

ESTUDO COMPARATIVO DE DUAS PRAIAS URBANAS AFETADAS POR OBRAS DE DEFESA: ICARAÍ-CE E PAU AMARELO-PE, BRASIL

Davis P. DE PAULA¹; João M. ALVEIRINHO DIAS²

RESUMO

Este estudo teve por objetivo analisar comparativamente duas praias do Nordeste brasileiro intervencionadas pelo mesmo tipo de obra de proteção costeira, observando-se as variações morfológicas induzidas pela construção da estrutura. A estrutura em questão foi construída como uma muralha de concreto em forma de escadaria, enraizada junto à costa para amenizar o impacto das ondas e o consequente efeito erosivo. A primeira praia analisada foi a Praia do Icaraí (Caucaia-CE), intervencionada em 2011, sendo caracterizada por uma costa aberta, com dunas antropizadas e com agitação marítima mediamente severa. A segunda foi a Praia de Pau Amarelo (Paulista, PE), intervencionada em 2013, sendo uma costa protegida pelo alinhamento de recifes submersos, com sua alta praia densamente ocupada por estruturas urbanas e baixa energia de ondas. No caso da Praia do Icaraí, é preciso perceber dois momentos distintos: no primeiro (entre agosto/11 e março/12), houve uma satisfatória recuperação do nível de areia da praia e proteção das estruturas urbanas; no segundo (período com fortes ressacas do mar, em maio/12), a obra foi colapsada, e as estruturas urbanas danificadas. Rapidamente, a estrutura foi reerguida e voltou a exercer sua função de proteção por mais alguns meses. Em Pau Amarelo, os resultados foram diferentes. O trecho mais antigo foi erguido em outubro/13, sendo que até 2015, não constam registros de danos estruturais no trecho monitorado, e a linha de costa parece estabilizada. Diferentemente do Icaraí, em Pau Amarelo os recifes ao largo da praia propiciam uma proteção natural, atenuando a energia de ondas que incidem na costa. No Icaraí, além da deficiência construtiva, o comportamento diferenciado deve-se, em muito, aos diferentes climas de agitação marítima, especialmente condicionada aos eventos mais energéticos, em que não se comprovou a proteção esperada.

Palavras-chave: dissipado de energia; erosão costeira; obra rígida de engenharia; praias urbanas; variações morfológicas.

¹ Doutor, Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual Vale do Acaraú – UVA e do Mestrado Acadêmico em Geografia-MAG/UVA, Avenida Dr. Guarany nº. 317, Derby, CEP: 62.040-370, Sobral-CE, Brasil. E-mail: davispp@yahoo.com.br

² Doutor, Professor associado ao Centro de Investigação Marinha e Ambiental -CIMA da Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8000 Faro, Portugal. E-mail: jdias@ualg.pt

1. INTRODUÇÃO

A ocupação da zona costeira de forma desordenada e não sustentada tem potencializado os riscos costeiros, especialmente os ligados à erosão marinha. A doutrina majoritária relacionada a essa temática sugere que a interação entre os mais diversos tipos de atividades humanas (e.g. portuária, turística e industrial) e os processos costeiros tem conduzido a uma situação de desequilíbrio ambiental, resultando na maior parte dos casos no recuo da linha de costa. Dias (1993) entende que esse processo é determinado por fatores múltiplos, quais sejam: a elevação do nível do mar (*sea level rise*), a degradação dos sistemas ambientais naturais (e.g. dunas, estuários e falésias), a antropização das bacias hidrográficas (e.g. processo de açudagem) e a artificialização da costa por obras rígidas de proteção costeira.

Outra concordância bem conhecida nos estudos sobre a zona costeira é que a diminuição do abastecimento sedimentar do litoral está associada direta e indiretamente à degradação dos depósitos sedimentares, os quais funcionam como áreas de fornecimento sedimentar à deriva litorânea (Dias *et al.*, 2004; Syvitski *et al.*, 2005; Dias, 2005; Pires *et al.*, 2012). Nesse caso, ocorre a insaturação no transporte sedimentar longitudinal às praias, conseqüentemente contribuindo para um balanço sedimentar negativo que, por sua vez, repercute na erosão dos corpos dunares, no rebaixamento dos níveis de areia da faixa de praia e no recuo da linha de costa em direção à frente marinha urbanizada (situação observada nas praias de Icarai, no Ceará, e Pau Amarelo em Pernambuco). Moore *et al.* (1999), Zhang *et al.* (2004) e Dickson *et al.* (2007) destacam que essas condições podem ser agravadas quando considerados os efeitos em curso das mudanças climáticas globais.

