

Caracterização do clima de ondas da praia de Catuama (Goiana -PE) através do uso do Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil)

Patricia Fernanda Passos de Oliveira¹
Hewerton Alves da Silva²
Lucia Maria Mafra Valença³

^{1,2,3}Universidade Federal de Pernambuco - UFPE.

Programa de Pós-Graduação em Geociências - PPGEOC

Endereço: Avenida Acadêmico Helio Ramos, s/n Cidade Universitária. Recife – PE. CEP: 50740-530. patriciapassosoliveira@gmail.com, he.wasufpe@gmail.com, lmmv@ufpe.br

Abstract.

The relevance of wave studies in specific regions of the coast lies in the establishment of precise physical parameters, which are fundamental subsidies to coastal and oceanic studies. The aim of this work was to understand the characteristics of the waves at Catuama beach through the numerical simulation of the SMC-Brazil wave data base. The Coastal Modeling System (SMC) is a numerical tool that integrates a series of numerical models, which are structured according to the temporal and spatial scales. The program's database has two time series of sea states of 60 years, as well as methodologies and tools necessary to propagate waves, from deep waters to the beach. The wave directions of higher occurrence are waves coming from the ESE and SE direction, with 77% and 18% of the probability of occurrence. For the average conditions the wavelength varies between 0.9m and 1.45m and in the peak period there is variation between 6.9s and 8.9s. For storm conditions the waves reach between 1.32m and 2.56m peak periods ranged between 12.2s and 13.9s. ESE waves arriving in the region undergo the refraction / diffraction process due to the presence of beachrocks and the smooth topography of the shallow internal platform of Catuama beach. The reefs on the platform form a barrier preventing waves of greater height and energy from reaching the shoreline in the low tide and preamar.

Palavras-chave: Ondas, modelagem costeira, praia de Catuama.

1. Introdução

O clima de ondas é definido como a distribuição da altura de onda, período e média das direções durante um determinado tempo, para um determinado local. Em águas profundas e longe da costa (offshore), o clima de ondas é raramente variável, mas em águas rasas e próximas à costa (nearshore), o clima de ondas depende do que foi gerado em offshore, prevalecendo ventos e tempestades, e sobre a topografia de fundo, a qual tende a modificar a direção de propagação das ondas (Schwartz & Fairbridge, 1982).

Em uma análise estatística de ondas em geral pode-se utilizar a média das alturas e a variância das médias, mas o método mais utilizado é a análise da Altura Significativa de Onda (significant Wave height – Hs) definida como a média da terça parte das ondas de maior altura registrada. Esta escolha é baseada no fato de que, para diversas aplicações, as ondas maiores são mais importantes que as menores e, conseqüentemente, Hs garante um parâmetro mais significativo (Komar, 1998).

A relevância de estudos sobre ondas em regiões específicas do litoral reside no estabelecimento de parâmetros físicos precisos, que são subsídios fundamentais aos estudos de engenharia costeira e oceânica (Liu & Losada, 2002).

Em áreas costeiras altamente urbanizadas, o processo de erosão é visto como um sério problema tendo em vista às perdas ocasionadas por este fenômeno. Em Pernambuco, diante de um histórico de ocupação irregular da zona costeira (FINEP/UFPE, 2009), o processo de erosão costeira é seriamente sentido em diversas áreas litorâneas. Desta forma fica claro que as ondas,

como processo físico de maior dinâmica atuante no litoral, representam grande ameaça às construções costeiras, ao turismo e às operações navais (Candella, 1997 apud Bezerra,2013).

De acordo com Gomes (2007) diversas metodologias e modelagens estão sendo desenvolvidas, relacionadas com vulnerabilidade e riscos costeiros à erosão. Kraus (1990) descreve a importância da modelagem numérica dos fenômenos que atuam nas regiões costeiras, discutindo suas aplicações no âmbito de planejamento integrado.

