreram processos de progradação e retrogradação durante as últimas décadas (MORAIS, 1972, MORAIS e PITOMBEIRAS 1974, MORAIS, 1980 in MORAIS, 1981) com implicação direta na instalação do Porto do Mucuripe e de todos os espigões colocados ao longo do litoral norte de Fortaleza.

Outro impacto em destaque foi à construção do último espigão e do Pólo de Lazer da Barra do Ceará (localizada no limite entre Fortaleza e Caucaia, e onde deságua o rio Ceará), que ocasionou o impedimento do transporte de sedimentos pela deriva litorânea, acumulando à montante do espigão e erodindo as praias à jusante do mesmo, alterando, também, a dinâmica da foz do Rio Ceará (MORAIS, 1980; OLIVEIRA, MORAIS e PINHEIRO, 2005). Esses impactos associados ao aumento da especulação imobiliária, nas décadas de 1980 e 1990, precisamente nas Praias de Iparana, Pacheco e Icaraí, promoveram o recuo de aproximadamente 300 m da linha de costa, segundo esses mesmos estudos. Consequentemente, ocasionaram a diminuição da procura pelos banhistas por causa da redução da faixa de praia, do número de barracas e da perda do potencial paisagístico. No estudo piloto realizado por Moraes et al (2005), cerca de 40% dos usuários entrevistados na praia frequentam a área há mais de 10 anos, motivados principalmente pela existência de casa de praia. Dentre os principais atrativos enumerados, 60% são devidos à tranquilidade do local. No entanto, cerca de 60% dos usuários entrevistados consideram o acesso à praia muito difícil e o bando de mar muito perigoso.

Como medidas de mitigação para erosão costeira, tem-se engorda da praia, que é a alimentação artificial da faixa de praia com sedimentos que, apesar de baixo impacto ambiental, tem vida útil reduzida, pois não minimiza ou resolve a razão do déficit sedimentar da dinâmica local. Há por outro lado, outras possibilidades de obras de proteção costeira que podem ser divididas em paralelas a costa ou perpendiculares a costa, ligadas à costa linha da costa ou inteiramente dentro do corpo hídrico marinho. Em Fortaleza, tem-se experiência no uso de espigões, enrocamentos e quebra-mar.

Na praia do Icaraí, implantou-se uma estrutura *bagwall*, que não resistiu ao clima de ondas do local. Hoje foram aprendidas algumas lições do uso dessas obras. Quanto ao esporão, que é uma obra perpendicular à praia e com parte em terra seca e parte dentro do mar, seu uso é eficaz no combate ao carreamento de sedimentos provocado pelas correntes longitudinais, porém, as praias a sotamar da estrutura sofrem erosão devido à diminuição da alimentação natural dessa deriva litorânea. Estudos nessa temática foram realizados por Paula et al (2013), Paula et al (2016), Medeiros et al (2017).

Diferente do esporão, o barramar de enrocamento e o *bagwall* são estruturas aderentes à costa, seguem a mesma linha e são construídas em terra seca. O objetivo dos dois conceitos é servir como barreira dissipadora de ondas, entretanto, funcionam com princípios diferentes. O barramar de enrocamento dissipa a força das ondas de forma aleatória e para todas as direções, através do choque da onda com cada face das rochas que formam as camadas do barramento. Parte dessa energia é desviada para a base, carreando lentamente os sedimentos que sustentam a mesma, além de dificultar ou, às vezes, impossibilitar o acesso à praia, segundo estudos de Paula et al (2013), Paula et al (2016), Medeiros et al (2017).

O *bagwall* é um barramar em forma de escadaria (possibilita acessibilidade) que, ao receber uma onda, dissipa sua energia, gradualmente, nos degraus para os lados e para cima, evitando que o sedimento abaixo receba essa energia e seja carregado, conforme descrição de Lyra (2010). Tanto *bagwall* quanto o barramar de enrocamento são suscetíveis a carreamento por correntes longitudinais, e marés altas e de alta energia, que desestabilizem os sedimentos que os sustentam, fato que ocorreu no *bagwall* instalado no Icaraí, em 2012 (Fig. 1), e algumas vezes no barramar da orla de Fortaleza.

Figura 1 – Em maio de 2012, a primeira “ressaca” do mar pós-construção com ondas acima de 3m de altura, demonstrou a fragilidade do dissipador provocando o desmoronamento de parte do paredão (100 metros), sendo necessária a sua recuperação.



Fonte: Diário do Nordeste, 2012

Essas opções se mostraram, umas mais e outras menos, inadequadas para implantação em regiões de praia de importância turística, onde o problema não pode simplesmente ser transferido para a praia vizinha; o valor paisagístico tem peso na atratividade; e ocorrem eventos de ondulações de alta energia, grande variação de marés e existe correntes longitudinais junto à praia.

