
• REVISTA DE
**GESTÃO COSTEIRA
INTEGRADA**

Journal of Integrated Coastal Zone Management

VOL.10(4): Dezembro
December 2010

<http://www.aprh.pt/rgci/>

Editor / Editors

Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos / UNIVALI

Formatação e paginação / Layout

André Cardoso

Design da capa / Cover design

Flatland Design

ISSN 1646-8872



Revista de Gestão Costeira Integrada

Journal of Integrated Coastal Zone Management

Volume 10, Número 4 / Volume 10, Number 4

Dezembro 2010 / December 2010

www.aprh.pt/rgci

Corpo Editorial / Editorial Board

J. Alveirinho Dias
(jdias@ualg.pt)

J. Antunes do Carmo
(jsacarmo@dec.uc.pt)

Marcus Polette
(mipolette@univali.br)

Comissão Científica / Scientific Committee

Adriano A. Bordalo (Universidade do Porto, Porto, PORTUGAL)	Alexander Turra (Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, BRASIL)	Alexandre Schiavetti (Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, BRASIL)
Ana Vila-Concejo (University of Sydney, Sidney, AUSTRÁLIA)	André Bustorff Fortunato (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, PORTUGAL)	Antonio Klein (Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, SC, BRASIL)
Cassiano Monteiro-Neto (Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, BRASIL)	Dieter Muehe (Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, BRASIL)	Fernando Veloso Gomes (Universidade do Porto, Porto, PORTUGAL)
Frédéric Bertrand (Université de Paris 1 (Sorbonne) Paris, FRANÇA)	Helena Granja (Universidade do Minho, Braga, PORTUGAL)	Ildeberto Mota-Oliveira (Instituto Superior Técnico, Lisboa, PORTUGAL)
João Alveirinho Dias (Universidade do Algarve, Faro, PORTUGAL)	José A. Jiménez (Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, ESPANHA)	José Antunes do Carmo (Universidade de Coimbra, Coimbra, PORTUGAL)
Lauro J. Calliari (Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Carreiros, RS, BRASIL)	Luís Cancela da Fonseca (Universidade do Algarve, Faro, PORTUGAL)	Manuel Afonso-Dias (Universidade do Algarve, Faro, PORTUGAL)
Marcus Polette (Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, SC, BRASIL)	Mônica Costa (Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, BRASIL)	Moyses G. Tessler (Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, BRASIL)
Oscar Ferreira (Universidade do Algarve, Faro, PORTUGAL)	Paolo Ciavola (Università di Ferrara, Ferrara, ITÁLIA)	Paulo Freire Vieira (Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, BRASIL)
Rainer Wehrhahn (Universidade de Kiel Kiel, ALEMANHA)	Ramon Gonzalez (Universitat Basel, Basel, SUIÇA)	Silvio Soares Macedo (Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, BRASIL)
	Walter M. Widmer (Universidade Federal do Paraná, Matinhos, PA, BRASIL)	

Avaliadores / Referees

(2010)

- Adriano A. Bordalo e Sá**
Universidade do Porto - ICBAS
Porto, PORTUGAL
- Alexander Turra**
Universidade de São Paulo
São Paulo, SP, BRASIL
- Alexandre Schiavetti**
Universidade Estadual de Santa Cruz
Ilhéus, BA, BRASIL
- Allan Williams**
University of Wales
Swansea, UK
- Amílcar Carvalho Mendes**
Museu Paraense Emílio Goeldi
Belem, PA, BRASIL
- André Bustorff Fortunato**
Laboratório Nacional de Engenharia
Civil
Lisboa, PORTUGAL
- Ángela Spengler**
Bourscheid Engenharia e Meio Ambiente
S.A.
Porto Alegre, RS, BRASIL
- Barbara Franz**
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, RJ, BRASIL
- Bruno Miguel Vaz**
Universidade Nova de Lisboa
Lisboa, PORTUGAL
- Carla Bernadete Madureira Cruz**
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, RJ, BRASIL
- Carlos Augusto França Schettini**
Universidade Federal do Ceará /
Labomar
Fortaleza, CE, BRASIL
- Carlos Pereira da Silva**
Universidade Nova de Lisboa
Lisboa, PORTUGAL
- Carlos Roberto Soares**
Universidade Federal do Paraná
Pontal do Paraná, PR, BRASIL
- Carlos Vale**
Instituto de Investigação das Pescas e do
Mar
Lisboa, PORTUGAL
- Charles Moore**
Algalita Marine Research Foundation
Long Beach, CA, USA
- Claudio Mahler**
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, RJ, BRASIL
- Cristina Maria de Almeida
Bernardes**
Universidade de Aveiro
Aveiro, PORTUGAL
- David Tudor**
Bath Spa University College
Bath, UNITED KINGDOM
- David Valença Dantas**
Universidade Federal de Pernambuco
Recife, PE, BRASIL
- Davide Franco**
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, SC, BRASIL
- Debora Peterson**
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, SC, BRASIL
- Dieter Muehe**
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, RJ, BRASIL
- Ednilson Viana**
Universidade de São Paulo
São Paulo, SP, BRASIL
- Eduardo Soriano-Sierra**
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, SC, BRASIL
- Elírio E. Toldo Jr.**
Universidade Federal do Rio Grande do
Sul - Porto Alegre, RS, BRASIL
- Estibaliz Berecibar**
Estrutura de Missão Para a Extensão
da Plataforma Continental
Lisboa, PORTUGAL
- Fátima Lopes Alves**
Universidade de Aveiro
Aveiro, PORTUGAL
- Filipe de Oliveira Chaves**
Universidade Federal do Espírito Santo
Vitória, ES, BRASIL
- Flávia Guebert**
Universidade Federal de Pernambuco
Recife, PE, BRASIL
- Flávio Martins**
Universidade do Algarve
Faro, PORTUGAL
- Francisco Barreto Caldas**
Universidade do Porto
Porto, PORTUGAL
- Francisco C. R. de Barros Junior**
Universidade Federal da Bahia
Salvador, BA, BRASIL
- Francisco Taveira Pinto**
Universidade do Porto
Porto, PORTUGAL
- Heiko Brunken**
University of Applied Sciences
Bremen, GERMANY
- Helena Pato Granja**
Universidade do Minho
Braga, PORTUGAL
- Isaac Santos**
Florida State University
Tallahassee, FL, USA
- Jáder Onofre de Moraes**
Universidade Estadual do Ceará
Fortaleza, CE, BRASIL
- João Alveirinho Dias**
Centro de Investigação Marinha e
Ambiental
Faro, PORTUGAL
- João Luis Nicolodi**
Universidade Federal do Rio Grande
Rio Grande, RS, BRASIL
- João Miguel Dias**
Universidade de Aveiro
Aveiro, PORTUGAL
- José Antonio Baptista Neto**
Universidade Federal Fluminense
Niterói, RJ, BRASIL
- José Antunes do Carmo**
Universidade de Coimbra
Coimbra, PORTUGAL
- José Carlos Costa**
Universidade Técnica de Lisboa
Lisboa, PORTUGAL
- José Manuel Pereira Vieira**
Universidade do Minho
Guimarães, PORTUGAL
- José Maria de La Rosa**
Instituto Tecnológico e Nuclear
Sacavém, PORTUGAL
- Jose Maria Landim Dominguez**
Universidade Federal da Bahia
Salvador, BA, BRASIL
- José Rodolfo Scarati Martins**
Universidade de São Paulo
São Paulo, SP, BRASIL
- Juliana A. Ivar do Sul**
Universidade Federal de Pernambuco
Recife, PE, BRASIL
- Kátia Naomi Kuroshima**
Universidade do Vale do Itajaí
Itajaí, SC, BRASIL
- Leonel Serrano Gordo**
Universidade de Lisboa
Lisboa, PORTUGAL
- Luís Portela**
Laboratório Nacional de Engenharia
Civil
Lisboa, PORTUGAL
- Marco Alves**
Wave Energy Centre (WavEC)
Lisboa, Portugal
- Marcus Polette**
Universidade do Vale do Itajaí
Itajaí, SC, BRASIL
- Margarida Cardoso da Silva**
Laboratório Nacional de Engenharia
Civil
Lisboa, PORTUGAL
- Maria Christina Barbosa de Araújo**
Universidade Federal do Rio Grande
do Norte
Natal, RN, BRASIL
- Maria da Conceição Freitas**
Universidade de Lisboa
Lisboa, PORTUGAL
- Maria de Fátima Araújo**
Instituto Tecnológico e Nuclear
Sacavém, PORTUGAL
- Maria Eugénia Bruck de Moraes**
Universidade Estadual de Santa Cruz
Ilhéus, BA, BRASIL
- Mariana Coutinho Hennemann**
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, SC, BRASIL
- Marinez Eymael Garcia Scherer**
Programa Bandeira Azul
Florianópolis, SC, BRASIL
- Mário Gomes Soares**
Universidade do Estado do Rio de
Janeiro
Rio de Janeiro, RJ, BRASIL
- Martin Thiel**
Universidad Católica del Norte
Coquimbo, CHILE
- Mary J. Donohue**
University of Hawaii
Honolulu, USA
- Michel Michaelovitch de Mahiques**
Universidade de São Paulo
São Paulo, SP, BRASIL
- Michele Tomoko Sato**
Universidade Federal de Mato Grosso
Cuiabá, MT - BRASIL
- Milton L. Asmus**
Universidade Federal do Rio Grande do
Sul - Carreiros, RS, BRASIL
- Mônica Ferreira da Costa**
Universidade Federal de Pernambuco
Recife, PE, BRASIL
- Mônica Maria Pereira Tognella**
Universidade Federal do Espírito Santo
São Mateus, ES, BRASIL
- Moysés Gonzalez Tessler**
Universidade de São Paulo
São Paulo, SP, BRASIL
- Natalia Hanazaki**
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, SC, BRASIL
- Nelson Gruber**
Universidade Federal do Rio Grande do
Sul
Porto Alegre, RS, BRASIL
- Norberto Olmiro Horn Filho**
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, SC, BRASIL
- Paulo Roberto Armanini Tagliani**
UFRGS Universidade Federal do
Rio Grande do Sul
Rio Grande, RS, BRASIL
- Pedro Prouença Cunha**
Universidade de Coimbra
Coimbra, PORTUGAL
- Pedro Walfir Martins e Souza Filho**
Universidade Federal do Pará
Belém, PA, BRASIL
- Rainer Wehrhahn**
Universidade de Kiel
Kiel, ALEMANHA
- Ramon Gonzalez**
Universidade de Basel
Basel, SUIÇA
- Ricardo Clapis Garla**
Universidade Federal do Rio Grande
do Norte
Natal, RN, BRASIL
- Richard Thompson**
University of Plymouth
Plymouth, UNITED KINGDOM
- Roberto Sassi**
Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa, PB, BRASIL
- Ruy Kenji Papa de Kikuchi**
Universidade Federal da Bahia
Salvador, BA, BRASIL
- Sérgio Ricardo da Silveira Barros**
Universidade de São Paulo
São Paulo, SP, BRASIL
- Tomasz Boski**
Universidade do Algarve
Faro, PORTUGAL
- Valéria Laneuville Teixeira**
Universidade Federal Fluminense
Niterói, RJ, BRASIL
- Wagner Costa Ribeiro**
Universidade de São Paulo
São Paulo, SP, BRASIL
- Walter M. Widmer**
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina
SC, BRASIL
- Yara Mattos**
Universidade Federal de Ouro Preto
Ouro Preto, MG, BRASIL

Outros Avaliadores / Other Referees

(2007 - 2009)