Neste trabalho será aplicado o Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil), que possui significativa importância por ser uma ferramenta auxiliar para a gestão costeira visando suprir a escassez de destes estudos no litoral norte do Estado de Pernambuco, especialmente no litoral do município de Goiana. Desta forma este trabalho teve o intuito de compreender a característica das ondas na praia de Catuama através da simulação numérica da base de dados de ondas do SMC-Brasil.

1.1 Área de estudo

O trecho de praia analisado compreende a porção sul do município de Goiana, na Praia de Catuama, que possui aproximadamente 4 km de extensão. Este litoral limita-se ao sul pelo complexo estuarino do rio Itapessoca, Figura 1.

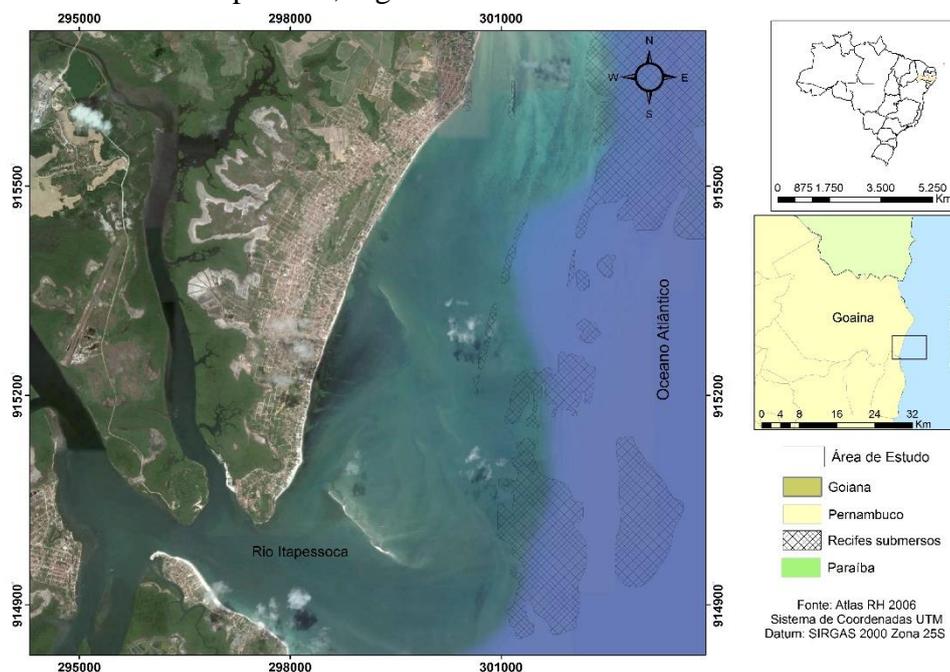


Figura 1: Localização da área de estudo.

O sistema de ondas oceânicas que aportam as áreas costeiras do Estado de Pernambuco, são ondas de direção leste-sudeste (ESE), associadas a ventos de mesma direção, com altura média de 1 a 1,5 m e períodos de 5 a 7 s, dominantes durante todo ano. Com relação às alturas das ondas, observa-se que no outono e primavera há uma predominância de valores em torno de 1,0 m; no verão oscilam entre 0,85 e 1,0 m e no inverno alcançam os maiores valores anuais, em torno de 1,25 m. Os períodos das ondas mencionadas ficam em torno de 6,5 s, para as condições de outono, inverno e primavera, e 5,0s no verão (MMA, 2006). Com dados coletados por um ondógrafo na costa de Pernambuco durante o período de três anos (2011-2014), durante a execução do Projeto MC-ONDAS/NE, foi possível caracterizar que as ondas predominantes na região de PE são os sistemas de vagas, geradas pelos alísios que sopram continuamente sobre o oceano Atlântico tropical, porém também são registrados vários sistemas de *swell*,

predominantemente vindos do quadrante sul, e que se caracterizam por ter períodos de pico acima dos 10 s (Gomes, 2015).