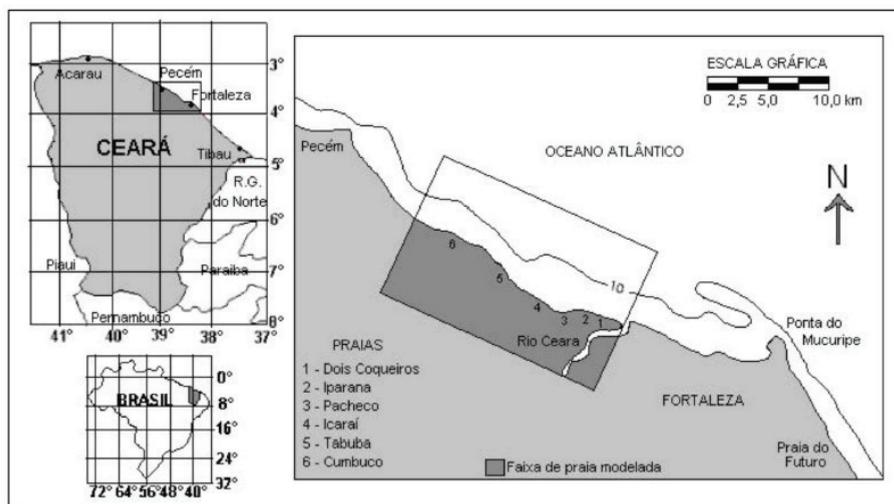
Portanto, a proposta foi analisar os tipos de métodos existentes e escolher uma estrutura costeira mais adequada às características físicas e ambientais da praia do Icaraí, que possa gerar um menor impacto negativo na área, com a finalidade principal de reabilitação da faixa de praia e retorno ao lazer, comércio e turismo, que foram prejudicados nos últimos anos.

2 Caracterização da área de estudo

O município de Caucaia está localizado na porção noroeste do Estado, ocupa uma área aproximada de 1228,5km² e dista 20 km (sede) da cidade de Fortaleza. Está integrada na costa oeste do Ceará, totalizando 44 km de praias. O município é banhado pelo oceano Atlântico ao Norte e delimitado pelo município de São Gonçalo do Amarante ao Sul. A Leste, os municípios de Maranguape, Maracanaú e Fortaleza e, a Oeste, São Gonçalo do Amarante, Pentecoste e Maranguape.

O estudo da obra costeira tem ênfase na praia do Icaraí, localizada no município de Caucaia, com aproximadamente 3,5 km de extensão, com as coordenadas 3° 44' 10" Latitude (S) e 38° 39' 11" Longitude (W), a uma altitude de 29,9 m. (Fig. 2)

Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Lima (2002)

2.1. Aspectos ambientais

2.1.1 Aspectos geológicos e morfológicos

Percorrendo o litoral, é possível observar os sedimentos dos Tabuleiros Pré-pertencentes à Formação Barreiras que, em alguns trechos, são recobertos por dunas. Trata-se de uma costa aberta, com zona de surfe, variando entre 50 m e 80 m, contendo de 3 a 4 linhas de arrebentação bem definidas. As areias dispostas na zona de berma são utilizadas para a reposição de sedimentos em deriva litorânea, caso as ondas necessitem desse material para a manutenção morfológica do sistema costeiro (PAULA et al, 2016; MEIRELES & MORAIS, 1994).

Nos primeiros quilômetros da praia do Icaraí, observa-se um menor indício de afloramento rochoso, presença de pequenas dunas frontais, porém, um gradual desmonte de dunas e um grande número de edificações construídas com maiores recuos em relação à linha de costa, possuindo elevado grau de vulnerabilidade à erosão marinha (LIMA, 1999).

Segundo Medeiros (2012), a área de estudo apresenta, em alguns trechos, o afloramento de rochas de praias, como resultado da cimentação do material ao longo dos anos, porém, em uma análise geral, encontra-se material arenoso médio a fino, caracterizando praias de perfil dissipativo. A ação erosiva do mar ocorre na forma de recuo da praia, de forma que o sedimento removido pelas ondas é transportado lateralmente pelas correntes de deriva litoral.

2.1.2 Aspectos climáticos

O clima na região é relativamente uniforme e as temperaturas são elevadas ao longo de todo o ano, com amplitudes reduzidas por conta da proximidade com o mar atlântico, possuindo três variações durante o ano: tropical quente semiárido brando, subtropical quente úmido e tropical quente úmido. A sua pluviosidade anual é de 1243,2 mm (FUNCEME, 2016), com temperatura média variando de 26° a 28° (°C) (IPECE, 2016), e possui período chuvoso nos meses de janeiro a maio.

2.1.3 Características das ondas e marés

No controle das condições oceanográficas (ondas, ventos e marés), foi possível perceber a influência da agitação marítima nas modificações morfológicas dos perfis praias. A altura significativa de onda (Hs) variou de 0,8 m a 1,5 m, com direção predominante de N/NE e período médio de onda de 8,2 s. (PAULA et al, 2016). Portanto, em 95% do ano, as ondas que atingem esse litoral possuem direção média de incidência de ESE (ondas do tipo *sea*), seguida pela direção média de NNE (ondas do tipo *swell*) (PAULA et al, 2013).

Os ventos predominantes tinham direção E/NE, assumindo valores máximos de 9,0 m/s e mínimos de 4,5 m/s. A velocidade do vento foi decaindo do primeiro dia do experimento até o último dia. Durante o pico de ressaca do mar, a velocidade média foi de 5,5 m/s. A amplitude média de maré variou de 2,0 m (28/01/14) a 3,1 m (02/02/14). Durante o máximo Hs das ondas de ressaca do mar, a amplitude média das marés ultrapassou os 3,0 m. (PAULA et al, 2016).