- Adélio Silva**
Hidromod
Lisboa, PORTUGAL
- Alexandre Mazzer**
Universidade da Região de Joinville
Joinville, SC, BRASIL
- Ana Vila-Concejo**
University of Sydney
Sydney, AUSTRÁLIA
- Antônio Carlos Diegues**
Universidade de São Paulo
São Paulo, SP, BRASIL
- Antonio Klein**
Universidade do Vale do Itajaí
Itajaí, SC, BRASIL
- Antônio M. Galopim de Carvalho**
Universidade de Lisboa
Lisboa, PORTUGAL
- Antônio Manuel da Silva Luís**
Universidade de Aveiro
Aveiro, PORTUGAL
- Carlos Alberto Cioce Sampaio**
Universidade Regional de Blumenau
Blumenau, SC, BRASIL
- Carlos Roberto Soares**
Universidade Federal do Paraná
Pontal do Paraná, PR, BRASIL
- Clovis B. Castro**
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, RJ, BRASIL
- Elmo Rodrigues da Silva**
Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, RJ, BRASIL
- Emanuel Gonçalves**
Instituto Superior de Psicologia Aplicada
Lisboa, PORTUGAL
- Fernando Pereira de Sousa**
CEPESE
Centro de Estudos da População, Economia e
Sociedade
Porto, PORTUGAL
- Fernando Perna**
Universidade do Algarve
Faro, PORTUGAL
- Fernando Veloso Gomes**
Universidade do Porto
Porto, PORTUGAL
- Frédéric Bertrand**
Université de Paris 1 Sorbonne
Paris, FRANÇA
- Helena de Freitas**
Universidade de Coimbra
Coimbra, PORTUGAL
- Ildeberto Mota-Oliveira**
Instituto Superior Técnico
Lisboa, PORTUGAL
- João Carlos Marques**
Universidade de Coimbra
Coimbra, PORTUGAL
- João Thadeu de Menezes**
Universidade do Vale do Itajaí
Itajaí, SC, BRASIL
- João Wagner Alencar de Castro**
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, BRASIL
- José A. Jiménez**
Universitat Politècnica de Catalunya
Barcelona, ESPANHA
- José Ribeiro**
Universidade Aberta
Porto, PORTUGAL
- Karim Erzini**
Universidade do Algarve
Faro, PORTUGAL
- Lauro J. Calliari**
Universidade Federal do Rio Grande
Carreiros, RS, BRASIL
- Luci Cajueiro Carneiro Pereira**
Universidade Federal do Pará
Belém, PA, BRASIL
- Luciano Lorenzi**
Universidade da Região de Joinville
São Francisco do Sul, SC, BRASIL
- Luís Cancela da Fonseca**
Universidade do Algarve
Faro, PORTUGAL
- Manuel Afonso-Dias**
Universidade do Algarve
Faro, PORTUGAL
- Manuel Sousa Neves Pereira**
Universidade do Algarve
Faro, PORTUGAL
- Marcelo Sperle Dias**
Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, RJ, BRASIL
- Maria Ana Peixe Dias**
Universidade de Lisboa
Lisboa, PORTUGAL
- Maria do Rosário Bastos**
Universidade Aberta
Porto, PORTUGAL
- Maria Jesus Irabien Gullias**
Euskal Herriko Unibertsitatea
Bilbao, ESPANHA
- Maria José Costa**
Universidade de Lisboa
Lisboa, PORTUGAL
- Maria Oziléa Bezerra Menezes**
Universidade Federal do Pará
Belém, PA, BRASIL
- Maria Teresa Dinis**
Universidade do Algarve
Faro, PORTUGAL
- Moacyr Araújo**
Universidade Federal de Pernambuco
Recife, PE, BRASIL
- Naína Pierri Estados**
Universidade Federal do Paraná
Curitiba, PR, BRASIL
- Óscar Ferreira**
Universidade do Algarve
Faro, PORTUGAL
- Paolo Ciavola**
Università di Ferrara
Ferrara, ITÁLIA
- Paulo Avilez Valente**
Universidade do Porto
Porto, PORTUGAL
- Paulo Catry**
Instituto Superior de Psicologia Aplicada
Lisboa, PORTUGAL
- Paulo da Cunha Lana**
Universidade Federal do Paraná
Pontal do Paraná, PR, BRASIL
- Paulo Jorge Parreira dos Santos**
Universidade Federal de Pernambuco
Recife, PE, BRASIL
- Paulo Pereira**
Universidade Aberta
Porto, PORTUGAL
- Paulo Renato Baganha Baptista**
CESAM
Aveiro, PORTUGAL
- Philip Conrad Scott**
Universidade Santa Úrsula
Rio de Janeiro, RJ, BRASIL
- Ricardo Melo**
Universidade de Lisboa
Lisboa, PORTUGAL
- Rosemeri Marenzi**
Universidade do Vale do Itajaí
Itajaí, SC, BRASIL
- Rui Taborda**
Universidade de Lisboa
Lisboa, PORTUGAL
- Silvio Soares Macedo**
Universidade de São Paulo
São Paulo, SP, BRASIL
- Ulisses Miranda Azeiteiro**
Universidade Aberta
Porto, PORTUGAL

Índice / Index

Artigos / Papers

- | | | |
|--|-----|--|
| Maria Teresa Reis
Maria da Graça Neves | 397 | Estudo do Galgamento de Estruturas Marítimas utilizando um Modelo Numérico baseado na Teoria da Onda em Condições de Água pouco Profunda
<i>Numerical Modelling of Wave Overtopping of Maritime Structures using a NLSW Equation Model</i> |
| Alessandro Farinaccio
Moyisés Gonzalez Tessler | 419 | Avaliação de Impactos Ambientais no Meio Físico decorrentes de Obras de Engenharia Costeira - Uma Proposta Metodológica
<i>Assessment of Environmental Impacts on the Physical Environment due to Coastal Engineering Works - A Proposed Methodology</i> |
| Eric Didier
Maria da Graça Neves | 435 | Modelação da Interação entre uma Onda e uma Estrutura de Protecção Costeira usando um Modelo Numérico SPH – Smoothed Particles Hydrodynamics
<i>Study of Wave Interaction with Coastal Structures using a SPH Numerical Model</i> |
| Luis A. de Gois
Niédja M. G. A. e Oliveira | 457 | A Contribuição do Escoamento Superficial e da Drenagem de Águas Pluviais para os Processos Erosivos no Litoral de Olinda, Pernambuco, Brasil
<i>The Contribution of the Surface Runoff and the Pluvial Water Draining for the Erosive Processes in the Coast of Olinda, Pernambuco, Brasil</i> |
| Diogo Ruben Neves
Sara Rodrigues
Maria Teresa Reis
Conceição Juana Fortes
João Alfredo Santos | 483 | Aplicação ao Porto de Sines (Portugal) de uma nova Metodologia de Avaliação do Risco para a Navegação Portuária utilizando o Sistema de Informação Geográfica Guiomar.
<i>Application to the Port of Sines (Portugal) of a new Tool for Risk Assessment in Port Navigation using the GIS Guiomar System</i> |
| Iracema Reimão Silva
Maria Helena Ochi Flexor
Sergio Nascimento
José Rodrigues de Souza Filho
Sergio Pinheiro de Santana Neto
Jamille Evangelista Alves | 505 | Subsídios para a Gestão e o Aproveitamento do Espaço Costeiro na Península de Itapagipe, Salvador, Bahia, Brasil
<i>Subsidies for the Management and Development of Coastal Areas on the Itapagipe Peninsula - Salvador, Bahia, Brasil</i> |
| Eduardo Guilherme Gentil de Farias
Luís Parente Maia | 521 | Uso de Técnicas de Geoprocessamento para a Análise da Evolução da Linha de Costa em Ambientes Litorâneos do Estado do Ceará, Brasil
<i>Use of Geoprocessing Techniques for Analysis of the Coast Line Evolution of Ceará State, Brazil</i> |
| Dalton Rosemberg Valentim da Silva
Venerando Eustáquio Amaro
Michael Vandesteem Silva Souto
Miriam Cunha do Nascimento
Bruno Rafael de Barros Pereira | 545 | Geomorfologia de uma área com alta sensibilidade ambiental na Bacia Potiguar (NE do Brasil)
<i>Geomorfology of a High Sensitive Area on Potiguar Basin (NE Brazil)</i> |

- Sérgio Moraes 567 Capacitação e Mobilização: a Perspectiva da Participação Cidadã no Plano
 Renato Saboya Diretor de Balneário Camboriú (SC), Brasil
 Stavros Abib *Capacity Building and Mobilization: a Citizens' Participation Perspective on The Master*
 Maria José Reis *Plan of Balneário Camboriú (SC), Brasil*
- Maria de Lourdes Souza Santos 589 Avaliação das Formas de Fósforo nos Sedimentos Superficiais da Plataforma
 André Luis de Lima Saraiva Continental do Rio Amazonas
 Ismail Bastos Delfino *Evaluation Forms of Phosphorus in Surface Sediments of the Continental Shelf of the*
 Leny da Conceição Antunes *Amazon River*
 Rosa Maria Matos Batista
 Igor Charles Castor Alves
- Recensão Crítica / Book Review**
- Dieter Muehe 597 Recuperação de Praias e Dunas, de Karl. F. Nordstrom. Tradução do
 Original *Beach and dune restoration*



Estudo do Galgamento de Estruturas Marítimas utilizando um Modelo Numérico baseado na Teoria da Onda em Condições de Água pouco Profunda *

Numerical Modelling of Wave Overtopping of Maritime Structures using a NLSW Equation Model

Maria Teresa Reis ^{@,1}, Maria da Graça Neves ¹

RESUMO

Apresenta-se neste artigo o modelo numérico AMAZON, baseado na teoria da onda em condições de água pouco profunda. Na sua versão original, o modelo estava essencialmente desenvolvido para estruturas impermeáveis. Desde 2007, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), em colaboração com o Dr. Keming Hu (Royal Haskoning, UK), tem vindo a desenvolver o modelo de forma a permitir modelar explicitamente o escoamento em meios porosos e a proceder à sua validação sistemática para o estudo do galgamento de estruturas marítimas porosas. Os modelos deste tipo existentes têm sido validados essencialmente para estruturas impermeáveis e para praias permeáveis. Para simular o escoamento em meios porosos, foram implementadas no modelo as equações de Darcy e de Forchheimer.

São apresentados dois casos de aplicação do modelo, utilizando a equação de Darcy, para o estudo do galgamento de estruturas de protecção portuária e a validação dos seus resultados por comparação com dados de ensaios em modelo físico reduzido bidimensional realizados no LNEC. O primeiro caso de estudo corresponde a uma solução alternativa proposta para a reabilitação do enraizamento do molhe Sul do porto de pesca da Póvoa de Varzim, trecho sobre o qual recai a maior exigência de eficácia relativamente aos galgamentos. O perfil-tipo proposto consiste num quebra-mar de estrutura mista com manto de enrocamento. O segundo caso de estudo corresponde a duas soluções alternativas propostas para a reabilitação final do molhe Oeste do Porto de Sines, que em 1978/79 sofreu estragos muito avultados. Dos três postos de acostagem existentes neste molhe, apenas dois se encontram em funcionamento actualmente (postos 2 e 3). A reabilitação final visa reactivar o posto 1 e melhorar as condições de abrigo e a operacionalidade do porto. Os perfis-tipo propostos para esta reabilitação consistem num quebra-mar de taludes com manto composto por cubos Antifer.