Em uma comparação de dados obtidos do SMC e de dados citados na descrição da área de estudo obtidas do MMA (2006), pôde-se verificar que para a altura significativa de onda, apesar da variação sazonal dos valores, de certa forma demonstram-se semelhantes aos dados do SMC. A comparação do período de pico do SMC foi um pouco maior que a média dos dados do MMA (2006) (Tabela 1).

Tabela 1: Comparação de dados de ondas.

Dados	Direção	Hs (m)	Tp (s)
MMA, 2006	ESE	1,0 a 1,5	5 a 7
SMC-Brasil	ESE/SE	1,4	7,5

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Sistema de Modelagem Costeira - SMC-BRASIL

O Sistema de Modelagem Costeira (SMC) é uma ferramenta numérica desenvolvida pelo Instituto de Hidráulica Ambiental da Cantábria (IH Cantábria) na Espanha, e foi adaptado e transferido para a administração pública brasileira em 2011. Constitui-se em uma ferramenta computacional que combina metodologias de trabalho, bases de dados de cartas náuticas, ondas e nível do mar, além de modelos numéricos orientados para o estudo e/ou solução de problemas na zona costeira. O SMC-Brasil integra uma série de modelos numéricos, os quais se encontram estruturados de acordo com as escalas temporais e espaciais dos processos a serem modelados. Existem duas ferramentas numéricas, uma delas é o SMC Tools, que reúne uma série de bancos de dados da costa brasileira (batimetria, ondas e marés) e análises matemáticas e estatísticas para avaliação da dinâmica costeira. Já a ferramenta SMC reúne uma série de modelos numéricos de propagação de ondas, geração de correntes e de transporte de sedimentos, permitindo também analisar a estabilidade de uma praia (SMC-BRASIL, 2014a).

2.2 Base de dados de ondas

O SMC-Brasil conta com um banco de dados de reanálise de ondas distribuído ao longo da costa do Brasil. Este banco de dados conta com duas séries horárias de estados de mar de 60 anos, além de metodologias e ferramentas necessárias para propagar, de águas profundas até junto a praia, o que permite realizar estudos litorâneos em alta resolução espacial e temporal.

Para a geração da base de dados e propagação das ondas até a praia, a metodologia é composta de três etapas. Na primeira delas foi gerada uma reanálise global que permitiu determinar as características gerais das ondas em águas profundas próximas à costa do Brasil (*Global Ocean Waves – GOW*). Na segunda etapa, foi realizado o *downscaling* que visa proporcionar características regionais a este banco de dados, transferindo as ondas até uma posição próxima à costa (*Downscaled Ocean Waves – DOW*). Finalmente existe uma terceira etapa, que consiste na propagação das ondas até a costa ou junto à praia (SMC-BRASIL, 2014b). As metodologias para a geração, calibração e validação das ondas, bem como sua transferência até a costa está descrita nos documentos temáticos e metodológicos do SMC-Brasil (SMC-BRASIL2014b). A base de dados de ondas DOW é usada como dado de entrada no modelo de propagação de ondas Oluca, que é um modelo combinado de refração-difração que resolve a aproximação parabólica fracamente não linear da equação do declive suave, simulando o comportamento de ondas. Este modelo inclui também processos de empinamento (*shoaling*), refração, difração e dissipação de energia por quebra para um espectro de energia discretizado em frequências e direções (SMC-BRASIL, 2014c).

2.3 Batimetria

Nesse estudo foram utilizados dados batimétricos obtidos através de cartas náuticas do litoral brasileiro da Marinha do Brasil e Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH), disponíveis na base de dados BACO do SMC - Brasil. O módulo BACO é composto por informações relacionadas às batimetrias, linhas costeiras e imagens de satélite. É um programa de pré-processamento integrado ao SMC Tools, que permite obter as batimetrias das cartas náuticas de qualquer área da costa brasileira. Para maior refinamento da batimetria no SMC, foi incluída malha batimétrica da plataforma interna adjacente à costa de Goiana obtidas do Projeto Granmar (CPRM 2008). Esta malha consiste em perfis perpendiculares à costa até a isóbata de 30 m.