Para o período de estudo, a disposição dos dados dos parâmetros de onda foram distribuídos na tabela 1, abaixo. Percebe-se que a predominância das ondas é a *sea*, porém, a presença do *swell* ocorre, majoritariamente, nos primeiros meses do ano. Valores da altura de onda significativa variaram entre 1,30 a 2,09 metros, segundo dados do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC e dados obtidos em campo.

Tabela 1 – Dados de parâmetro de onda da Praia do Icarai

Ano	Mês	Período da onda (s)	Altura da onda (m)	Direção da onda	Velocidade da onda (m/s)	Tipo da onda
2016	*Janeiro	11,87	1,76	-	5,87	<i>swell</i>
2016	*Março	10,57	1,73	-	5,82	<i>swell</i>
2016	*Maio	8,67	1,63	-	5,65	<i>sea</i>
2016	**Julho	7,99	2,16	-	6,51	<i>sea</i>
2016	**Setembro	8,15	2,09	N/NE	6,40	<i>sea</i>
2016	*Dezembro	7,42	1,3	N/NE	5,05	<i>sea</i>

Fontes: *Oliveira Maia (2016); **CPTEC

2. 2 Aspectos sociais / econômicos

Segundo Dantas (2002), a valorização das zonas de praia pelo turismo, nos países em desenvolvimento, instaura discussões que se opõem à antiga tradição referenciadora do interior. Esta mudança evidencia, no Nordeste do Brasil, o processo de litoralização, movimento iniciado e organizado a partir do final dos anos 1980 e cujas repercussões também atingem o estado do Ceará.

A Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) é uma das áreas mais importantes para o turismo no estado do Ceará, pois concentra as praias mais visitadas e grande parte dos recursos dos programas estatais. Os municípios de Fortaleza, Caucaia e Aquiraz destacam-se como seus principais destinos.

Fortaleza, a capital do estado do Ceará, possui uma enorme porta de entrada para o turismo internacional no estado, visto que a distribuição do fluxo de turismo no litoral do Ceará enfatiza os espaços litorâneos e os deixam dependentes da capital, de modo a não depender de outros centros urbanos (Coriolano, 2008).

Segundo o Perfil Básico Municipal de Caucaia (2015), o PIB (Produto Interno Bruto) possui maior porcentagem (%) nos setores de Agropecuária (0,89), Indústria (39,52) e Serviços (59,59), o que mostra o valor significativo na ala de comércio. Além disso, os dados mostram seu crescimento entre os anos de 2008-2012, evoluindo valores não só no PIB, mas no PIB per capital também.

O município de Caucaia – CE, localizado a menos de 20 km de Fortaleza, tem como destaque a Praia do Icarai, que está numa posição estratégica, por estar entre Fortaleza, que reúne a maior demanda turística do estado, e São Gonçalo do Amarante, município onde projetos de infraestrutura de elevados investimentos estão sendo implantados, tais como o Complexo Industrial Portuário do Pecém, Termoeletricas e Siderúrgica. Os turistas, visitantes e trabalhadores da indústria encontram no litoral de Caucaia as condições favoráveis para moradia e atividades turísticas e de recreação (Medeiros, 2016).

3 Metodologia

3.1 Uso da cartografia e sensoriamento remoto

Para realização desta pesquisa, foi feito um levantamento bibliográfico e cartográfico da área quanto à evolução morfoestrutural da zona costeira e os processos associados. Para esse fim, foram consultados além da Unifor, órgãos e instituições, tais como, Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM), Instituto do Desenvolvimento Agrário do

Ceará (IDACE), Universidade Federal do Ceará (UFC), Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR-UFC), Universidade Estadual do Ceará (UECE) e prefeituras municipais das áreas de enfoque.

A aplicação das técnicas de sensoriamento remoto possibilitou o conhecimento do arranjo espacial das feições morfológicas, delineamento da hidrografia, interação dos processos costeiros e estuarinos, identificação da forma de uso e ocupação do solo. O *overlay* foi elaborado no programa ArcGis, versão 10.3, cedida pela Universidade de Fortaleza, consistindo em adicionar os produtos da interpretação das imagens de satélite e fotografias aéreas. Na atualização dessas informações, realizaram-se caminhamentos com o uso de Global System Position (GPS) para avaliar o avanço da linha de costa em curta escala.

Para o estudo, foram utilizadas imagens QuickBird para a projeção Datum WGS 1984 - Zona 24S, de 2004, 2008, 2009, 2013 e 2014; imagens Landsat, de 1988 e 1999, com Datum WGS 1984 - Zona 24S; e fotografias aéreas datada de 1975 e de 1958. Na tabela 2, abaixo, segue a configuração correspondente a cada imagem e fotografia.

Tabela 2 – Mostra os tipos de imagens e suas correspondentes características

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

Fonte: Autor (2017)

Essa etapa forneceu informações e dados relevantes quanto à evolução da ocupação dos espaços costeiros desde a década de 1960, com a caracterização ambiental. Destaca-se a realização de viagens técnicas ao longo da área de trabalho.