@ Autor correspondente

¹ LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil 101, 1700-066, Lisboa. E-mails: Teresa Reis - treis@lnec.pt; Graça Neves - gneves@lnec.pt

* Submissão – 5 Agosto 2010; Avaliação – 20 Outubro 2010; Recepção da versão revista – 12 Novembro 2010; Disponibilização on-line – 6 Janeiro 2011

Os resultados obtidos são bastante satisfatórios, embora o modelo apresente uma ligeira tendência para prever por excesso os caudais obtidos nos ensaios: os valores do cociente entre os caudais médios de galgamento obtidos com a nova versão do AMAZON, q_{AM} , e com o modelo físico, q_{MF} , variam entre 0.9 e 1.4 para o quebra-mar com manto de enrocamento e entre 1.0 e 1.76 para o quebra-mar com manto composto por blocos artificiais. Os resultados mostram ainda que os valores de q_{AM} são mais sensíveis ao valor da velocidade máxima que o escoamento de água pode ter durante a transferência entre a camada porosa e a camada superficial, do que à escolha da condutividade hidráulica e da porosidade.

Com o objectivo de se dispor no futuro duma ferramenta numérica eficiente para estudos de engenharia costeira e portuária, é necessário ainda: validar o modelo para diferentes geometrias de estruturas marítimas, diferentes características do seu meio poroso e diferentes escalas do modelo; investir na optimização da discretização da malha de cálculo; e implementar alguns desenvolvimentos que incluem, entre outros, o acoplamento entre o AMAZON e um modelo de propagação da agitação marítima desde o largo até à estrutura galgada e a paralelização do código.

Palavras-chave: Estruturas marítimas; galgamentos; modelos numéricos; teoria da onda em condições de água pouco profunda; escoamento em meios porosos.

ABSTRACT

This paper presents the numerical model AMAZON, based on the nonlinear shallow water (NLSW) equations. The original version of AMAZON did not explicitly account for porous flow; it was developed basically for impermeable structures. Since 2007, the National Civil Engineering Laboratory (LNEC), Portugal, in collaboration with Dr. Keming Hu (Royal Haskoning, UK), has been developing the porous flow model to allow the numerical simulation of wave overtopping of porous maritime structures and its systematic validation for these structures. The existing NLSW models have mainly been validated for impermeable structures and for permeable beaches. The development includes the addition of one porous layer to the original model design and the porosity is taken as constant for the whole porous element. To govern the water exchange between the porous cells, both the Darcy equation (valid for laminar stationary flows) and the Forchheimer equation (valid for turbulent stationary flows) are implemented in AMAZON. Unlike some other NLSW models, the maximum velocity that the flow can have during the exchange of water between the porous and the free-flow layers has been included as an input to AMAZON.

The paper illustrates AMAZON's application, using Darcy's equation, to study the mean wave overtopping discharge at two porous breakwaters that protect Portuguese harbours and the validation of its results by comparison with two-dimensional physical model data collected at LNEC. The first case study is of a proposed cross-section for the rehabilitation of the root of the South breakwater of Póvoa de Varzim harbour. The root of this breakwater directly protects the local Nautical Club building and, therefore, it is the stretch for which overtopping should be minimal. The proposed cross-section is basically a composite structure, with double layer rock armour. The second case study refers to two proposed solutions for the final rehabilitation of the West breakwater of Sines harbour, which suffered serious damage to the armour layer and superstructure in 1978/79. At present, only two of the three oil tanker berths are in operation: berth 2 and berth 3. The final rehabilitation has the primary objective of reactivating berth 1 (for reception, loading and unloading of oil tankers) but it also aims to generally improve the shelter and operating conditions within the port. The cross-sections proposed for this rehabilitation are basically rubble-mound breakwaters protected by Antifer cubes.

The AMAZON results are quite satisfactory, although the model tends to slightly over-predict the discharges: the ratio between the mean overtopping discharges obtained with the new version of AMAZON, q_{AM} , and with the physical model, q_{MF} , varies between 0.9 and 1.4 for the rock structure and between 1.0 and 1.76 for the Antifer structure. The results also show that the values of q_{AM} are more sensitive to the value of the maximum velocity that the flow can have during the exchange of water between the porous and the free-flow layers than to the choice of the hydraulic conductivity and of the constant porosity.

The results are rather promising, given the different approximations made for modelling the porous breakwaters (such as using the Darcy equation instead of the Forchheimer equation to govern the internal flow and employing only one porous layer to represent multi-layered structures) and AMAZON's inherent restrictions (mainly relating to the shallow water assumptions and the simulation of wave breaking). Nevertheless, to develop a user-friendly numerical model that may be used in real case studies of overtopping of porous structures and that provides a good compromise between computational effort and accuracy in terms of overtopping results, it is necessary to: further test the model, employing different structural configurations, different arrangements of rock or concrete armour blocks and different scales (to consider the implications of using two different governing equations for flow within the porous layer); analyse the grid optimization; and implement some developments of AMAZON, which are expected to include coupling AMAZON with a wave transformation model to propagate the waves to the AMAZON seaward boundary and code parallelization.

Keywords: Maritime structures; wave overtopping; numerical models; non-linear shallow water (NLSW) equations; porous flow.

1. INTRODUÇÃO

Em Portugal, dada a extensão da sua costa, a concentração da população e das actividades económicas nas suas zonas costeiras e portuárias e a severidade do seu clima de agitação marítima, são frequentes as situações de emergência provocadas pelo estado do mar, que põem em causa a segurança de pessoas e bens, com consequências graves para a sociedade, a economia e o ambiente. A segurança e funcionalidade destas zonas dependem, em grande parte, do comportamento das estruturas marítimas que as protegem, especialmente no que respeita à sua estabilidade e galgamento. Os quebra-mares de taludes são as estruturas marítimas mais utilizadas para a criação de condições de abrigo nos portos portugueses (*e.g.*, molhe Oeste do Porto de Sines). No entanto, os quebra-mares de estrutura mista são também usados com alguma frequência (*e.g.*, molhe Sul do Porto da Póvoa de Varzim).

As normas para o projecto, construção e manutenção de estruturas, bem como a sociedade em geral, exigem, cada vez mais, uma quantificação dos riscos e um aumento da fiabilidade de estruturas de engenharia, nas quais se podem incluir as estruturas marítimas. Por outro lado, numa era de aquecimento global, subida do nível médio da água do mar e aumento de ocorrência de temporais, que podem resultar num aumento das solicitações nas estruturas, é fundamental a existência de ferramentas precisas e eficientes para o estudo da estabilidade e do galgamento de estruturas marítimas.

Actualmente, as ferramentas mais utilizadas para determinar o galgamento de uma estrutura marítima são as formulações empíricas (*e.g.*, Besley, 1999) ou semi-empíricas (*e.g.*, Reis *et al.*, 2008a), baseadas em resultados de ensaios em modelo físico. No entanto, a aplicação directa destas formulações é limitada às condições específicas de agitação e às configurações, simples, das estruturas que foram contempladas nesses ensaios.

A modelação física continua a ser o método mais fiável de determinar o galgamento, sendo os seus resultados utilizados em estudos de protótipo e no desenvolvimento, calibração e validação de outros métodos de cálculo do galgamento. Contudo, a modelação física é dispendiosa, morosa, exige infraestruturas e equipamento muito específico e requer

uma elevada experiência de quem realiza os ensaios e analisa os seus resultados.

Recentemente, o uso de redes neuronais tem tido também um papel importante na determinação do galgamento, especialmente em fase de Estudo Prévio. A ferramenta NN_OVERTOPPING2 (*e.g.*, Van Gent *et al.*, 2005), baseada na análise de redes neuronais e desenvolvida no âmbito do Programa Europeu CLASH, muito tem contribuído para tal.

Nos últimos tempos, devido à melhoria dos meios de cálculo e ao desenvolvimento de modelos numéricos cada vez mais potentes, o uso deste tipo de modelos começa a tornar-se cada vez mais atractivo, pois a modelação numérica é mais rápida e mais barata que a modelação física e, uma vez feita a calibração e validação dos modelos, estes são muito flexíveis, quer em termos de condições de agitação, quer relativamente à geometria das estruturas. No entanto, para que as simulações efectuadas sejam realistas, os modelos devem ser capazes de representar todos os fenómenos hidrodinâmicos relevantes e de modelar um número de ondas suficiente para gerar resultados consistentes.

Actualmente, embora ainda não existam modelos numéricos que sejam simultaneamente precisos e eficientes do ponto de vista computacional, os diversos tipos de modelos disponíveis, reúnem, cada um, parte destes requisitos. Entre os modelos existentes podem destacar-se os baseados na teoria da onda em condições de água pouco profunda, NLSW (nonlinear shallow water) (*e.g.*, Van Gent, 1994; Hu & Meyer, 2005), os modelos VOF (volume of fluid) (*e.g.*, Lin & Liu, 1998; Losada *et al.*, 2008), os modelos SC (surface capturing) (*e.g.*, Ingram *et al.*, 2002, 2004) e os modelos SPH (smoothed particle hydrodynamics) (*e.g.*, Dalrymple & Rogers, 2006; Didier & Neves, 2009).

Apesar dos modelos mais recentes (VOF, SC e SPH) serem mais completos, a sua aplicação a casos práticos de Engenharia tem ainda algumas limitações, essencialmente relacionadas com o tempo elevado de cálculo, que não se compadece com o pouco tempo usualmente disponível para projecto, com a necessidade de calibração de cada caso de estudo e com a representação de certas características estruturais, tais como a porosidade (Neves *et al.*, 2008).

Os modelos mais simples (NLSW), apesar das suas limitações essencialmente relacionadas com as equações

de base, permitem simulações realistas e rápidas, se bem que simplificadas (e.g., Van Gent, 1994; Dodd, 1998; Hu, 2000; Clarke *et al.*, 2004). Estão já a ser utilizados em dimensionamento de estruturas marítimas galgáveis e na previsão de inundações, uma vez que permitem simular rapidamente 1000 (ou mais) ondas. Estes modelos têm sido validados essencialmente para estruturas impermeáveis (e.g., Dodd, 1998; Hu *et al.*, 2000) e para praias permeáveis (e.g., Van Gent, 1996; Clarke *et al.*, 2004), não tendo sido ainda validados sistematicamente para o estudo do galgamento de estruturas marítimas porosas.

Assim, desde 2007, o LNEC, em colaboração com o Dr. Keming Hu (Royal Haskoning, UK), tem vindo a desenvolver um modelo deste tipo, o modelo AMAZON (Hu, 2000), e a proceder à sua validação sistemática (Reis *et al.*, 2008b, 2009a, 2009b). Na sua versão inicial, o AMAZON tinha sido desenvolvido para estudos de galgamento de estruturas em talude impermeáveis, embora permitisse considerar o efeito da porosidade das estruturas através do recurso a uma dissipação artificial.

Neste artigo, após esta introdução, descreve-se o modelo numérico AMAZON, incluindo as alterações efectuadas à sua versão inicial e as suas vantagens e limitações (ponto 2). Ilustra-se a sua aplicação com dois casos de estudo reais, para os quais existem resultados de ensaios em modelo físico realizados no LNEC: cálculo do caudal médio galgado por metro linear de duas estruturas de protecção portuária cujos perfis-tipo consistem num quebra-mar de estrutura mista com manto de enrocamento (ponto 3) e num quebra-mar de taludes com manto de cubos Antifer (ponto 4). Os resultados do modelo são apresentados, discutidos e comparados com os resultados de ensaios em modelo físico. Por fim, o artigo contém as considerações finais do trabalho e os futuros desenvolvimentos do modelo numérico (ponto 5).

2. MODELO NUMÉRICO AMAZON

O modelo AMAZON, desenvolvido originalmente em Manchester Metropolitan University, é um modelo numericamente muito estável e robusto que se baseia na resolução das equações não lineares da teoria da onda em condições de água pouco profunda, que resultam de uma simplificação das equações de Reynolds por integração na profundidade. Hu (2000) apresenta uma descrição detalhada do modelo e das suas equações.