No caso do litoral da região Nordeste do Brasil, enquadramento geográfico deste estudo, os problemas costeiros e suas soluções seguem o mesmo modelo já discutido e debatido em escala global, em que há duas tendências antagônicas: intensificação da erosão costeira e amplificação e ampliação da ocupação humana junto à linha de costa. Tal assemelha-se ao já observado na maior parte dos trechos costeiros mundiais, em que, mediante a destruição do patrimônio edificado público e privado, tem-se com maior frequência o uso de estruturas de engenharia costeira para proteção do litoral e seus patrimônios (e.g. natural, cultural, patrimonial, econômico e construído).

Isso nem sempre representou um problema para os gestores públicos das áreas afetadas pelo avanço do mar. No caso das praias do Icarai (CE) e Pau Amarelo (PE), as primeiras iniciativas de defensas do litoral foram de ações individuais, ou seja, dos mais afetados pelo problema. Aqui, em geral, foram utilizadas estruturas tradicionais e com baixo nível técnico, que não conseguiram atingir eficazmente os seus objetivos de sustentar o recuo da linha de costa e recuperar o areal da praia. Com o aumento do risco de perdas de terras costeiras e suas edificações, o poder público resolveu intervir através de soluções tradicionais de engenharia, que custam caro e por vezes são insustentáveis, pois continuam a pressionar os sistemas costeiros atuando diretamente na redução da capacidade de resiliência ambiental. Dias (1993) destaca que tais estruturas contribuem para deixar mais estática a linha de costa, que está inserida em um meio com energia ou cargas dinâmicas, o que afeta diretamente o transporte sedimentar local.

As estruturas rígidas de proteção costeira, em geral, atuam como indutores suplementares da erosão costeira, condicionando a uma situação de efeito em cadeia em que novas obras são construídas e outras são amplificadas. A interação entre a dinâmica costeira e as obras

de proteção ocorre em escala de tempo variável, produzindo efeitos díspares na paisagem costeira. Por vezes, o efeito das obras é adverso, ocasionando o agravamento dos problemas de erosão costeira. Nesse caso, o conhecimento deficitário das forças físicas (e.g. ondas, marés, correntes e vento) pode ser determinante para a baixa eficiência das obras, levando à perda dos investimentos que ultrapassam a escala dos milhões de reais.

A ocupação histórica do litoral é formada por situações que são complexas e, por vezes, contraditórias, como já descrito anteriormente. Desse modo, o estudo em causa tem como objetivo precípuo analisar comparativamente duas praias do Nordeste brasileiro intervencionadas pelo mesmo tipo de obra de proteção, observando-se a interação entre os processos físicos responsáveis pelo comportamento dinâmico da praia e a estrutura construída para proteger o patrimônio edificado.

2. ÁREA DE ESTUDO

O litoral Nordeste do Brasil possui mais de 3 mil km de extensão, equivalente a cerca de 45% da linha de costa brasileira. É formado por nove estados costeiros, que totalizam uma população superior a 50 milhões de habitantes. A região Nordeste é nomeadamente conhecida pela sua vocação turístico-balnear, baseada, sobretudo, no turismo de sol e praia que impulsiona o desenvolvimento de uma cadeia de consumo dos espaços costeiros e seus recursos naturais.

O estudo proposto foi desenvolvido em duas praias do Nordeste brasileiro que foram intervencionadas pela mesma estrutura de proteção costeira: a Praia do Icaraí, localizada no município de Caucaia (Ceará), e a Praia de Pau Amarelo, situada no município de Paulista (Pernambuco) (Figura 1). Ambas estão inseridas em suas respectivas regiões metropolitanas e possuem como característica dominante uma linha de costa fortemente artificializada por estruturas urbanas (e.g. casas, barracas de praia, obras de rígidas, calçadas e estradas). As duas praias foram referenciadas na publicação que trata da erosão e progradação do litoral brasileiro, ainda em 2006, como trechos com forte processo erosivo (Manso *et al.*, 2006; Morais *et al.*, 2006).

A Praia do Icaraí está localizada em um trecho do litoral exposto à agitação marítima, o que lhe confere uma dinâmica intensa, com erosão e transporte de sedimentos consolidados da Formação Barreiras que aflora no litoral em forma de falésias marinhas e inconsolidados dos Depósitos Eólicos recentes. Já a Praia de Pau Amarelo está situada em uma zona bordejada por recifes algálicos, possuindo como função natural a dissipação da energia de ondas, o que permite um controle dos processos de difração e refração de ondas (Oliveira *et al.*, 2013). Ambas as praias estão localizadas a montante de áreas extremamente artificializadas por obras rígidas de engenharia, no caso, Fortaleza-CE com seus espigões transversais, e Olinda-PE com seus quebra-mares destacados. Tratam-se, portanto, de zonas com a dinâmica sedimentar bastante modificada e insaturada.