2.4 Definição das Malhas de propagação e seleção dos casos

A partir das características da ondulação da área de estudo, foi determinada a direção das malhas de cálculo, sendo levado em consideração a direção principal das ondas incidentes. As malhas foram desenhadas com células espaçadas 30 m × 30 m entre si, possuindo 484 linhas e 361 colunas. Foram utilizadas malhas com orientação de 165 ° para propagação de ondas SE e ESE, que são as que predominam na área. Foram selecionados 150 casos obtidos através do algoritmo de máxima dissimilaridade (MaxDiss). Destaca-se que cada caso foi propagado em situação de maré baixa (0 m) e de maré alta (2,15m). Cada caso é propagado usando o modelo Oluca, e depois é feita uma interpolação dos dados para poder reconstruir a base de dados de 60 anos. A partir deste clima de ondas (60 anos) transferido para a praia é que se pode fazer a reconstrução do transporte de sedimento longitudinal anual nos perfis.

3. Resultados e Discussão

Para descrição do clima de ondas da região, foi selecionado um ponto DOW mais representativo para a área de estudo através do módulo IH-AMEVA, que é uma ferramenta estatística do SMC-Brasil. Este ponto DOW encontra-se em águas intermediárias (profundidades entre 13 a 20m) com cota batimétrica de 16,19 m, localizado nas coordenadas UTM 305981m E 9150037m S, (Figura 2).

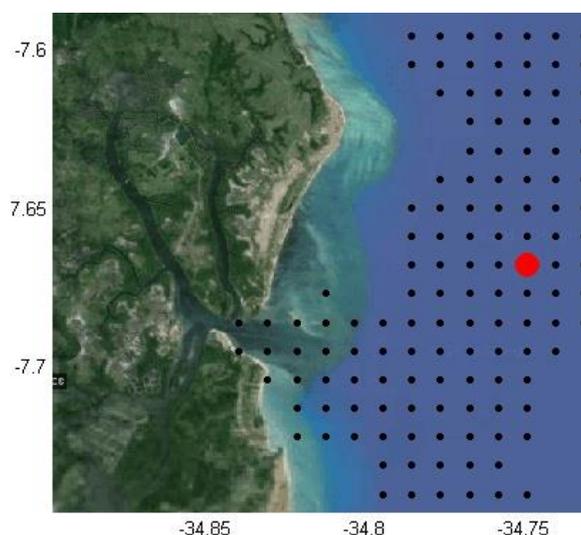


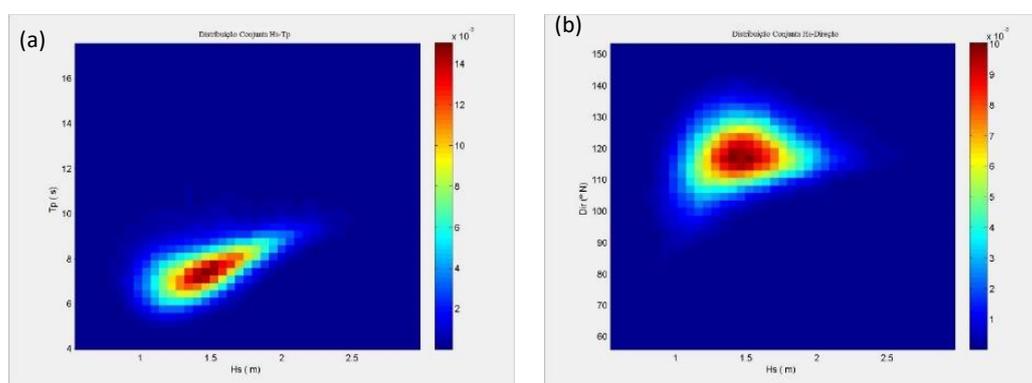
Figura 2: Ponto DOW avaliado em águas intermediárias.