Seguidamente apresenta-se um resumo das características mais relevantes do modelo para os fenómenos em estudo.

No AMAZON, a pressão é considerada como hidrostática e as equações descrevem o escoamento do fluido em função da profundidade e da velocidade integrada na vertical. As equações são resolvidas por um método de volumes finitos de segunda ordem no tempo e no espaço. O modelo utiliza o esquema numérico MUSCL-Hancock (Van Leer, 1979; Van Albada *et al.*, 1982) que é um método de Godunov que usa uma reconstrução monotónica das variáveis para obter valores na interface das células, de modo a prevenir oscilações espúrias da solução. Na fase de correcção, as soluções dos problemas locais de Riemann são calculadas usando a aproximação de HLL (Harten, Lax and Van Leer), que permite descrever a rebentação e simular escoamentos de regime rápido (Harten *et al.*, 1983). O modelo incorpora um modelo de turbulência simples de zero equação.

Utilizando o método de volumes finitos, o AMAZON permite gerar uma malha constituída por elementos que podem ter qualquer forma (e.g., rectangular, triangular e hexagonal) e dimensões variáveis, permitindo gerar uma malha fina na zona de interesse do estudo e uma malha grosseira onde não seja necessário um cálculo mais preciso.

O modelo permite simular ondas irregulares, quer na versão unidimensional (canal) aqui utilizada, quer na bidimensional (em planta) e a rebentação é simulada utilizando o conceito de macaréu.

No que diz respeito à fronteira de entrada do modelo, AMAZON incorpora um método numérico de absorção de ondas imposto nesta fronteira que permite absorver mais de 98% das ondas reflectidas pela estrutura. Este método de absorção permite colocar a fronteira de entrada perto da estrutura, evitando a modelação desde águas profundas, onde o modelo tem limitações, já que se baseia na resolução das equações NLSW. Segundo Hu & Meyer (2005), o modelo requer, para optimização de resultados, que a fronteira de entrada seja colocada a aproximadamente um comprimento de onda do pé da estrutura, L_s , dado por:

$$L_s = T_p \sqrt{gd_s} \quad (1)$$

onde d_s é a profundidade no pé da estrutura, g a aceleração da gravidade e T_p o período de pico do espectro incidente.

O modelo permite considerar estruturas com várias configurações, como estruturas em talude (com ou sem berma, com ou sem superestrutura) e verticais (ou quase verticais). No entanto, por fazer integração na profundidade, não permite modelar a parte deflectora de um muro-cortina e utiliza um artifício para modelar estruturas verticais (Hu, 2000).

Na sua versão original, o AMAZON foi desenvolvido essencialmente para estruturas impermeáveis. Para o caso de estruturas permeáveis, o modelo permitia, como aproximação, a utilização de um parâmetro de atrito de fundo (o coeficiente de Chezy) que introduzia uma dissipação de energia (Hu, 2000). No entanto, os resultados do modelo sugerem que a utilização deste parâmetro para modelar a porosidade não é eficiente, pois tem uma influência muito reduzida quando os meios se encontram submersos e não simula convenientemente o seu efeito quando esses meios não estão submersos ou a submersão se dá sobre uma fina camada de água e apenas num curto período de tempo (Neves *et al.*, 2008).

Assim, tendo em conta a eficiência do AMAZON do ponto de vista de esforço computacional, desde 2007 o LNEC, em colaboração com o Dr. Keming Hu (Royal Haskoning, UK), tem vindo a desenvolver o modelo de forma a permitir simular explicitamente o escoamento em meios porosos e a proceder à sua validação sistemática para o estudo do galgamento de estruturas marítimas porosas (Reis *et al.*, 2008b, 2009a, 2009b). O objectivo final é desenvolver um modelo numérico que seja de fácil utilização e que represente um bom compromisso entre tempo de cálculo e precisão no que se refere a resultados de galgamento.

O desenvolvimento da nova versão do modelo inclui a introdução de uma camada porosa única com a porosidade constante. Assim, estruturas com mais de uma camada porosa e/ou com um núcleo com diferentes características são representadas por uma estrutura permeável homogénea ou por uma estrutura permeável com um núcleo impermeável.

Para simular o escoamento em meios porosos, foram implementadas no modelo as equações de Darcy (válida para escoamentos laminares estacionários) e de Forchheimer (válida também para escoamentos turbulentos estacionários):

$$\text{Equação de Darcy: } I = u / K \quad (2)$$

$$\text{Equação de Forchheimer: } I = au + bu|u| \quad (3)$$

em que I é o gradiente hidráulico, u é a velocidade do escoamento na camada porosa (integrada na vertical), K é a condutividade hidráulica (ou coeficiente de Darcy) e a e b são coeficientes considerados constantes no tempo e no espaço. Existem na literatura diversas expressões de cálculo para estes coeficientes (*e.g.*, García, 2007). No AMAZON, adoptaram-se as expressões indicadas em CIRIA/CUR/CETMEF (2007):

$$\begin{aligned} a &= \alpha \frac{(1-n)^2}{n^3} \frac{\nu}{gD^2} \\ b &= \beta \frac{1-n}{n^3} \frac{1}{gD} \end{aligned} \quad (4)$$

em que D é o diâmetro nominal do material constituinte do manto, ν é a viscosidade cinemática da água, n é a porosidade da camada porosa e α e β são os coeficientes de fricção linear e não linear, respectivamente, que dependem da forma da curva granulométrica do material da camada e dos números de Reynolds e de Keulegan-Carpenter. AMAZON utiliza valores constantes de α e β .

A transferência de água entre a camada porosa e a camada superficial é limitada pela velocidade máxima que o escoamento de água pode ter durante a transferência entre as duas camadas, denominada IP. As duas camadas usam a mesma malha computacional.

Assim, cada célula na camada superficial tem uma célula correspondente na camada porosa. A transferência da água entre as duas camadas é actualizada em cada passo de cálculo:

- Se a célula porosa não estiver preenchida e se a célula superficial correspondente estiver molhada, há transferência de água da célula superficial para a célula porosa, limitada pelo valor de IP (Figura 1a);
- Se a célula porosa estiver preenchida e a pressão da água na camada porosa for superior à da camada superficial, há transferência de água da célula porosa para a célula superficial correspondente, limitada pelo valor de IP (Figura 1b).

No AMAZON, assume-se que IP é constante e é um dado do modelo. Para a equação de Darcy, os parâmetros K e IP têm que ser calibrados. No entanto,

alguns autores (e.g. Van Gent, 1994; Clarke *et al.*, 2004) consideram que o valor de I na interface entre as duas camadas é inferior a 1, o que corresponde a considerar $IP \leq K$ na equação de Darcy.

O AMAZON foi desenvolvido na linguagem de programação C++ e tem uma interface bastante agradável, eficiente e fácil de usar. Como dados de entrada, o modelo necessita dos seguintes elementos:

- perfil da estrutura impermeável;
- batimetria dos fundos adjacentes;
- características da camada porosa: geometria, porosidade, diâmetro nominal do material constituinte e coeficientes de fricção;
- parâmetro de atrito de fundo (pode variar ao longo da estrutura e da batimetria);
- nível de água, que pode variar se se adoptar uma curva sinusoidal de maré;
- agitação incidente: o modelo permite a escolha de ondas sinusoidais ou ondas irregulares definidas por um espectro empírico (e.g., JONSWAP), por um espectro definido pelo utilizador ou ainda a introdução de uma série incidente proveniente, por exemplo, de ensaios em modelo físico reduzido;
- malha (uniforme/não uniforme, discretização);
- outros parâmetros (e.g., altura de água mínima em cada célula da malha).

AMAZON pode ser aplicado quer à escala de modelo, quer à escala de protótipo, sendo necessário

para isso apenas escalar adequadamente os dados inseridos e alguns parâmetros utilizados no modelo numérico.

Como resultados, o modelo permite obter séries temporais da superfície livre em diversos pontos do domínio, velocidades integradas na vertical e, através destas, a série temporal de caudais instantâneos, o caudal médio e o caudal de pico em vários pontos da estrutura galgada.

A grande vantagem de modelos deste tipo no cálculo do galgamento é que permitem simular rapidamente 1000 (ou mais) ondas, tornando a sua aplicação viável, quer em dimensionamento de estruturas galgáveis, quer em estudos de previsão de inundação. Foi já validado em diferentes casos de estudo com bons resultados (Hu *et al.*, 2000) e foi também validado e extensivamente utilizado no estudo do galgamento de estruturas impermeáveis (e.g., Neves *et al.*, 2010).

3. GALGAMENTO DE UM QUEBRA-MAR DE ESTRUTURA MISTA COM MANTO DE ENROCAMENTO

3.1 Caso de Estudo

O enraizamento do molhe Sul do porto de pesca da Póvoa de Varzim (Figura 2), protege directamente o edifício do Clube Náutico Povoense. Assim, é sobre este trecho que recai a maior exigência de eficácia relativamente aos galgamentos. O caso de estudo que

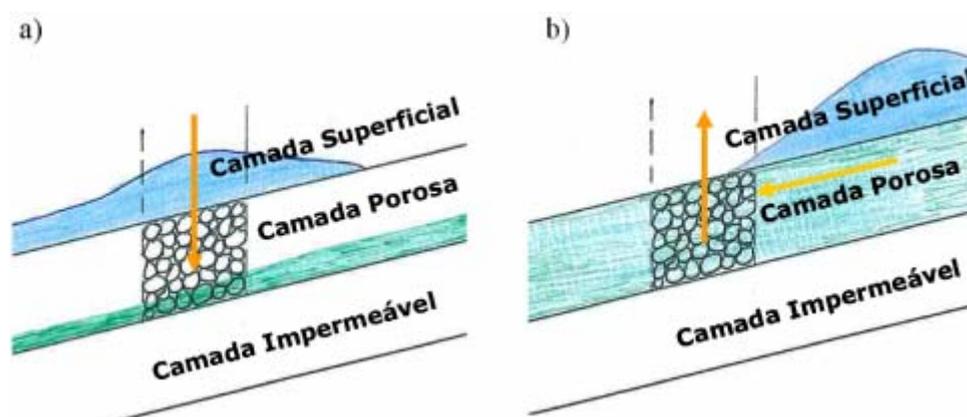


Figura 1 - Representação esquemática da transferência de água entre a camada porosa e a camada superficial no modelo AMAZON.

Figure 1 - Sketch of the water exchange between the porous and the free-flow (surface) layers of AMAZON.



Figura 2 - Porto de pesca da Póvoa de Varzim: localização, vista aérea, galgamentos ocorridos no molhe Sul em Março de 2006 e aspecto da reabilitação que estava a ser efectuada ao molhe em Junho de 2009.

Figure 2 - Port of Póvoa de Varzim: location, aerial view, overtopping observed in the South breakwater in March 2006 and aspect of the rehabilitation carried out in June 2009.

aqui se apresenta correspondente a uma das várias soluções alternativas propostas para a reabilitação do enraizamento deste molhe. A solução estudada visa reduzir os galgamentos a valores aceitáveis, mesmo nas condições mais adversas de agitação e de níveis oceânicos.

O perfil-tipo proposto consiste num quebra-mar de estrutura mista, composto por um talude reperfilado com a inclinação de 2:1, rematado superiormente por uma banquetta com 15 m de largura à cota + 5,25 m (ZH) (Figura 3). O reperfilamento é feito por enrocamentos da gama 75-100 kN, sem filtro nem núcleo, encostado ao paramento vertical exterior

do molhe. Este enrocamento assenta sobre o maciço irregular existente, constituído por enrocamento da gama 10-50 kN. O edifício do Clube Náutico localiza-se a cerca de 10 m do paramento vertical interior do molhe.