Em termos hidroclimáticos, os trechos costeiros estudados são caracterizados por duas estações bem definidas: uma seca e outra chuvosa (concentra mais de 90% das chuvas). O que lhes diferencia são os meses de ocorrência. Ambas as regiões são caracterizadas pelo clima tropical quente e úmido com influência da semiaridez, especialmente, o trecho costeiro referente à Praia de Icaraí. A temperatura média anual é acima de 25° C com baixa amplitude térmica. O comportamento dos ventos também segue uma sazonalidade, com ventos mais intensos registrados no segundo semestre do ano, oriundos do quadrante E-

SE. Manso et al. (2006) destacaram que para o litoral de Pernambuco, em geral, as velocidades médias oscilam entre 3 m/s e 5 m/s, enquanto que para o litoral do Ceará, a variação é de 3 m/s a 8,5 m/s (Morais et al., 2006).



Figura 1. Localização das praias de Icaraí (no Ceará) e Pau Amarelo (em Pernambuco).

O regime de marés tanto na costa do Ceará quanto na de Pernambuco é classificado em função da sua amplitude como meso-maré com padrão semidiurno. Apesar da singularidade na classificação, algumas diferenças são evidenciadas, como por exemplo, o valor da Preamar média de sizígia, que para a região costeira do Ceará é de 3,02 m, enquanto que para Pernambuco, o valor é de 2,60 m. Essas informações são disponibilizadas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN para os postos do Mucuripe (no Ceará) e Recife (em Pernambuco).

Conforme o relatório de ondas do INPH (2005) para o Porto do Pecém, região adjacente à Praia do Icaraí, o predomínio majoritário é de ondas provenientes do quadrante E-SE, que estão associadas aos ventos alísios, com período médio variando 5 s a 8 s e altura significativa máxima de 1,1 m. Em menor significância de registro, estão as ondas de longo período provenientes dos quadrantes N-NE e NW-NE, com período médio variando de 11,2 s a 20 s, e altura significativa máxima que ultrapassa os 2 m. Manso et al. (2006), também destacam que a predominância na direção das ondas para o litoral de Pernambuco ocorre no quadrante E-SE, com período médio variando de 5 s a 7 s e altura significativa máxima de 1,5 m.

3. A ESTRUTURA DE PROTEÇÃO COSTEIRA

A estrutura de proteção costeira foi edificada primeiramente na Praia do Icaraí, em 2011, com extensão de 1500 m, e depois na Praia de Pau Amarelo, em 2013, com extensão de 2.500 m. Em ambas as situações, o poder público agiu em caráter emergencial, no intuito de combater os problemas de erosão marinha e atenuar os conflitos sociais decorrentes da

situação de risco ao patrimônio edificado.

A obra de proteção costeira edificada nas praias de Icaraí e Pau Amarelo são análogas às já existentes no litoral de Alagoas – nas praias de Japaratinga (2003), Ponta Verde (2004) e Barra Nova (2008) (Souza, 2011). Trata-se de um dissipador de energia (do tipo *Bagwall*) construído sobre a linha de costa, em formato de escadaria e enraizado no continente. A estrutura tem por material básico o concreto simples, que é ensacado em formas geotêxteis para sua modelação em formato de bloco. Posteriormente, os blocos são empilhados até uma cota pré-determinada, limitada por uma viga de coroamento, também de concreto. A estrutura é apoiada em um aterro hidráulico que fica à sua retaguarda.

No caso das praias de Icaraí (Figura 2) e Paulista, o peso médio unitário de cada bloco é de 2 toneladas, a estrutura vertical é composta por 11 blocos e 1 viga de coroamento. A geometria da estrutura foi concebida para dissipar a energia da onda, limitando o alcance máximo do seu espraia sobre o continente e suas estruturas urbanas. Souza (2011) ainda indica que, ao reduzir a velocidade do trem de onda no seu contato incidente com os blocos de concreto da escadaria, há deposição de sedimentos sobre os blocos no movimento de refluxo (*backwash*), o que ajudaria na recomposição do areal do perfil de praia.

4. METODOLOGIA

Nas praias monitoradas adotou-se como critério de análise o acompanhamento do trecho mais antigo intervencionado pelo dissipador de energia. No caso da Praia de Icaraí, o trecho escolhido fica sotoposto a via costeira (3°40'14.53"S e 38°40'13.46"W). Já na Praia de Pau Amarelo, o trecho mais antigo fica de frente ao Forte de Nossa Senhora dos Prazeres (7°54'37.74"S e 34°49'21.77"W).

A aquisição de dados foi baseada em campanhas mensais de campo, permitindo acompanhar, ao longo do tempo, a evolução da praia afetada pela estrutura de contenção, interpretando as causas das variações que fossem detectadas. No sentido de ampliar as possibilidades de determinação de relações de causa – efeito, teve-se em consideração a realização de perfis topográficos para avaliar as alterações morfológicas na praia e sua relação com a construção do dissipador de energia.