Na Tabela 2 estão representados os parâmetros de altura de onda e período de pico e suas respectivas probabilidades de ocorrência por direções. As direções de ondas de maior ocorrência são ondas provenientes da direção ESE e SE, com 77% e 18% da probabilidade de ocorrência, respectivamente, que juntas totalizam 95% de representatividade das ondas incidentes. As ondas provenientes de E possuem probabilidade de ocorrência de 4%, e as de ENE não possuem valores significativos. Para as condições medianas (Hs50% e Tp50%) a altura de onda varia entre 0,9 m e 1,45 m e no período de pico ocorre variação entre 6,9 s e 8,9 s. Para condições de tempestade (Hs12 e Tp12) as ondas alcançam entre 1,32 m e 2,38 m e os períodos de pico variam entre 12,4 s e 13,9 s.

Tabela 2: Probabilidade de ocorrência das alturas de ondas e período de pico calculado no módulo AMEVA, para o ponto Dow.

Direção	Probabilidade (%)	Hs50% (m)	Tp50% (s)	Hs12 (m)	Tp12 (s)
ENE	0,05	0,9119	8,937	1,3203	12,2782
E	4,18	1,0953	7,3939	1,8653	13,772
ESE	77,5	1,4409	7,5248	2,5613	12,4202
SE	18,19	1,4511	6,9937	2,3848	13,9644

Na tabela citada estão representados os parâmetros de altura de onda e período de pico e suas respectivas probabilidades de ocorrência nas quatro principais direções. Para as condições medianas a altura de onda varia entre 0,9m e 1,45m e no período de pico ocorre variação entre 6,9s e 8,9s. Para condições de tempestade as ondas alcançam entre 1,32m e 2,56m os períodos de pico variaram entre 12,2s e 13,9s. As distribuições conjuntas Hs-Tp e Hs-Direção indicam que as ondas mais frequentes possuem alturas entre 1,4 m e 1,8 m, com período de pico em torno de 6s e 8s, e direção de ondas provenientes de 120° (Figuras 3a e 3b).



Figuras 3: Distribuições conjuntas entre Hs-Tp (a) e Hs-Dir (b).

As rosetas direcionais de ondas (Figura 4), demonstram graficamente a dominância de ondas ESE ao longo das estações do ano, ocorrendo também maior incidência de ondas de leste no outono, com a ocorrência de ondas maiores que 1,71m principalmente na primavera.

As ondas de ESE que chegam na região passam pelo processo de refração/difração devido a presença dos *beachrocks* e pela topografia suave da plataforma interna rasa de Goiana. Os recifes na plataforma formam uma barreira impedindo que ondas de maior altura e energia cheguem próximo à linha de costa na baixamar e preamar, (Figura 5).

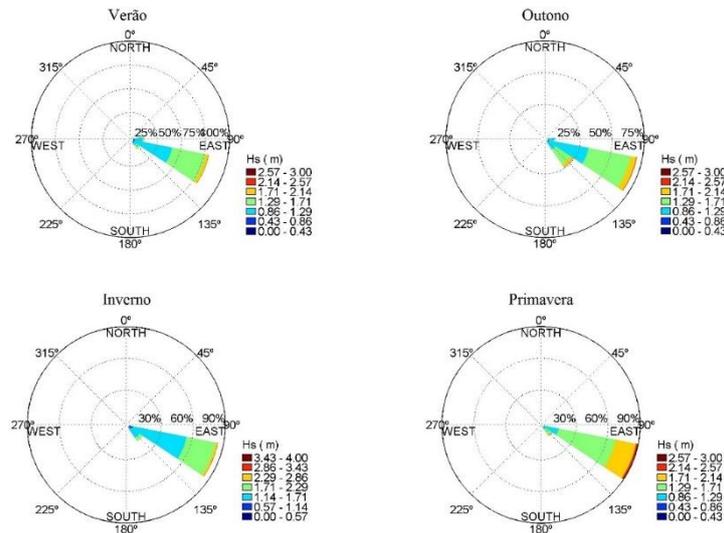


Figura 4: Roseta estacional de direções de ondas.