3.2 Ensaios em Modelo Físico

Para verificar a eficácia do perfil-tipo proposto no que respeita aos galgamentos, foram realizados no LNEC ensaios em modelo físico bidimensional, tendo sido utilizada a escala geométrica de 1:50 (Figura 4). Estes ensaios encontram-se descritos em Lemos *et al.* (2006) e Reis *et al.* (2008c).

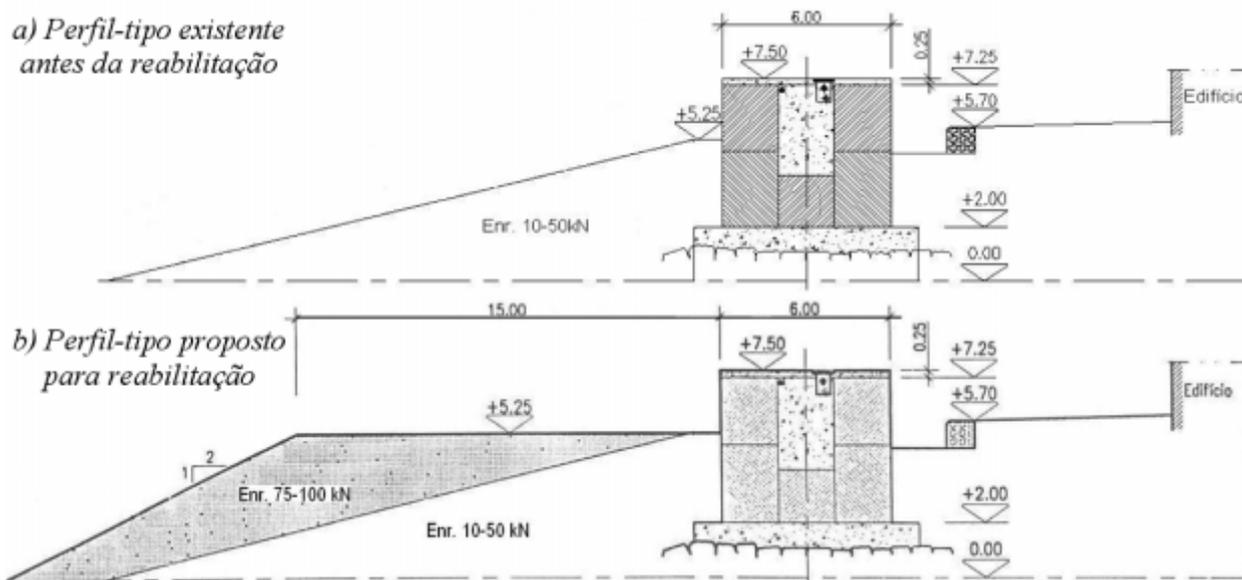


Figura 3 - Perfis-tipo do enraizamento do molhe Sul do Porto da Póvoa de Varzim: a) existente antes da reabilitação; b) proposto para reabilitação e considerado neste estudo (os valores apresentados são valores de protótipo e as cotas são relativas ao ZH).

Figure 3 - Cross-sections of the root of the South breakwater of the Port of Póvoa de Varzim: a) prior to rehabilitation; b) proposed for rehabilitation (values shown are for the prototype, with levels relative to datum, ZH).



Figura 4 - Modelo físico da solução proposta para a reparação do molhe Sul do Porto da Póvoa de Varzim. Aspecto dos galgamentos observados.

Figure 4 - Physical model of the alternative cross-section proposed for the rehabilitation of the south breakwater root of the Port of Póvoa de Varzim. Overtopping observed during physical model tests.

Para cada condição nominal de ensaio, foi estudada a variabilidade do volume de água que transpunha o paramento vertical do molhe em função da duração do ensaio e da série incidente considerada (Reis *et al.*, 2008c), o que permitiu definir uma gama de variação

dos valores medidos do caudal médio de galgamentos por metro linear de estrutura, q_{MF} .

Na Tabela 1 apresentam-se os valores de q_{MF} para os quatro ensaios analisados neste artigo, bem como a correspondente gama de variação de q_{MF} . Estes

ensaios tiveram uma duração de 270 s e foram realizados com o nível de maré de + 4,5 m (ZH) (0,39 m de profundidade junto ao gerador de ondas), correspondente a preia-mar com sobrelevação meteorológica. Nesta tabela, os valores apresentados correspondem a valores do modelo, onde H_s e T_p são valores incidentes da altura de onda significativa e do período de pico do espectro de JONSWAP obtidos em frente à estrutura.

Os ensaios estão numerados por ordem crescente de galgamento, q_{MF} . Como seria de esperar, a variação dos valores de q_{MF} em relação à média é maior para os menores valores de q_{MF} e as diferentes séries incidentes (todas com a mesma configuração espectral empírica de JONSWAP) têm um impacto diferente no volume de galgamento.

3.3 Aplicação do Modelo AMAZON

Para ilustrar a aplicabilidade da nova versão do AMAZON ao cálculo do galgamento de estruturas marítimas porosas com manto de enrocamento, esta versão foi aplicada, à escala do modelo, aos quatro ensaios acima descritos.

A fronteira de saída do modelo é uma fronteira de absorção total e foi colocada a 0,16 m a jusante da superestrutura do molhe. Foi utilizada neste estudo a localização da fronteira de entrada recomendada por Hu & Meyer (2005) (ver ponto 2) que coincide com um ponto de medição da superfície livre nos ensaios em modelo físico (Reis *et al.*, 2008c). Assim, na fronteira de entrada do modelo, aplicou-se a série incidente obtida dos ensaios por aplicação do método

de Mansard & Funke (1980) aos dados de superfície livre medidos em três sondas colocadas em frente à estrutura.

Tal como mencionado anteriormente, séries incidentes distintas (mas com a mesma configuração espectral empírica) têm um impacto diferente no volume de galgamento. Como tal, para entrar em linha de conta com estas diferenças, o desempenho do AMAZON foi avaliado comparando os seus resultados com os resultados do modelo físico obtidos tendo em conta esta variabilidade, i.e. o resultado do AMAZON para cada um dos quatro ensaios foi comparado com a correspondente gama de variação de q_{MF} (última coluna da Tabela 1), em vez de ser comparado simplesmente com o resultado do ensaio em modelo físico correspondente (penúltima coluna da Tabela 1).

Para os quatro casos a que se aplicou o modelo, d/L_{op} varia entre 0,019 e 0,035, em que d é a profundidade na fronteira de entrada do modelo e L_{op} é o comprimento de onda junto ao gerador de ondas, calculado segundo a teoria linear da onda através de $L_{op} = g T_{op}^2 / 2\pi$. Estes valores estão dentro dos limites que a literatura existente tem indicado ($0,016 < d/L_{op} < 0,19$) como valores para os quais se obtém bons resultados com modelos baseados na teoria da onda em condições de água pouco profunda (Pullen & Allsop, 2003).

O domínio de cálculo utilizado foi de 2,4 m de comprimento e o número total de células foi de 555. A malha de cálculo utilizada tem uma discretização de: 1 cm na parte mais profunda do domínio, ou seja, em frente ao local de implantação do molhe, e na

Tabela 1 - Valores medidos do caudal médio de galgamentos por metro linear de estrutura, q_{MF} , para os quatro ensaios considerados neste estudo e gama de variação de q_{MF} .
Table 1 - Mean overtopping discharges per meter length of structure, q_{MF} , obtained for each one of the four physical model tests considered in this study and range of q_{MF} obtained for the whole set of tests.

Ensaio	H_s (m)	T_p (s)	q_{MF} ($10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$)	Gama de variação de q_{MF} ($10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$)
1	0,07	1,75	0,17	0,09 a 0,28
2	0,07	2,24	0,27	0,27 a 0,84
3	0,08	2,33	1,65	1,15 a 2,02
4	0,09	2,93	4,44	3,43 a 4,69

zona a sotamar da estrutura; 4 mm na zona junto ao pé da estrutura; e 2 mm na zona do molhe. Esta discretização baseia-se na experiência adquirida em estudos prévios de convergência do modelo para o cálculo do galgamento. A altura de água mínima em cada célula da malha de cálculo foi de 2×10^{-5} cm, o que significa que qualquer célula com uma profundidade inferior a esta é removida dos cálculos e tratada como seca.

As características geométricas dos fundos em frente ao molhe e da envolvente do molhe do modelo físico foram fielmente representados no AMAZON. Os fundos em frente ao molhe e a superestrutura foram modelados como impermeáveis e sem atrito.

A permeabilidade do manto inferior de enrocamento foi ignorada. Só o manto superior de enrocamento foi considerado como uma camada permeável, com uma porosidade de 0,54 e um diâmetro médio do enrocamento de 33,2 mm (como no modelo físico). Na Figura 5 apresenta-se um aspecto da superfície livre em dois instantes de cálculo, onde se vê o escoamento no interior da camada permeável e o início do galgamento, com a camada permeável já saturada.

O efeito da permeabilidade do manto superior de enrocamento foi tido em consideração através da aplicação da equação de Darcy, para a qual os parâmetros K e IP têm que ser calibrados. Na literatura (e.g., CIRIA/CUR/CETMEF, 2007), existem valores de referência de K para diferentes gamas de diâmetros e para um diâmetro médio de 33,2 mm o valor de K

apresentado é de aproximadamente 0,1 m/s. Para estudar a sensibilidade dos resultados do AMAZON, q_{AM} , aos valores de K , variou-se K entre 0,05 m/s e 0,15 m/s e IP de forma a que $IP \leq K$.

Os casos foram simulados num computador Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU E6550, com 2,33 GHz e 2 GB de RAM. Os tempos de execução médios aumentaram com o valor de IP e variaram entre 1h e 1h30min, aproximadamente, para simulações de 270 s.

3.4 Resultados

A Figura 6 mostra a variação de q_{AM}/q_{MF} para os ensaios 1 a 4, quer em função de K , quer em função de IP . Como referido anteriormente, para cada ensaio em modelo físico, o que se pretende é um resultado do AMAZON que esteja dentro da correspondente gama de variação de caudais médios, representada na Figura 6a pela linha vertical. A Figura 6a indica que a variação de K não tem um efeito significativo nos resultados, qualquer que seja o ensaio analisado. Tal como seria de esperar, este resultado sugere que, como a modelação numérica foi feita à escala do modelo físico (1:50), o efeito da turbulência no escoamento não é relevante e a equação de Darcy é uma aproximação satisfatória para simular o escoamento na camada de enrocamento.

A Figura 6a mostra também que, ao contrário de K , o impacto de IP nos resultados é significativo e depende do ensaio considerado: o impacto reduz-se para ensaios com maior galgamento (i.e., ensaios 3 e 4). Este andamento observa-se mais

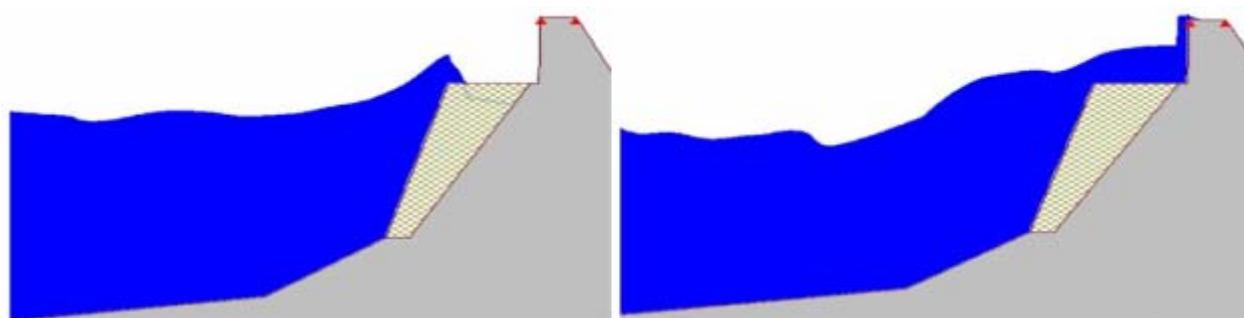


Figura 5 - Aplicação do AMAZON ao molhe Sul do Porto da Póvoa de Varzim. Aspecto da superfície livre em dois instantes de cálculo.