Figura 2. Dissipador de energia do tipo *Bagwall* construído na Praia do Icaraí, Ceará.

Os perfis foram referenciados ao Zero Hidrográfico - ZH definido pela Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha – DHN. Os perfis topográficos foram executados obedecendo ao método da estadia (Birkmeier, 1981). O Referencial de Nível (RN) de cada perfil foi estabelecido num ponto fixo do continente. A referência utilizada para calcular as cotas altimétricas do terreno (diferença de nível) foi o nível do mar. Isso foi possível a partir da transposição de cotas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Os perfis foram georeferenciados com auxílio de um DGPS (*Differential Global Positioning System*) com precisão de ± 5 mm.

Na Praia do Icaraí, o monitoramento ocorreu entre os meses de julho/11 e fevereiro/15. Já na Praia de Pau Amarelo, o monitoramento ocorreu entre janeiro/12 e dezembro/14, totalizando mais de 60 perfis. Neste total estão inclusos os perfis obtidos nas campanhas de campo mensais e os que foram realizados a seguir à ocorrência de eventos de alta energia (ressaca do mar). Os perfis foram executados no intuito de cobrir a globalidade da variabilidade anual do ciclo climático imperante na Região Nordeste do Brasil, uma vez que as campanhas abrangeram tanto a quadra invernal como o período de estiagem para ambos os trechos costeiros.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Comportamento da Praia após a finalização da obra

- Praia do Icaraí

Como já descrito anteriormente, na Praia do Icaraí, o trecho mais antigo protegido por essa estrutura rígida é datado de 2011 e ocupa o setor central dessa praia. Esse é, também, o trecho mais problemático do ponto de vista da erosão costeira.

Analisando os primeiros seis meses da construção da estrutura, foi possível observar intensas transferências longitudinais e transversais de sedimentos, mas sempre com tendência ao rebaixamento do perfil mediano da praia durante a ocorrência de ressacas do mar nos meses de agosto/11 e setembro/11. Nesse período, houve rebaixamento de 3m (vertical) no nível médio de areia na base da estrutura, recuo do pendor da praia da ordem de 3,4m em direção à estrutura e redução de 1,5m no nível de areia da face de praia. Nos meses de outubro/11 a dezembro/11 houve recuperação global do perfil da praia, contudo sem equiparar à situação inicial em julho/11. No comparativo entre dezembro/11 e julho/11, apenas o areal da base da estrutura apresentou recuperação, ficando um pouco abaixo da situação inicial. De forma geral, no final dos seis meses iniciais de contenção do avanço do mar, houve recuo do pendor da praia em 8m em direção à estrutura e redução de 2,0m no nível de areia do terraço de maré.

Em 2012, foram observadas duas situações adversas. Na primeira, entre os meses de janeiro e março, houve rápido assoreamento na base da estrutura. Em média, apenas dois degraus dos onze estavam visíveis. No pendor da praia, houve retração de 2m e erosão contínua do terraço de maré. Já entre os meses de abril e junho, houve erosão generalizada do perfil de praia, resultando no colapso da estrutura, que em maio veio ao chão durante um forte evento de ressaca do mar induzida por ondas *Swell*. Nesse caso, o empilhamento da massa de água junto à estrutura ultrapassou a cota de 4,8m, o que permitiu que o espraio máximo da onda chegasse até o aterro hidráulico, ocasionando a infiltração de água e a fuga de material, bem como a perda de estabilidade da estrutura (Figura 3).



Figura 3. Imagens que evidenciam o antes, o durante e o depois do primeiro episódio de colapsamento da estrutura de proteção. A) Na foto do dia 1 de maio/12, antes da ressaca do mar, é possível observar que apenas três degraus estão descobertos; B) No dia 7 de maio, durante o evento de ressaca do mar é possível observar a fuga de material por trás da viga de coroamento indicado na seta vermelha; C) e D) Imagens dia seguinte ao evento, em que a estrutura foi danificada.

A estrutura foi ajustada durante o mês de julho, e nos 5 meses restantes do ano de 2012, observou-se a redução do areal na base da estrutura, especialmente, na ocorrência de ressacas do mar, induzidas por ventos alísios, entre os meses de agosto e outubro. O alcance máximo do espraio da onda inferior às registradas durante as ressacas do mar no primeiro semestre do ano, porém com forte energia dissipada lateralmente na estrutura, permitiu o modelamento de alguns blocos de concreto por força marinha *off-shore*. Em síntese, as mudanças observadas no perfil praiar, durante o primeiro ano de funcionamento da estrutura, podem ser resumidas em erosão difusa da praia, porém com proteção do patrimônio edificado, exceto quando se insere nesse contexto a própria obra, já que foi colapsada.