Na maré baixa, as ondulações com altura entre 0,1m e 0,6m chegam até a praia, com maiores alturas na porção mais a norte. No gráfico de vetores é possível notar que, a ondulação proveniente desta direção possui certa obliquidade para norte antes dos *beachrocks*, e chegando praticamente perpendicular à linha de costa.

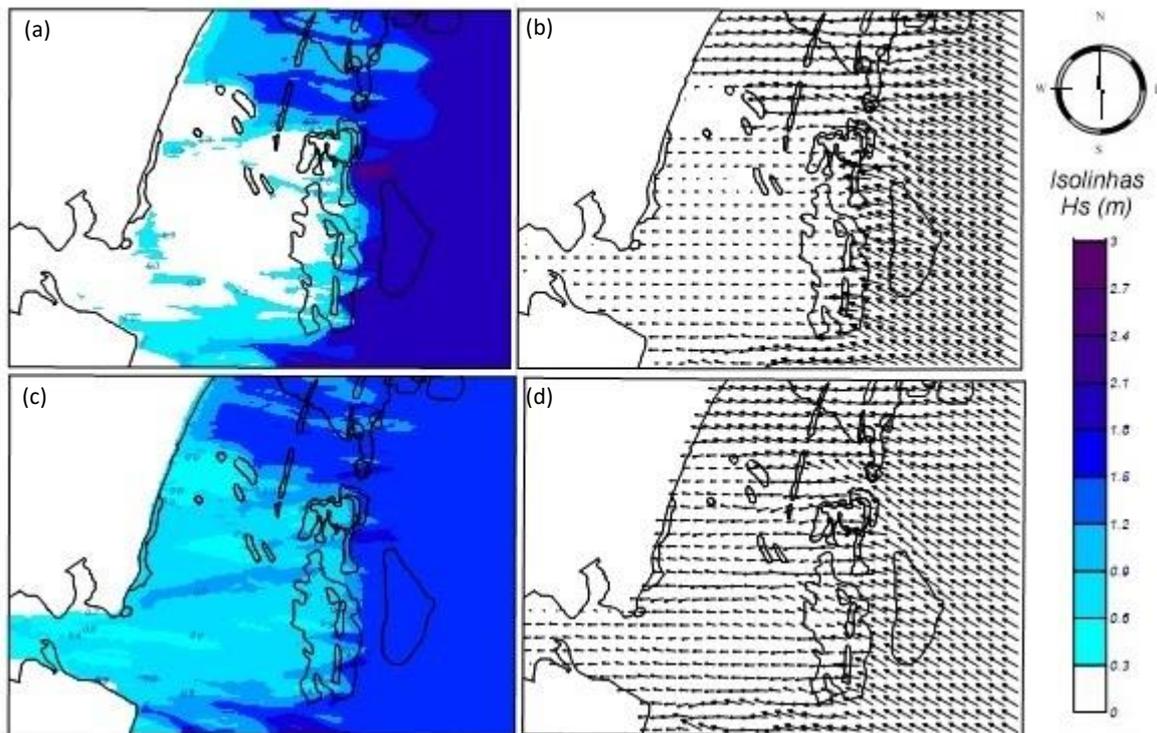


Figura 5: Isolinhas de altura de onda e vetores de direção de ondas associados às isóbatas, na região da praia Catuama resultante da propagação das ondas associadas a condições medianas: (a) e (b) ESE na baixamar; (c) e (d) ESE na maré média. Hs: 1,41 e Tp: 7,0s.

Na maré alta conseguem passar pelos *beachrocks* ondas com altura que variam entre 0,9m e 1,8m, e com a subida da maré formam um leve ângulo para norte no mapa de vetores. As

ondas incidem parcialmente sobre foz do Itapessoca com vetores perpendiculares ao canal fluvial.