3.2 Processos hidrodinâmicos

Nessa etapa da pesquisa, os dados de onda foram obtidos 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.

Posteriormente, foi realizado o cálculo que converteu ondas de águas profundas para águas rasas utilizando a equação de Komar (1983), ao considerar a relação H/d (altura da onda/profundidade) na arrebentação, situando-se entre 0,75 e 1,2, estas se anulam de modo que:

$$C = \sqrt{g(2Hb)} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:

C é velocidade do grupo de ondas

g é a aceleração da gravidade (9,81 m/s²); e

Hb é a altura da onda significativa na arrebentação.

As medições dos parâmetros de onda na arrebentação foram realizadas durante a coleta de dados em campo, isto é, mensalmente, entre 2016 e 2017, com destaque para o período nos quais há maior ocorrência de ondas swell na costa do Ceará, utilizando o método e técnica de Muehe (2003). A altura da onda na arrebentação (H_b), que consiste na observação por estimativa, foi obtida utilizando uma régua estádia ou de topógrafo e fixa 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 a 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, fez-se uso de um cronômetro que mediu a passagem de 11 cristas. Posteriormente, submeteu-se à cálculos simples como transformar a contagem em segundos, dividir por 11 e, por fim, a média das três repetições. 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 GRIGGS, 1992).

A determinação do ângulo de incidência das ondas (α_b) na arrebentação foi obtida com o uso do nível topográfico. O círculo graduado acoplado ao aparelho nível foi zerado na direção com o Norte Magnético 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. Esses valores foram transformados em Norte Geográficos ou Verdadeiros, obtendo-se, assim, o real valor.

A energia da onda na arrebentação foi calculada a partir da altura significativa da onda (altura média de um terço das ondas mais altas verificadas num período de tempo particular). Para isto, foi aplicada a fórmula utilizada pelo *Coastal Engineering Research Center* - CERC, que faz uso do método de fluxo de energia contida na relação empírica entre o volume transportado (Q_s) em m^3/dia e o fluxo de energia por Komar (1983).

Assim a energia das ondas é expressa por:

$$E_b = \frac{(\rho \rho g H_b^2)}{8} \quad (\text{Eq.2})$$

Onde:

ρ é a densidade da água do mar (1025 kg/m^3) para o litoral N/NE do Brasil;

g é a aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$); e

H_b é a altura da onda significativa na arrebentação.

3.3 Aspectos topográficos

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, 1976).

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, nas praias que são expostas a fortes ondas, espera-se 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. Nessa contextualização, o presente estudo dará ênfase a entender como a dinâmica de sedimentos na faixa de praia pode ser alterada com os eventos de alta energia, associada à presença de estruturas rígidas de contenção.

O objetivo dos perfis é o monitoramento da praia e, se possível, do fundo marinho adjacente, para verificar a manutenção de uma tendência erosiva ou progradação, para avaliar a variabilidade vertical do perfil, permitindo o dimensionamento de projetos de engenharia (MUEHE, 2006)

Portanto, foram realizadas campanhas mensais em 15 perfis no total, sendo 11 perfis com distanciamento de 10 metros cada, formando uma malha de 100 metros (monitoramento dos eventos de alta energia) e os demais, com distanciamento de 100 metros (monitoramento sazonal), totalizando 500 metros, abrangendo boa parte da estrutura *bagwall*. Os pontos

foram georreferenciados e materializados utilizando o GPS GARMIM, bem como baseados na imagem local extraída pelo Google Earth, previamente demarcados, obtendo proximidades consideráveis quando do uso realizado por um receptor GPS de navegação, com margem de erro entre 3 a 5 metros. A extensão foi de até 70 metros, atingindo uma profundidade de 1,5 metros. Para tal, foram utilizados os equipamentos Estação Total TOPCOM e também RUIDE, juntamente aos acessórios bastão, prisma e tripé.

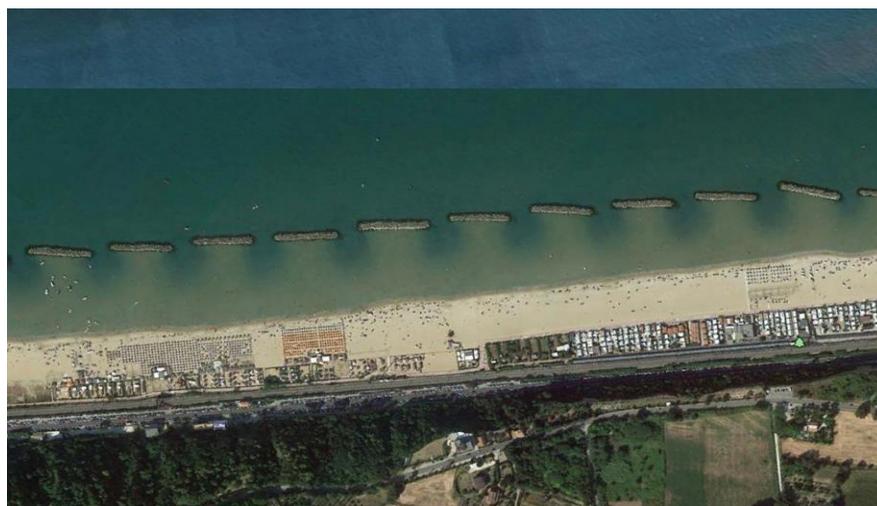
4 Proposta de estruturas costeiras na Região Metropolitana de Fortaleza