O início do primeiro semestre de 2013, tal como o seu análogo em 2012, foi marcado novamente por recuperação do nível de areia da praia emersa. Destaca-se que ambas as situações ocorreram com menor nível de agitação marítima. Apesar disso, em março, com o início da temporada de ressacas do mar induzidas por ondas, houve novamente o colapsamento da estrutura, motivada pela fuga de areia de preenchimento do aterro que fica na retaguarda da estrutura. Diferente do que ocorreu em maio/12, quando 8 blocos da estrutura estavam à mostra, em março/13, apenas 5 blocos estavam visíveis. Porém, 4

desses estavam parcialmente modelados pela energia das ondas, o que pode ter contribuído para o desequilíbrio da estrutura (Figura 4). Também diferentemente do ocorrido no primeiro caso de colapsamento da estrutura, a mesma não foi recuperada rapidamente.



Figura 4. Imagens do segundo momento em que a obra foi colapsada. A) e B) A estrutura em fevereiro/13 estava com apenas três degraus expostos e o aterro hidráulico recomposto e aparentemente robusto; C) A seta vermelha indica os degraus modelados pela energia das ondas, dificultando o acesso do banhista à praia; D) Imagem da estrutura colapsada em maio/12.

A obra de proteção só veio a ser recuperada definitivamente em janeiro/15. Nesse intervalo de tempo, houve recuo da linha de costa, nesse trecho da Praia de Icaraí, da ordem de 25m, o que resultou na destruição quase total da via costeira, danificação da rede de drenagem pluvial e destruição de muros condominiais e residenciais (Figura 5). Devido à desestabilização da estrutura e à demora na sua reconstrução, mais de 600m da estrutura vieram ao chão, levando a Prefeitura Municipal a decretar estado de emergência, classificando a região como área de risco potencial erosão costeira. Para obviar o problema, máquinas tentaram incessantemente empilhar os blocos de concreto e formar uma espécie de enrocamento, mas as tentativas foram fracassadas.

Ao compararmos o perfil da praia em fevereiro/15 com seu estado inicial em julho/11, ficou evidente o estágio avançado de erosão em todas as zonas da praia, especialmente no setor referente ao pendor da praia, que recuou 25m em direção à base da estrutura, nesse interstício (Figura 6). Também foi observado que a zona mais ativa do perfil ficou centrada na base da estrutura, o que auxiliou nas rápidas mudanças no nível vertical de areia e, por conseguinte, na estabilidade da estrutura.



Figura 5. Destruição das estruturas urbanas na orla da Praia do Icaraí em janeiro/15. A seta indica as ruínas do dissipador de energia.

- Praia de Pau Amarelo

Na Praia de Pau Amarelo, o trecho que fica em frente ao Forte de Nossa Senhora dos Prazeres foi o primeiro a ser intervencionado pela estrutura de proteção em outubro/13. Nele, a erosão costeira já destruíra as barracas de praia e colocava em risco o forte, que é tombado pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional.

Em Pau Amarelo, o primeiro perfil de praia foi realizado antes da construção da estrutura, isso em janeiro/12, o que permite uma análise morfológica mais detalhada. Analisando os últimos 4 meses do ano de 2013, foi possível observar que em setembro/13, antes da edificação da estrutura, o pendur da praia recuou 6m em direção ao forte, em comparação ao mês de janeiro/12. A face de praia e o terraço de maré pouco sofreram alterações, o que pode indicar uma baixa dinâmica sedimentar. Nesse caso, o refluxo da onda que desce a face de praia é maior do que o observado na Praia do Icaraí, pois a porosidade do material em Pau Amarelo é maior, constituído predominantemente por areia fina com alto percentual de carbonato, o que se deve à influência dos recifes submersos que se localizam a menos de 300m da praia.

Em outubro/13, após a edificação da estrutura, artificialmente a linha de costa progradou 8m, porém houve rebaixamento de quase 1m do terraço de maré (Figura 7). Referida tendência também foi observada no mês seguinte, sendo diferenciada no mês de dezembro/13, em que houve ligeira recuperação no nível de areia da face de praia, porém nada que lhe confira comparação com o perfil inicial da praia. Positivamente, é preciso destacar que entre outubro/13 e dezembro/13, o número de degraus expostos foi o mesmo, no total de 5. Isso pode transmitir uma ideia de baixa energia de ondas associada a uma também baixa dinâmica sedimentar.