Figure 5 - AMAZON application to the South breakwater of the Port of Póvoa de Varzim. Surface elevation at two different instants.

claramente na Figura 6b, em que os resultados foram obtidos considerando $K=IP$. A Figura 6b sugere ainda que os resultados do AMAZON que melhor se ajustam aos dados do modelo físico são obtidos para o valor de IP de aproximadamente 0,125 m/s. A Figura 7 mostra que para este valor de IP, os resultados do AMAZON para os quatro ensaios analisados se encontram dentro das gamas de caudais médios obtidas nos ensaios e $0,89 \leq q_{AM}/$

$q_{MF} \leq 1,38$. Note-se no entanto que, na ausência de dados de ensaios em modelo físico que possibilitem a calibração do modelo, os resultados do AMAZON usando $IP=K=0,1$ m/s, valor recomendado na literatura, são bastante satisfatórios ($0,99 \leq q_{AM}/q_{MF} \leq 1,96$), apesar de para os ensaios 1 e 3 serem ligeiramente superiores (i.e. do lado da segurança) às correspondentes gamas de caudais médios obtidas nos ensaios.

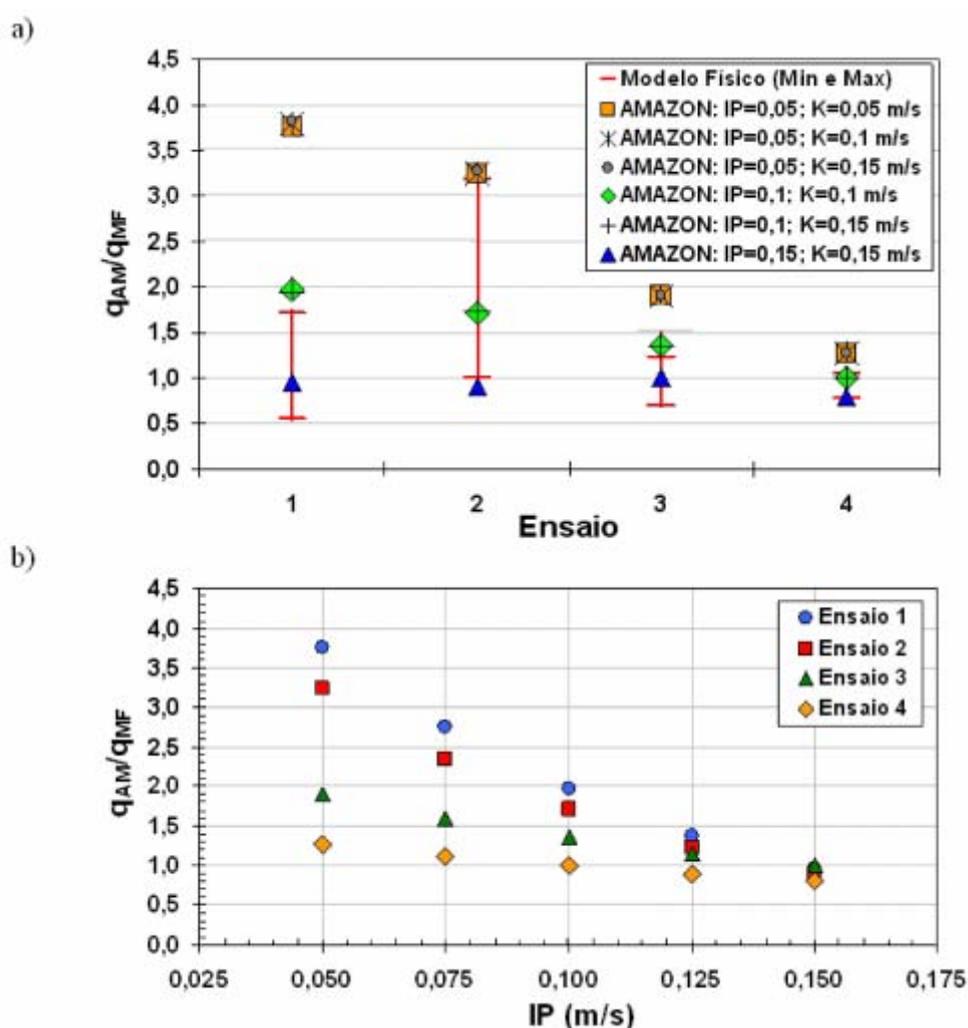


Figura 6 - Resultados do AMAZON obtidos para os ensaios 1 a 4 através da aplicação da equação de Darcy: a) variação de q_{AM}/q_{MF} com K e com IP; b) variação de q_{AM}/q_{MF} com IP ($K=IP$).

Figure 6 - AMAZON results obtained for tests 1 to 4 using the Darcy equation: a) variation of q_{AM}/q_{MF} with K and with IP; b) variation of q_{AM}/q_{MF} with IP ($K=IP$).

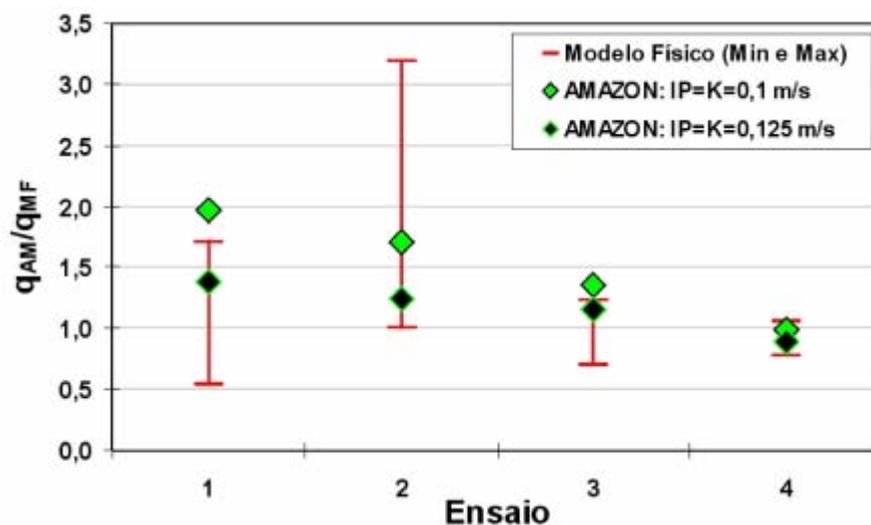


Figura 7 - Resultados do AMAZON obtidos para os ensaios 1 a 4 através da aplicação da equação de Darcy: resultados com melhor ajuste aos dados ($IP=0,125$ m/s) e resultados obtidos para o valor de IP recomendado na literatura ($IP=0,1$ m/s).

Figure 7 - AMAZON results obtained for tests 1 to 4 using the Darcy equation: results showing a better agreement with the data ($IP=0,125$ m/s) and results obtained with the value of IP recommended in the literature ($IP=0,1$ m/s).

4. GALGAMENTO DE UM QUEBRA-MAR DE TALUDES COM MANTO COMPOSTO POR BLOCOS ARTIFICIAIS

4.1 Caso de Estudo

O Porto de Sines, localizado na costa sudoeste de Portugal continental, é uma das principais entradas comerciais e económicas da Península Ibérica, considerando-se um porto de extrema importância geográfica e estratégica para Portugal e Espanha (Figura 8). É protegido por dois molhes: Oeste (molhe principal) e Este.

A construção do molhe Oeste decorreu entre 1973 e 1978. Em 1978/79, na sequência de várias tempestades, o molhe sofreu estragos muito avultados, originando, em 1980, trabalhos de reparação de emergência. Entre 1980 e 1992 analisaram-se e realizaram-se vários trabalhos de reabilitação em praticamente toda a sua extensão, excepto na parte final do molhe original, cujos destroços ainda hoje se podem observar (Figura 8). Assim, dos três postos de acostagem existentes no molhe Oeste, apenas dois se encontram em funcionamento: os postos 2 e 3.

Actualmente, encontra-se em estudo a reabilitação

final do molhe, que visa reactivar o posto 1 (para recepção, carga e descarga de petroleiros), mas também melhorar as condições de abrigo e a operacionalidade do porto (CONSULMAR, 2006, 2008).

Neste caso de estudo analisa-se a aplicabilidade do modelo AMAZON a duas das várias soluções alternativas propostas para a reabilitação final do molhe: Solução 1 e Solução 2 (Figura 9).

O perfil-tipo proposto para a Solução 1 consiste num quebra-mar de taludes, com um manto exterior de cubos Antifer de 900 kN, colocados irregularmente em duas camadas ($0,09$ un/m²) abaixo do ZH e regularmente numa camada ($0,0625$ un/m²) acima do ZH. O coroamento é composto por uma banquetta à cota + 13,2 m (ZH), não protegida contra o galgamento. O perfil-tipo proposto para a Solução 2 difere do da Solução 1 essencialmente no coroamento, composto por uma banquetta com 14 m de largura à cota + 13,2 m (ZH), encostada a uma superestrutura de betão fundada à cota - 5,0 m (ZH), com um túnel incorporado, com plataformas às cotas + 13,2 m (ZH) (não protegida contra o galgamento) e + 8,0 m (ZH) (protegida contra os galgamentos).



Figura 8 - Porto de Sines: localização, configuração actual (incluindo os destroços do molhe Oeste original) e aspecto dos estragos ocorridos em 1978/79 no molhe Oeste.

Figure 8 - Port of Sines: location, current layout (including remains of the original West breakwater) and damage occurred in 1978/79 to the West breakwater.

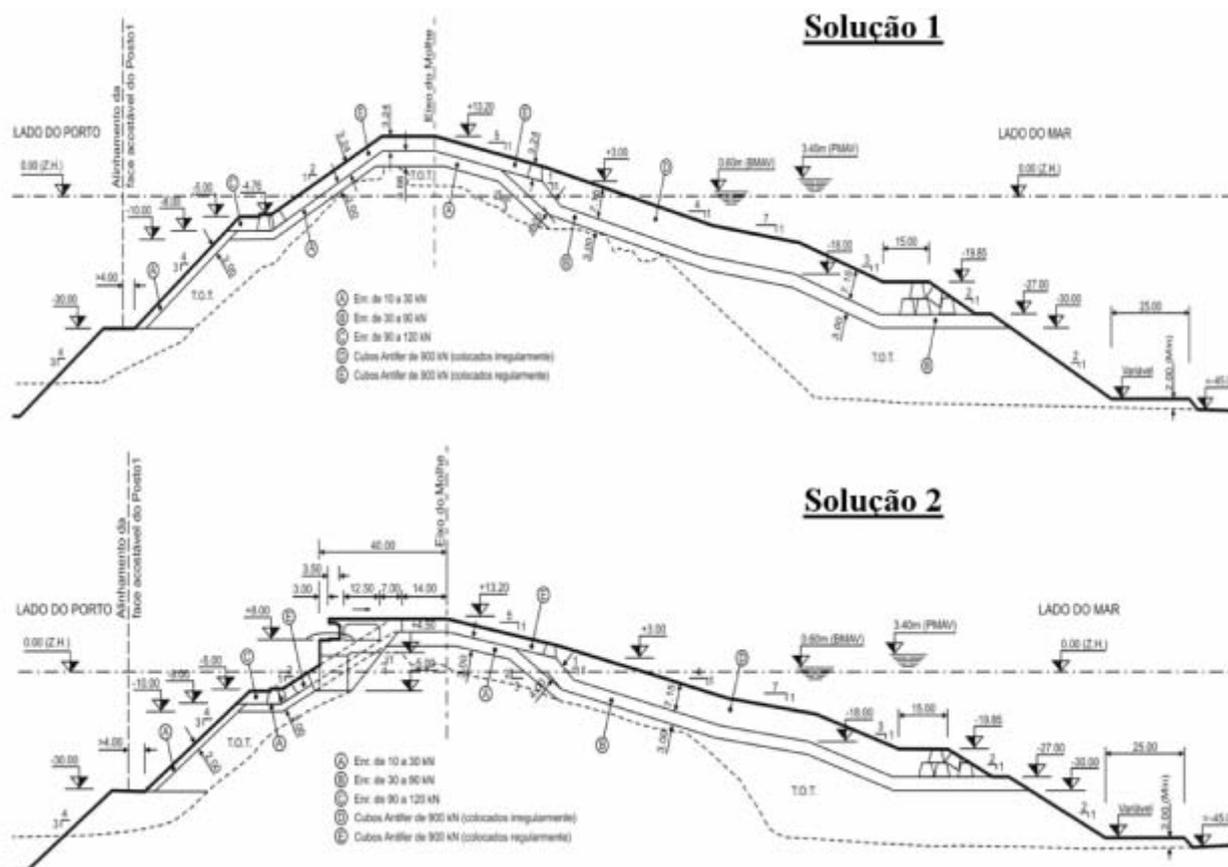


Figura 9 - Perfis-tipo para a reabilitação final do molhe Oeste do Porto de Sines utilizados neste estudo (os valores apresentados são valores de protótipo).