A cada dia o desenvolvimento sustentável ganha mais importância na concepção das obras civis, principalmente aquelas que se destinam a fins públicos. Nesse projeto, a sustentabilidade ajudou a definir as características de uma intervenção na costa que não só combata a erosão da praia do Icarai, mas que gere também retorno social, ambiental e econômico. Foram definidas as diretrizes para definir o conceito da obra com base: a. no estudo sobre consequências de obras usuais de proteção costeira; b. nas intervenções recentes que vem apresentando melhores resultados; c. em outros norteadores visando o menor impacto ambiental negativo, a possibilidade de gerenciamento operacional e a valorização paisagística. Esta última tem estreita relação com o turismo e, portanto, com o caráter econômico e social da obra.

4.1 Obras usuais de proteção costeira

As obras usuais são divididas em três grupos: transversais, longitudinais aderentes e longitudinais destacadas. Esses tipos de obras foram amplamente utilizados em litorais pelo mundo e, no caso das duas primeiras, temos exemplos de sua utilização no Ceará, com resultados mal sucedidos e, em muitos casos, gerando mais problemas, como o agravamento da erosão em praias subsequentes seguindo a direção da corrente costeira. As estruturas longitudinais destacadas têm como um grande exemplo de sua utilização o litoral italiano, onde grande parte é protegida por esse tipo de obra, com os mais variados resultados e com grande impacto de artificialização do ambiente praial (Fig. 3). Segundo Soares, Medeiros e Sales Filho (2014), “essa alteração antropogênica é destruição do objeto de desejo de consumo do turista, fazendo com que nenhuma obra convencional seja adequada, seguindo os conceitos balizadores”.

Figura 3 – Praia do litoral da Itália com obras do tipo longitudinal destacada



Fonte: Google Earth, 2017

4.2 Gestão costeira de Gold Coast, Austrália

A gestão costeira da cidade de Gold Coast é considerada referência no mundo, pois conseguiu reverter um processo de erosão grave, mantendo a naturalidade da praia, e ainda implementou estrutura, sem que com isso ocorresse perda paisagística. Portanto, agregou maior potencial turístico e recreativo. Essa estrutura foi o recife artificial multifuncional

– RAM, que ao ser unido a um sistema de transposição de sedimentos e a engorda, ambos artificiais, forma os pilares de manutenção da faixa de areia da Gold Coast. (Fig. 4). (JACKSON E TOMLINSON, 2017).

Figura 4 – Vista superior da RAM no litoral da Austrália



Fonte: Gandor's (2008)

4.3 O gerenciamento do balanço de sedimentos

O Rio Tweed, no Reino Unido, foi um importante canal para embarcações no período da revolução industrial, mas sua foz era muito perigosa e gerava vários acidentes. Isso foi minimizado com a construção de molhes que continuavam a linha das margens e estabilizavam o canal. No entanto, na década de 1960, foram ampliados os comprimentos dos molhes para 400 metros. Isso teve grande impacto na transposição natural de uma margem da foz até a outra, o que em conjunto com condições metrológicas locais gerou uma forte erosão da costa ao norte.

Para solucionar esse problema, foi criado um sistema permanente de transposição de sedimentos de um lado da foz até a praia seguinte, o que reduziu os impactos da erosão (BRAYSHAW, STEVEN; CHARLES LEMCKERT (2012). Após o insucesso do transpasse de sedimentos (by-pass) em suprir as praias ao norte do Rio Tweed com uma carga sedimentar suficiente para suportar as tempestades frequentes na região, foram desenvolvidas duas frentes complementares. O recife artificial da praia de Narrowneck, Austrália, e a engorda da praia nos trechos entre o rio e o recife.

O recife multifuncional proporciona uma diminuição de energia das ondas e realinhamento das mesmas na costa. Com isso, ele consegue exercer uma função protetora da praia de Narrowneck, assim como também de estabilização do trecho da engorda feito na praia submersa. Já a bancada arenosa submersa, além de paulatinamente estar progradando a faixa de areia, também funciona como uma estrutura dissipadora de energia, alimentando a praia emersa ao mesmo tempo em que a protege de eventos de maior energia (JACKSON E TOMLINSON, 2017).

4.4 Recifes naturais

É comum que praias cercadas por recifes naturais sejam chamadas de paraísos, agregando valor paisagístico e econômico relacionados com o turismo, como destaca a prefeitura de Ipojuca em relação à praia de Porto de Galinhas, em Pernambuco, que recebeu, somente em 2013, mais de um milhão de turistas. Segundo Ong e Musac (2011), “o turismo de recifes de coral é uma das atividades que mais cresce no mundo. Porém, essas estruturas vivas, também agem como barreiras protetoras que dissipam a energia das ondas ante de chegarem à costa” (Figs. 5 e 6).