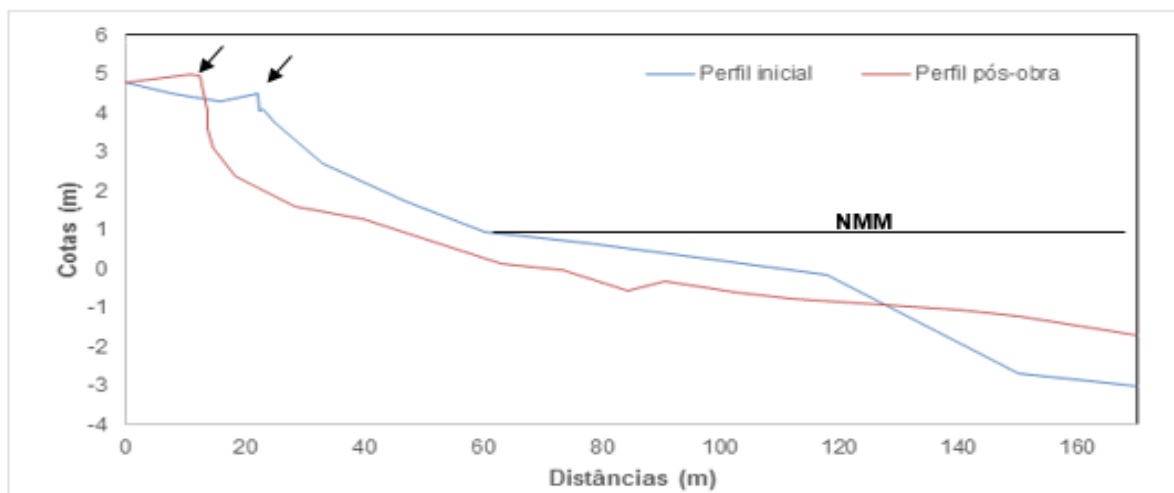


Figura 6. Comparação entre o perfil inicial (julho/11) e o perfil pós-obra (fevereiro/15) na Praia do Icaraí (cotas referidas ao zero hidrográfico-ZH). As setas indicam o início da estrutura de proteção.
Nota: NMM – Nível Médio do Mar.



Figura 7. Imagens da praia antes da construção do dissipador de energia com a sua alta praia ocupada por barracas de praia (A) em janeiro/12; Na imagem B é possível observar que as barracas de praia foram retiradas para construção da estrutura de proteção em outubro/13.

Os dois primeiros meses de 2014 foram caracterizados pelo assoreamento da base da estrutura, resultando em apenas 4 degraus expostos e recomposição parcial dos sedimentos perdidos na face de praia. Nos meses subsequentes, houve erosão generalizada do perfil entre janeiro e junho, houve rebaixamento de 1m no nível de areia da face de praia e de 0,9m na base da estrutura. Essa tendência de erosão, tal como na Praia do Icaraí, está associada a mudanças no clima dominante de agitação marítima. Costa et al. (2008), no seu estudo sobre a verticalização da Praia de Boa Viagem, destacam a influência das ressacas do mar no balanço sedimentar praiial, levando a um aumento na vulnerabilidade. Manso *et al.* (2006) e Araújo (2007) também destacam o papel das ressacas do mar na dinâmica do litoral de Pernambuco.

No segundo semestre de 2014, foi registrado durante o mês de agosto, o menor nível de areia no perfil, desde o início do monitoramento. Na base da escadaria, houve um rebaixamento de 2m no nível vertical de areia, resultando na exumação de 7 blocos da

estrutura, pior situação observada até aquele momento. No terraço de maré, a redução foi de 1,2m. Nos meses de setembro e outubro, houve recuperação do perfil praiial, porém ainda bem distante da situação inicial da praia. Em novembro e dezembro, houve um certo acúmulo de areia na base da escadaria, seguido de erosão da parte inferior do perfil. Esse período foi marcado nomeadamente por transferências verticais de areia para a zona submersa da praia, bem mais que as observadas no primeiro semestre de 2014.

De forma geral, a estrutura não apresentou nenhum dano em quase dois anos de sua instalação, diferentemente do que foi observado na Praia do Icaraí. Também na estrutura de proteção de Pau Amarelo não foram observados blocos modelados, o que pode ser uma decorrência da menor energia de ondas e de um concreto com maior resistência (Figura 8), haja vista o problema ocorrido na estrutura construída no Icaraí. Comparando o perfil inicial e o perfil pós-obra, é possível observar um rebaixamento geral das cotas topográficas da praia (Figura 9).



Figura 8. As imagens retratam a variação do nível de areia na base da estrutura entre os meses de julho/14 e novembro/14, indicando a baixa energia de onda e a deficiente dinâmica sedimentar.

6. CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados neste estudo, é possível inferir que a estrutura de proteção costeira construída na Praia do Icaraí e de Pau Amarelo são análogas em termos de geometria construtiva e díspares em sua função de proteção do litoral. Observe-se que, na Praia do Icaraí, a estrutura colapsou algumas vezes, contribuindo para o agravamento da erosão costeira. Decerto que, em ambas as praias, a estrutura não auxiliou na recuperação do areal da praia, quando comparado o perfil inicial e o perfil pós-obra. Em contraponto, o que se pode constatar, até o presente momento, é que na Praia de Pau Amarelo, a estrutura vem conseguindo proteger o patrimônio edificado, diferentemente do observado na Praia do Icaraí.