4. Conclusões

Predominam ondulações com incidência provenientes das direções leste-sudeste (ESE), com altura significativa de onda variando entre 1,3 m e 1,4 m e período de pico entre 6 s e 8 s. De forma geral os *beachrocks* formam uma zona de sombra atenuando a energia das ondas e possivelmente favorecendo uma tendência de deposição e erosão em alguns trechos da costa, sendo um fator determinante na configuração da linha de costa e no transporte de sedimentos. A abertura destas estruturas também é responsável pela entrada de trem de ondas com maiores alturas significativas. Tornam-se necessários estudos mais aprofundados e medições em campo que validem a tendência identificada neste trabalho, mas os resultados encontrados de certa forma foram satisfatórios.

Referências Bibliográficas

Bezerra, C. S. **Clima de Ondas e Correntes no Litoral de Boa Viagem (Recife – PE)**: Clima de Ondas e Correntes no Litoral de Boa Viagem (Recife – PE): Aplicação do Sistema de Radar Náutico de Banda-X. 2013. 99 p. UFPE. Dissertação (Mestrado em Oceanografia). Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2013

CPRM. 2008. Projeto Granmar Brasil. **Avaliação do potencial mineral dos granulados marinhos do litoral do Brasil – PE/CE**. Relatório Técnico. 15p. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/geo/pgb/inicio/Geo1%20Geof%20Marinha.pdf> > Acesso em: 01/02/2015.

FINEP/UFPE. **Monitoramento ambiental integrado (MAI-PE)**. Recife: Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP. 2009. 171 p.

Gomes, F.V. A gestão da zona costeira portuguesa. **Revista da Gestão Costeira Integrada**. V. 7(2): p. 83-95, 2007.

Gomes, A. G. J. **Aprimoramento do clima de ondas do SMC como subsídio ao estudo da erosão costeira no litoral de Pernambuco**. 2015. 149p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2015.

Kraus, N.C. (Ed.). Shoreline change and storm- induced beach erosion modeling: a collection of seven papers. Mississippi, Final Report, Miscellaneous Paper CERC-90-2. 1990. Disponível em: <<http://bhl-china.org/bhldata/pdfs/s/shorelinechanges00krau.pdf#page=9>>. Acesso em: 13 abr. 2016.

Komar, P. D. **Beach Processes and Sedimentation**. 2nd ed. Prentice Hall, New Jersey. 1998. 544p.

Liu, P. L-F. and Losada, I. J., 2002. El modelado matemático de la propagacion del oleaje em ingeniería de costas. Ingeniería Del Água) Disponível em: <<file:///C:/Users/Patr%C3%ADcia/Downloads/2835-8188-1-PB.pdf>> Acesso em: 30/12/2015.

MMA, 2006. Projeto orla: fundamentos para gestão integrada. –2º ed., 74p., Ministério do Meio Ambiente (MMA) / Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Brasília, DF, Brasil. ISBN: 8577380297. Disponível em: <http://www.planejamento.gov.br/secretarias/upload/Arquivos/spu/publicacao/081021_PUB_ProjOrla_fundamentos.pdf>. Acesso em: 23/12/2015.

Schwartz, M.L; Fairbridge, R.W. **The encyclopedia of beaches and costal environments**. Stroudsburg, Pa : Hutchinson Ross Publishing Company. 1982. 940 p.

SMC-BRASIL. **Sistema de Modelagem Costeira do Brasil**. Web-page, Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria, Santander, Espanha. 2014a.160p. Disponível em <<http://smcbrasil.ihcantabria.com>>. Acesso em: 04/03/2015.

SMC-BRASIL. **Documento temático Ondas**. Web-page, Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria, Santander, Espanha. 2014b. 239p. Disponível em: <<http://smcbrasil.ihcantabria.com/descargas/>> Acesso em: 04/03/2015.



SMC-BRASIL. **Manual de Referência Modelo de Propagação de Onda Monocromática (Oluca MC)**. Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria, Santander, Espanha. 2014c. 239p. Disponível em: <<http://smcbrasil.ihcantabria.com/descargas/>>. Acesso em: 04/03/2015.