Figura 5 – Porto de Galinha por satélite



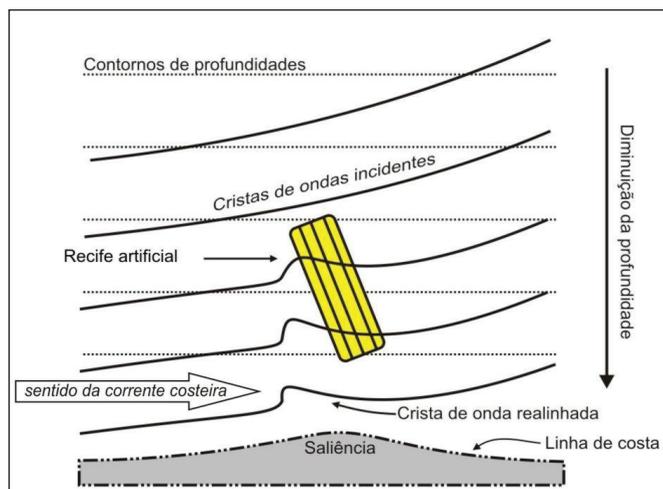
Fonte: Google Earth, 2017

Fonte: Viagem e turismo, 2016

5 Proposta de uma obra costeira para o litoral do Ceará: aplicação no Icaraí

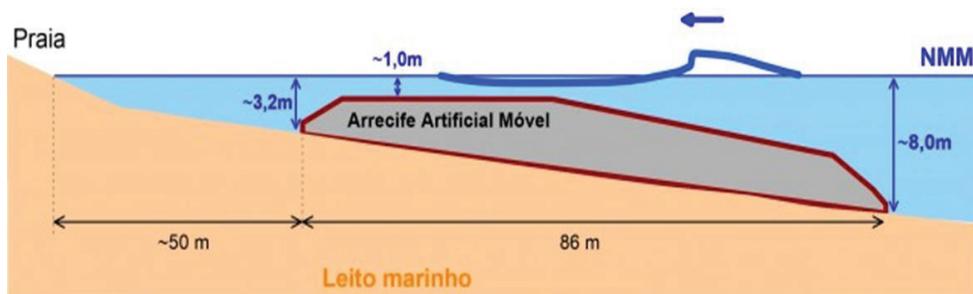
A estrutura proposta, idealizada pelo engenheiro civil Márcio Roberto de Paula Fonseca, é baseada no sistema adotado na gestão costeira da cidade de Gold Coast, e inspiração na proteção natural dos recifes de coral. Portanto, trata-se de uma estrutura submersa, que é um sistema formado pela combinação de uma linha delgada e rígida e uma bancada de areia aderida à linha rígida. O banco arenoso, nesse sistema, tem a mesma função da bancada construída submersa em Gold Coast, e a linha delgada tem função de escudo para a camada de areia, onde se dissipa grande parte da energia das ondas, possibilitando um melhor controle e maior tempo de funcionamento do banco arenoso artificial antes de novas adições de sedimentos. De forma conjunta, o sistema funciona similar às bancadas de recifes de coral, em que a dissipação da energia da onda ocorre tanto de forma pontual, na arrebentação, quanto em forma distribuída, através do atrito com o fundo (Fig. 7). Esse sistema permite, devido a sua parte estática (linha escudo), uma modelagem que faça a previsão da resposta das correntes, possibilitando um projeto que atue também minimizando os efeitos erosivos da deriva litorânea. (Fig.8)

Figura 6 - Esquema da reorientação das cristas das ondas de forma contrária a corrente longitudinal



Esquema da reorientação das cristas das ondas de forma contrária a corrente longitudinal (<http://marcosgandor.blogspot.com/feeds/posts/default> Visualizado em 29/10/2015)

Fonte: Gandor's, (2015)

Figura 7 – Esquema do recife multifuncional e seus pré-dimensionamentos

Fonte: Elaborado pela pesquisa, 2017

Características sedimentológicas, topográficas e, principalmente, do tipo de onda e maré, foram as maiores motivações da aplicação dessa obra na praia do Icaraí, pois ambas possuem classificações bem semelhantes, apesar de se localizarem em ambientes, no seu contexto geral, banhados por oceanos tão dispares. O bom funcionamento e gerenciamento dessa obra vêm demonstrar a possibilidade de um ambiente costeiro tão comprometido, quanto o já mencionado, se restabelecer e, quiçá, manter um equilíbrio de linha de costa e processos morfodinâmicos e hidrodinâmicos favoráveis à manutenção da vida marinha e de formas de uso e lazer dessa praia.

Outro ponto a se destacar é com relação ao custo x benefício, pois quando comparado às demais estruturas, sejam leves, sejam pesadas, torna-se viável praticamente a qualquer costa do mundo, bem como a sua logística que será abaixo descrita.