Na Praia do Icaraí, talvez o desconhecimento das forçantes naturais tenha sido o principal fator que contribuiu para a baixa eficiência da estrutura de proteção, haja vista que as experiências anteriores sempre foram em áreas com baixa energia de onda, o que permitiu uma vida útil maior a essas estruturas. Essa situação ficou evidente no comportamento da estrutura submetida à moda dominante de agitação marítima, apresentando boa eficiência. Porém, quando da quebra da dominância local por ondas de longo período (em eventos de

ressaca do mar), a estrutura não apresentou a eficiência esperada. Além disso, a interação do espraio máximo da onda na estrutura e o seu refluxo foram responsáveis pelo modelamento do concreto (que aparentemente não possuía resistência adequada) e por intensas variações no volume de areia na base da escadaria e no terraço de maré. Tal fato condicionou um recuo do pendor da praia em direção ao patrimônio edificado, conduzindo a uma situação de risco costeiro.

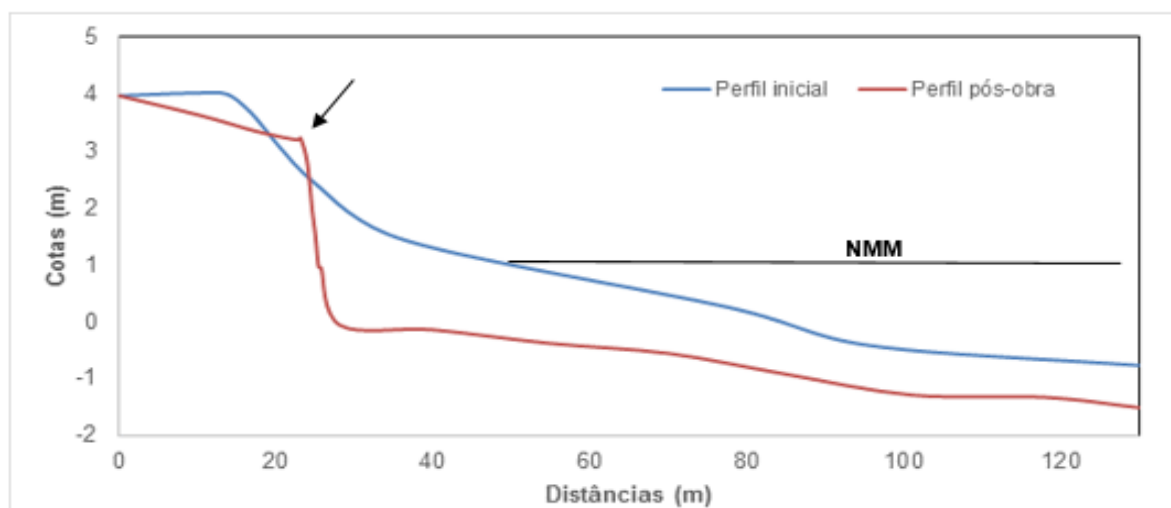


Figura 9. Comparação entre o perfil inicial (janeiro/12) e o perfil pós-obra (dezembro/14) na Praia de Pau Amarelo (cotas referidas ao zero hidrográfico-ZH). A seta indica o início da estrutura de proteção.

Em Pau Amarelo, aparentemente, a estrutura foi construída com melhor resistência e maior adequação ao sistema energético local. Porém, os recifes submersos, localizados a menos de 300 (em alguns locais), propiciam uma estabilidade para o local. A não recuperação do perfil inicial da praia pode estar veiculada à baixa dinâmica sedimentar, que ficou bem refletida na variação de degraus expostos.

Nas duas praias, ficou evidente a relação onda-estrutura e as implicações para a sua morfologia. Quando o espraio da onda incidia sobre os degraus da estrutura arrastando sedimentos, havia diminuição da força no refluxo por conta do atrito com os degraus, levando ao depósito do material em cima da estrutura. Essa situação foi mais evidente na Praia do Icaraí, que é mais energética. Outra relação nítida ocorreu em decorrência da geração de ondas refletidas após o choque da onda incidente na estrutura, proporcionando mudanças bruscas (na Praia do Icaraí) e mais suaves (na Praia de Pau Amarelo) na morfologia do terraço de maré. As ações construtivas também foram evidenciadas no declive da praia, em especial, na base da escadaria e na zona de espraio.