Figure 9 - Proposed cross-sections for the final rehabilitation of the West breakwater of the Port of Sines (values shown are for the prototype).

4.2 Ensaios em Modelo Físico

Para verificar a eficácia dos perfis-tipo propostos no que respeita à estabilidade e aos galgamentos, foram realizados no LNEC ensaios em modelo físico bidimensional, tendo sido utilizada a escala geométrica de 1:60. Estes ensaios encontram-se descritos detalhadamente em Lemos & Silva (2008).

A porosidade das duas camadas de cubos Antifer colocados irregularmente era de 47% e da camada de cubos colocados regularmente era de 37%. O tamanho nominal dos blocos no modelo era de 54,5 mm, determinado através da raiz cúbica do seu volume (35 m³ no protótipo). A porosidade do enrocamento utilizado era de aproximadamente 43%.

Na Tabela 2 apresentam-se os valores médios de volumes galgados por metro linear de estrutura, q_{MF} ,

para as duas soluções consideradas e para os doze ensaios analisados neste artigo. Estes ensaios tiveram uma duração que variou entre 1380 s e 2760 s (1000 ondas aproximadamente) e foram realizados com os níveis de maré de + 0,0 m (ZH) (d=0,83 m de profundidade em frente à estrutura) e de + 4,0 m (ZH) (d=0,90 m de profundidade em frente à estrutura). Nesta tabela, os valores apresentados correspondem a valores do modelo, onde T_p e H_s representam valores do período de pico do espectro de JONSWAP e da altura de onda significativa medidos numa sonda colocada em frente à estrutura, à profundidade d.

Tabela 2 - Valores medidos do caudal médio de galgamentos por metro linear de estrutura, q_{MF} , obtidos para as Soluções 1 e 2 para os doze ensaios considerados neste estudo.

Table 2 - Mean overtopping discharges per meter length of structure, q_{MF} , obtained for Solutions 1 and 2 for each one of the twelve physical model tests considered in this study.

Ensaio	d (m)	T_p (s)	H_s (m)	q_{MF} (10^{-3} m ³ /s/m)	
				Solução 1	Solução 2
1	0,83	1,29	0,10	0,00	0,00
2		1,81	0,15	0,00	0,00
3		2,32	0,19	0,05	0,05
4		2,07	0,20	0,03	0,03
5		2,58	0,22	0,31	0,34
6		2,58	0,23	0,36	0,42
7	0,90	1,29	0,10	0,00	0,00
8		1,81	0,15	0,01	0,01
9		2,32	0,19	0,46	0,53
10		2,07	0,20	0,31	0,34
11		2,58	0,22	1,30	1,40
12		2,58	0,23	1,90	2,00

4.3 Aplicação do Modelo AMAZON

Para ilustrar a aplicabilidade da nova versão do AMAZON ao cálculo do galgamento de estruturas marítimas porosas com manto composto por blocos artificiais, esta versão foi aplicada, à escala do modelo, aos doze ensaios acima apresentados para as Soluções 1 e 2.

A fronteira de saída do modelo é uma fronteira de absorção total e foi colocada a 0,5 m a jusante do coroamento do molhe. A fronteira de entrada foi colocada em frente à estrutura, à profundidade d , numa posição que coincide com um ponto de medição da superfície livre nos ensaios em modelo físico, e aplicou-se, nesta fronteira, a série da superfície livre aí medida.

Para os doze casos a que se aplicou o modelo, d/L_{op} varia entre 0,080 (para $T_p=2,58$ s) e 0,346 (para $T_p=1,29$ s). Todos os valores de d/L_{op} obtidos para $T_p > 1,29$ s são inferiores a 0,176, o que significa que, à exceção dos ensaios para os quais $T_p=1,29$ s (ensaios 1 e 7), os valores de d/L_{op} estão dentro dos limites que a literatura existente tem indicado ($0,016 < d/L_{op} < 0,19$) como valores para os quais se obtém bons resultados com modelos baseados na resolução das equações não lineares de águas pouco profundas (Pullen & Allsop, 2003).

Para a Solução 1, o domínio de cálculo utilizado foi de 6,5 m de comprimento e o número total de células foi de 1287; para a Solução 2, estes valores foram 6,1 m e 1254, respectivamente. A malha de cálculo utilizada tem uma discretização que varia entre 5 cm (nos fundos em frente ao local de implantação do molhe e na parte mais profunda deste) e 2 mm (na zona superior do molhe). Esta discretização baseia-se na experiência adquirida em estudos prévios de convergência do modelo para o cálculo do galgamento. A altura de água mínima em cada célula da malha de cálculo foi de 2×10^{-5} cm.

As características geométricas dos fundos em frente ao molhe e da envolvente do molhe do modelo físico foram fielmente representados no AMAZON. Os fundos em frente ao molhe e a superestrutura foram modelados como impermeáveis e sem atrito.

A permeabilidade do núcleo foi ignorada. As camadas com blocos Antifer e com enrocamento foram consideradas como uma camada permeável apenas, com uma porosidade constante, n . O efeito da permeabilidade desta camada foi tido em consideração através da aplicação da equação de Darcy, para a qual os parâmetros K e IP têm que ser calibrados. Como mencionado anteriormente, na literatura (e.g., CIRIA/CUR/CETMEF, 2007), existem valores de referência de K para diferentes

gamas de diâmetros e para um tamanho nominal dos blocos de 54,5 mm, o valor de K apresentado é de aproximadamente 0,1 m/s. Para estudar a sensibilidade dos resultados do AMAZON, q_{AM} , aos valores de K , IP e n , variou-se K entre 0,05 m/s e 0,15 m/s, IP de forma a que $IP \leq K$ e n entre 0,4 e 0,47.

Os casos foram simulados num computador Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU E6550, com 2,33 GHz e 2 GB de RAM. Os tempos de execução médios aumentaram com o valor de IP e variaram entre 12h e 48h, aproximadamente, para simulações de 1380 s e 2760 s, respectivamente.

4.4 Resultados

A Figura 10 mostra, a título de exemplo, a variação de q_{AM}/q_{MF} para a Solução 1, quer com K , quer com IP , para os ensaios 4, 6, 8 e 11 (ver Tabela 2), considerando $n=0,47$. Estes ensaios foram escolhidos para ilustrar esta variação por corresponderem a uma ampla gama de valores medidos de volume galgado e por os resultados para os restantes oito ensaios permitirem retirar

conclusões semelhantes às retiradas com base nestes quatro ensaios. Tal como para o caso de estudo apresentado na secção 3, a figura indica que a variação de K não tem um efeito significativo nos resultados. Assim, e tal como seria de esperar, este resultado sugere que, como a modelação numérica foi feita à escala do modelo físico (1:60), o efeito da turbulência no escoamento não é relevante e a equação de Darcy é uma aproximação satisfatória para simular o escoamento na camada porosa (neste caso de blocos Antifer e de enrocamento). Ao contrário de K , o impacto de IP nos resultados é significativo.

A Figura 11 mostra a variação de q_{AM}/q_{MF} em função de IP e de n para os ensaios 4, 6, 8 e 11 da Solução 1. Estes resultados foram obtidos considerando $K=IP$ e, assim como a Figura 10, sugerem que o impacto de IP nos resultados depende do ensaio considerado: o impacto reduz-se para ensaios com maior galgamento (i.e., ensaios 6 e 11). Tal como K , o valor de n não tem um efeito significativo nos resultados, pelo menos para $0,40 \leq n \leq 0,47$, independentemente do ensaio (i.e. do valor do caudal de galgamento) e do valor de IP considerados.

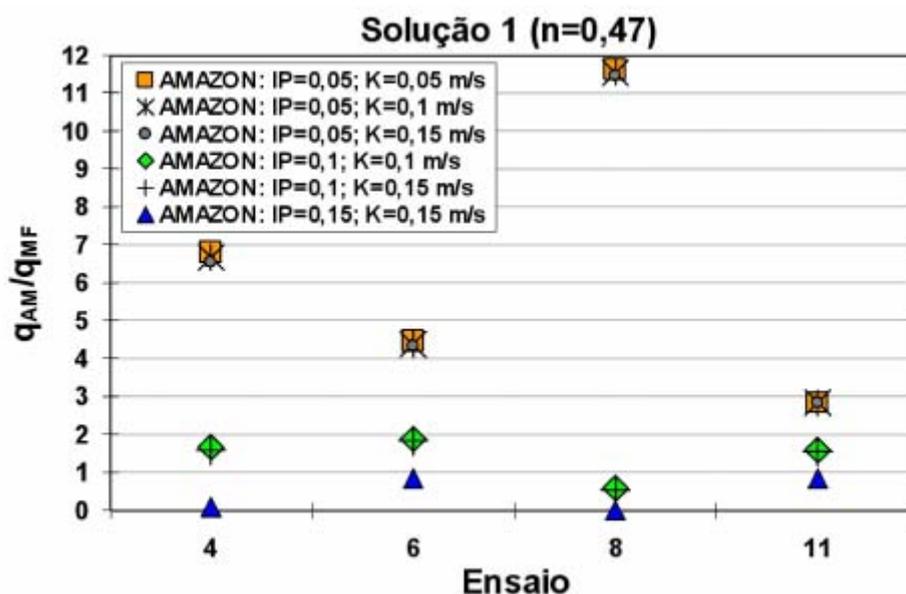


Figura 10 - Resultados do AMAZON para a Solução 1 obtidos através da aplicação da equação de Darcy: variação de q_{AM}/q_{MF} com K e com IP para os ensaios 4, 6, 8 e 11 ($n=0,47$).

Figure 10 - AMAZON results for Solution 1 obtained using the Darcy equation: variation of q_{AM}/q_{MF} with K and with IP for tests 4, 6, 8 and 11 ($n=0,47$).