5.1 Linha escudo: função, repercussão e vantagens da RAM

A linha escudo é formada por módulos feitos em aço. Esses módulos são formados por uma base em forma de balsa, que permite que eles flutuem em regiões de baixa profundidade, como foz de rios de baixa vazão e regiões estuarinas. Depois de ligados em linha e rebocados até ao local alvo, para serem afundados de forma controlada, formando o escudo submerso. Observa-se, portanto, uma série de vantagens que são descritas abaixo:

- ✓ Uso de técnicas, mão de obra e recursos regionais;
- ✓ Uso de área estuarina e reboque, que possibilitam aplicação desse modelo a inúmeras praias do nosso litoral;
- ✓ Dispensa de uso de serviços portuários, de grandes embarcações (exceto dragas) e dá mais autonomia aos gestores.
- ✓ Módulos e ancoragem garantem a forma e dimensões finais, e junto com os estabilizadores possibilitam a estrutura ser mais delgada (momento de inércia);
- ✓ Permite gerenciamento operacional facilitado da estrutura;
- ✓ Pode ser retirado (responsabilidade ambiental);
- ✓ Mínimo uso de materiais estranhos ao ambiente (aço) e priorização de materiais comuns ao ambiente e que seguem os processos naturais (areia);
- ✓ Aspecto natural/paisagístico priorizado;
- ✓ Uso de materiais com amplos estudos de aplicação costeira.
- ✓ O escudo pode ser utilizado como estrutura temporária de emergência em caso de evento oceânico de alta energia.

O sistema apresenta uma série de potenciais vantagens, no entanto, ele demanda um investimento alto em barcos para dragagem e lançamento dos sedimentos. Isto não deve ser compreendido como uma desvantagem, pois é um investimento que pode ser estendido para beneficiar a gestão costeira de uma grande região e está em sintonia com as melhores práticas.

A pesquisa atualizada tem mais de um ano, foi iniciada em 2016, compilando-se aos estudos realizados anteriormente, a fim de gerar uma série histórica de dados e informações que estão sendo aplicada para decisão final de localização e dimensionamento da RAM, assim como aquisição de maior confiabilidade das repercussões que a estrutura ora apresentará, através da modelagem da área e, posteriormente, a sua instalação in loco.

6 Considerações finais

O estudo do ambiente costeiro é algo complexo, pois sua dinâmica envolve muitos parâmetros que mudam diariamente até secularmente. A compreensão dos fenômenos que atuam nesse ambiente e suas consequências são pontos de suma importância quando se trata de intervenções na zona costeira.

Os problemas que envolvem a presença do homem nas zonas de praias não é algo novo, porém, a dimensão dessas intervenções está sendo, na atualidade, os maiores causadores de perdas de faixa de praia, déficit sedimentar, descaracterização paisagística e conflitos sociais. Associados a essa problemática, está a erosão, que é um processo natural, assim como as mudanças climáticas, mas não foram tão incisivas quanto aos tempos contemporâneos, tornando eventos mais causados pela ação antrópica do que pela dinâmica natural planetária.

Para conter tantos prejuízos materiais e ambientais, foram escolhidas as obras costeiras como remediadoras e “salvadoras” das zonas costeiras nas suas diversas posições, funções e formas, direcionadas cada uma a uma situação diferenciada. Porém, essas medidas de proteção e reabilitação, na sua maioria, vieram de estudo falhos, superficiais e feitos de forma emergencial, sem licenciamento ambiental e monitoramento das mesmas, ocasionando maiores perdas, além de custos bem além do previsível.

Analisando, historicamente, os modos e meios de ocupação e uso da zona costeira do estado do Ceará, notadamente a Região Metropolitana de Fortaleza, que contém o maior número de obras de engenharia costeira, e obtendo resultados, majoritariamente, negativos, surgiu a proposta da RAM, trazendo em seu escopo a avaliação dos aspectos da estrutura em si, mais precipuamente, ambientais, ecológicos, sociais e econômicos, que venham reverter esse quadro por que passa, especialmente, a praia do Icaraí.

Mediante período de estudo e análise acerca dos tipos de métodos para aplicação de uma obra costeira, paralelamente às observações das existentes no litoral do Ceará, é que se optou pela proposta do recife artificial multifuncional, tanto pelas características ecologicamente mais corretas quanto por sua eficácia em zonas costeiras semelhantes a do Icaraí.