Por fim, o dissipador de energia, do tipo *Bagwall*, parece estar mais adequado a litorais menos expostos à ação energética do mar, especialmente, quando da ocorrência de eventos de alta energia (ressacas do mar). Porém, é preciso continuar monitorando ambas as regiões e proceder a novas análises, a fim de se compreender melhor a nova dinâmica costeira imposta pela relação estrutura-onda e suas repercussões na morfologia da praia.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo financiamento do projeto “Impactos costeiros no litoral de Caucaia (Ceará, Brasil) induzidos pelas obras costeiras construídas a sotamar e pelas ressacas do mar (Processo: 483811/2013-0) e pela concessão de uma bolsa de iniciação científica. À FUNCAP pela concessão de duas bolsas de iniciação científica. À CAPES pelo apoio ao projeto A Terra, O Mar e o Homem - PVE 047_2013. À Universidade Estadual Vale do Acaraú pela infraestrutura e apoio na realização do projeto. Aos laboratórios de Oceanografia Geológica da UFC e de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica da UECE pela parceria na realização dos experimentos de campo e análise laboratorial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo R.C.B. (2007). *As praias e os dias: história social das praias do Recife e de Olinda*. Fundação de Cultura Cidade do Recife, Pernambuco. 547p.
- Birkemeier, W.A. (1981). *Fast Accurate Two-Person Beach Survey*. Coastal Engineering Technical Aid 81-11. U.S Army Engineer Waterways Experiment Station. Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi, USA. 22 p.
- Costa, M. F., Araújo, M. C. B., Cavalcanti, J. S. S., Souza, S. T. (2008). Verticalização da Praia da Boa Viagem (Recife, Pernambuco) e suas Consequências Sócio-Ambientais. *Revista da Gestão Costeira Integrada* 8(2), 233-245.
- Dias, J.M.A. (2005). Evolução da zona costeira portuguesa: forçamentos antrópicos e naturais. *Tourism & Management Studies* SI (1), 7-27.
- Dias, J. M. A., Gonzalez, R., Ferreira, Ó. (2004). Natural versus Anthropoc Causes in Variations of Sand Export from River Basins: an Example from the Guadiana River Mouth (Southwestern Iberia). *Polish Geological Institute Special Papers*, 11, 95-102.
- Dias, J.M.A. (1993). *Estudo de Avaliação da Situação Ambiental e Propostas de Medidas de Salvaguarda para a Faixa Costeira Portuguesa (Parte de Geologia Costeira)*. Liga para a Protecção da Natureza / Ministério do Ambiente, relatório não publicado, Lisboa, 137 p.
- Dickson, M.E., Walkden, M. J. A., Hall, J. W. (2007). Systemic impacts of climate change on an eroding coastal region over the twenty-first century. *Climatic Change* 84(2), 141-166.
- INPH - Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias. (2005). *Relatório Final das Medições de Onda ao Largo de Pecém-CE*. Secretaria de Portos, Rio de Janeiro. Brasil.
- Manso, V.A.V., Coutinho, P.N., Guerra, N.C., Soares, J.R. (2006). In: *Pernambuco*. Muehe, D. (ed.) Erosão e progradação do litoral brasileiro. Ministério do Meio Ambiente Brasília, 179-196.
- Moore, L.J., Benumof, B.T., Griggs, G.B. (1999). Coastal erosion hazards in Santa Cruz and San Diego counties, California. *Journal of Coastal Research* SI(28), 121-139.
- Morais, J.O., Freire, G.S.S., Pinheiro, L.S., Souza, M.J.N., Carvalho, A.M., Pessoa, P.R.S., Oliveira, S.H.M. (2006). In *Ceará*, Muehe, D. (ed.) Erosão e progradação do litoral brasileiro. Ministério do Meio Ambiente Brasília, 131-154.
- Oliveira, P.F.P., Silva, H.A., Barreto, E.P., Valença, L.M.M., Manso, V.A.V. (2013). Variação longitudinal dos sedimentos de praia e sua relação com a inclinação da face praial e a

morfodinâmica, município de Paulista-Pe. *Estudos Geológicos* 23(2), 141-155.

Pires, I., Craveiro, J., Antunes, O. (2012). Artificialização do solo e Vulnerabilidade Humana em duas zonas sujeitas a processos de erosão costeira: casos de estudo da Costa da Caparica e Espinho (Portugal). *Revista da Gestão Costeira Integrada* 12(3), 277-290.

Souza, A.M.L. (2011). Recuperação de praias com o uso do Dissipador de Energia Bagwall no litoral dos Estados de Alagoas e do Ceará, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada* 11(4), 487-489.

Syvitski, J.P.M., Vörösmarty, C. J., Kettner, A. J., Green, P. (2005). Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science* 308 (5720), 376-380.

Zhang, K., Douglas, B.C., Leatherman, S. P. (2004). Global Warming and Coastal Erosion. *Climate Change*, SI(64), 41-58.