Referências

- ARAUJO, E. F. de; PEREIRA, A. Q. O turismo e a valorização do litoral metropolitano: especialidade turística em Caucaia-CE. *RA'E G. O espaço geográfico em análise*, Curitiba, 21, p. 78-104, 2011. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/raega/article/viewFile/17049/13996>>. Acesso em: 02 nov. 2017.
- BRAYSHAW, S.; CHARLES, L. Pitfalls of Shoreline Stabilization - Tweed River Mouth, Gold Coast, Austrália. In: COOPER, J. A.; PILKEY, O.H. (Ed.): Pitfalls of Shoreline Stabilization: Selected Case Studies. *Coastal Research Library*, v.3, New York: Springer, 2012. p 1-14.
- CÂMARA MUNICIPAL DO RECIFE. **Especialista apresenta solução para conter o avanço do mar no litoral do Estado**. Disponível em: <<http://www.recife.pe.leg.br/noticias/especialista-apresenta-solucao-para-conter-o-mar>>. Acesso em: 02 nov. 2017.
- CORIOLANO, L. N. M. T. Litoral do Ceará: espaço de poder, conflito e lazer. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, Fortaleza, v. 8, n. 2, p. 277-287, 2008. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/html/3883/388340124020/>>. Acesso em: 02 nov. 2017.
- DANTAS, E. W. C. Construção da imagem turística de Fortaleza/Ceará. *Mercator - Revista de Geografia da UFC*, Fortaleza, ano 1, n. 1, p. 53-60, 2002.
- GORDOR, M.. **Marcos Gordor's Blogger**. 2008 Disponível em: <<http://marcosgandor.blogspot.com.br/2008/10/recifes-artificiais-para-o-surfe-um.html>>. Acesso em 02 de Novembro de 2017.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2010. **Censo Demográfico de 2010**. Disponível em: <www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 23 out. 17.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Perfil Básico Municipal de Caucaia**. 2016. Disponível em: <www.ipece.ce.gov.br>. Acesso em: 23 out. 2017.
- JACKON, L. A.; TOMLINSON, R. **50 Years of Seawall and Nourishment Strategy Evolution on the Gold Coast**. 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/317931605_50_Years_of_Seawall_and_Nourishment_Strategy_Evolution_on_the_Gold_Coast>. Acesso em: 02 dez. 2017.

- LIMA, S. F. **Avaliação da eficiência das estruturas de proteção costeira implantadas nas praias do Município de Caucaia/Ceará**. Projeto (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1999.
- MEDEIROS, E. **Capacidade de carga e percepção ambiental da praia do Icarai - Caucaia - CE**. 2012. 200 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- MEDEIROS, E. C. S.; MAIA, L. P.; ARAUJO, R. C. P. Capacidade de carga de uma praia sob o impacto do processo de erosão costeira (praia do Icarai). Subsídios para o gerenciamento costeiro do estado do Ceará, Brasil. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, Lisboa, v. 16, n. 2, p. 185-193, 2016. Disponível em: <DOI: 10.5894/rgci592>. Acesso em: 02. dez. 2017.
- MORAIS, J. O. **Aspectos de geologia ambiental costeira do município de Fortaleza (Estado do Ceará)**. 1980. 281 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1980.
- OLIVEIRA, G. G. de; PINHEIRO, L. de S.; MORAIS, J. O. de. Erosive processes and economic valuation impacts at caucaia litoral, northastern.Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTEGRATED COASTAL ZONE MANAGEMENT, 2, 2005, Universidad de Oriente, Universidad Santiago de Cuba, Cuba. **CARICOSTAS 2005**. Cuba: Caricotas v. 1, p 20-40,
- OLIVEIRA, G. G. de; MEIRELES, A. J. A. Dinâmica geoambiental a partir da "litoralização" de Aquiraz, Ceará, Brasil. **REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 5, n. 2, 2010. Disponível em: <http://www.prodema.ufc.br/revista/>. Acesso em: 02 dez. 2017.
- PAULA, D. P.; et al. O. High-rise development of the sea-front at Fortaleza (Brazil): perspectives on its valuation and consequences. **Ocean & Coastal Management**, Londres, v. 77, Special Issue, p. 14-23, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964569112000518>. Acesso em: 07 nov. 2017.
- WEPPE, S. B.. **Oceanographic and morphodynamic monitoring of a multi-purpose reef at Mount Maunganui**. New Zeland: The University of Waikato, 2010. Disponível em: <http://researchcommons.waikato.ac.nz/bitstream/handle/10289/4344/thesis.pdf?sequence=1>. Acesso em: 02 nov. 2017.

Sobre os autores

Glacianne Gonçalves de Oliveira Maia

Graduação em Geografia nas modalidades bacharelado e licenciatura pela Universidade Estadual do Ceará. Mestre em Geografia na área de concentração Análise Territorial e Ambiental da Zona Costeira pela Universidade Federal do Ceará. Doutora em Ciências Marinhas pelo Instituto de Ciências Marinhas Tropicais - LABOMAR/UFC (<http://www.repositoriobib.ufc.br/000010/0000107A.pdf>). Professora Auxiliar HA-N3 no curso de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de Fortaleza-UNIFOR. Foi Tutora à Distância no curso de Educação Ambiental pela UFC-Virtual. Experiência na área de Geociências, Topografia, Gestão Ambiental e Educação Ambiental, com ênfase em oceanografia geológica e geografia física atuando principalmente nos seguintes temas: dinâmica costeira, uso e ocupação, morfodinâmica e hidrodinâmica, valoração praial, erosão costeira, gerenciamento costeiro, eventos de tempestades em praias semi-urbanas e naturais. Recentemente é pesquisadora na área da Engenharia Civil e Oceanografia com o tema "O uso das obras costeiras para proteção e/ou reabilitação de praias arenosas do Estado do Ceará, Brasil", pela Universidade de Fortaleza.

Luis Feitosa Neto

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade de Fortaleza (UNIFOR).

Vitória Lima Tavares

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade de Fortaleza (UNIFOR).

Lucas Fernandes

Discente em Engenharia Civil pela Universidade de Fortaleza (UNIFOR).

Márcio Fonseca

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade de Fortaleza (UNIFOR).