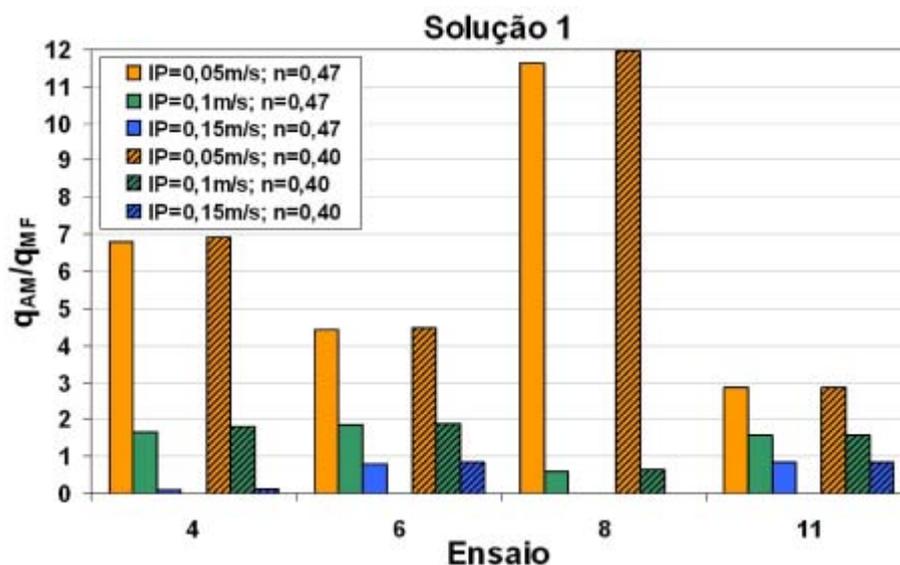


Figura 11 - Resultados do AMAZON para a Solução 1 obtidos através da aplicação da equação de Darcy: variação de q_{AM}/q_{MF} com IP e com n para os ensaios 4, 6, 8 e 11.

Figure 11 - AMAZON results for Solution 1 obtained using the Darcy equation: variation of q_{AM}/q_{MF} with IP and with n for tests 4, 6, 8 and 11.

A Figura 12 (bem com as Figuras 10 e 11) sugere ainda que os resultados do AMAZON para a Solução 1 que melhor se ajustam aos dados destes ensaios foram obtidos para valores de IP de aproximadamente

0,125 m/s, à exceção do ensaio 8. Note-se que também se obtêm resultados bastante satisfatórios para IP=0,1 m/s, valor recomendado na literatura.

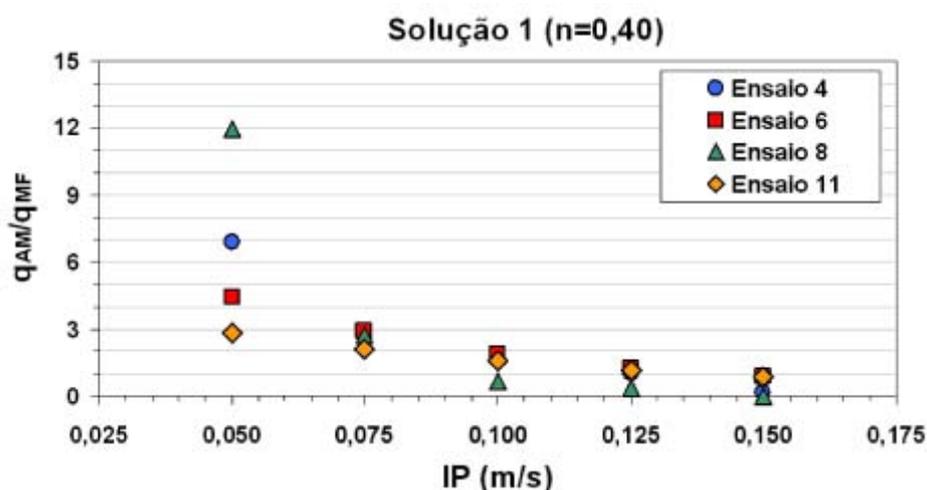


Figura 12 - Resultados do AMAZON para a Solução 1 obtidos através da aplicação da equação de Darcy: variação de q_{AM}/q_{MF} com IP para os ensaios 4, 6, 8 e 11 ($n=0,40$).

Figure 12 - AMAZON results for Solution 1 obtained using the Darcy equation: variation of q_{AM}/q_{MF} with IP for tests 4, 6, 8 and 11 ($n=0,40$).

Para a Solução 2, a análise de sensibilidade dos resultados do AMAZON aos valores de K, IP e n permitiu retirar conclusões semelhantes às obtidas para a Solução 1 (Reis *et al.*, 2009b). Assim, aplicou-se o AMAZON às Soluções 1 e 2, aos doze ensaios apresentados na Tabela 2, para $IP=0,1$ m/s e $IP=0,125$ m/s, considerando $n=0,40$ (Figura 13). A Figura 13 mostra que, para os doze ensaios analisados, a maioria dos pontos se situa entre $1 \leq q_{AM}/q_{MF} \leq 2$ para os dois valores de IP considerados. A figura confirma ainda que, de um modo geral, os melhores resultados do AMAZON para as Soluções 1 e 2 foram obtidos para $IP=0,125$ m/s: para este valor de IP, todos os pontos da Figura 13, à excepção de um ponto referente à Solução 1 - ensaio 8, estão entre as linhas $q_{AM}/q_{MF}=1$ e $q_{AM}/q_{MF}=2$ ($1,00 \leq q_{AM}/q_{MF} \leq 1,76$), ou seja, o AMAZON apresenta uma tendência para prever os caudais médios por excesso, especialmente para a Solução 2. Para $IP=0,1$ m/s, valor recomendado na literatura, esta tendência acentua-se

ligeiramente, apesar dos resultados obtidos serem ainda bastante satisfatórios (para 18 ensaios $1,00 \leq q_{AM}/q_{MF} \leq 1,88$, para 5 ensaios $2,16 \leq q_{AM}/q_{MF} \leq 3,79$ e para 1 ensaio $q_{AM}/q_{MF}=0,64$) tendo em conta o fenómeno em análise, ao qual está normalmente associada uma gama de variação em ensaios muito considerável (de que é exemplo o caso que se apresenta na Tabela 1). O ajuste dos resultados do AMAZON aos dados dos ensaios é idêntico para toda a gama de caudais medidos ($0 \leq q_{MF} \leq 2,0E-3$ m³/s/m).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E FUTUROS DESENVOLVIMENTOS

As normas para o projecto, construção e manutenção de estruturas, bem como a sociedade em geral, exigem, cada vez mais, uma quantificação dos riscos e um aumento da fiabilidade de estruturas de engenharia, nas quais se podem incluir as estruturas marítimas. Assim, é fundamental a existência de ferramentas precisas e eficientes para o estudo do

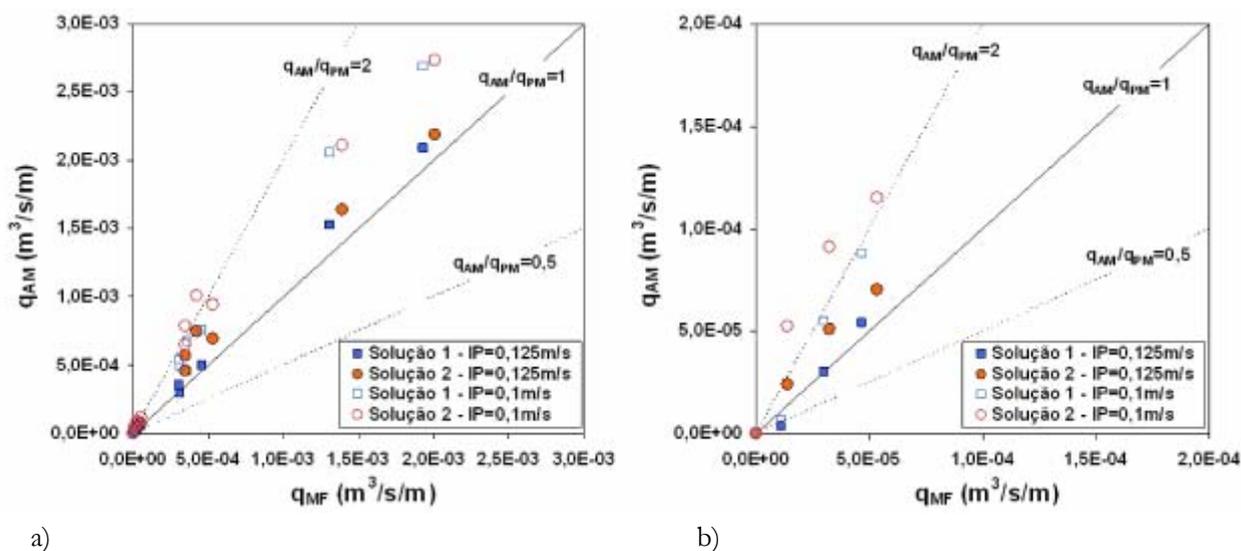


Figura 13 - Comparação entre os valores médios de volumes galgados por metro linear de estrutura obtidos no modelo físico, q_{MF} , e através do AMAZON, q_{AM} , aplicando a equação de Darcy para as Soluções 1 e 2, $n=0,4$ e valores de IP de $0,1$ m/s e $0,125$ m/s: a) todos os resultados; b) resultados para caudais inferiores a $2,0E-4$ m³/s/m.
 Figure 13 - Comparison between the AMAZON, q_{AM} and the physical model, q_{MF} , mean overtopping discharges obtained for Solutions 1 and 2 using the Darcy equation with $n=0,4$ and $IP=0,1$ m/s and $0,125$ m/s: a) all results; b) results for discharges less than $2,0E-4$ m³/s/m.

galgamento de estruturas marítimas, fenómeno responsável por grande parte das inundações costeiras e portuárias. De entre essas ferramentas, os modelos numéricos, de que é exemplo o modelo AMAZON, têm vindo a ser cada dia mais utilizados.

Neste artigo, apresentam-se as principais características do modelo numérico AMAZON, baseado na teoria da onda em condições de água pouco profunda. Descrevem-se também os desenvolvimentos que o Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P. (LNEC) tem vindo a efectuar, em colaboração com o Dr. Keming Hu (Royal Haskoning, UK), desde 2007, de forma a permitir modelar explicitamente o escoamento em meios porosos e a proceder à sua validação sistemática para o estudo do galgamento de estruturas marítimas porosas (que, na sua maioria, envolvem o escoamento em meios porosos). Na sua versão original, o AMAZON estava essencialmente desenvolvido para estruturas impermeáveis. Para simular o escoamento em meios porosos, foram implementadas no modelo as equações de Darcy (válida para escoamentos laminares estacionários) e de Forchheimer (válida para escoamentos turbulentos estacionários).

Para ilustrar as novas capacidades do AMAZON no cálculo do caudal médio de galgamento por metro linear de estrutura, apresentam-se dois casos de aplicação reais, para os quais existem resultados de ensaios em modelo físico realizados no LNEC: um envolvendo um quebra-mar de estrutura mista, com manto de enrocamento, e o outro um quebra-mar de taludes, com manto composto por blocos artificiais. Dadas as características dos ensaios a simular com o modelo, aplicou-se a equação de Darcy.

A comparação dos resultados do modelo com os de ensaios em modelo físico permite verificar que, quer para o quebra-mar com manto de enrocamento, quer para o quebra-mar com manto composto por blocos artificiais, os resultados obtidos com a nova versão do modelo AMAZON aplicando a equação de Darcy são bastante satisfatórios. Estes resultados mostram que os caudais médios de galgamento simulados com o AMAZON são mais sensíveis ao valor da velocidade máxima que o escoamento de água pode ter durante a transferência entre a camada porosa e a camada superficial, IP , do que à escolha da condutividade hidráulica e da porosidade. De uma forma geral, os resultados do AMAZON que melhor se ajustam aos dados dos ensaios em modelo físico foram obtidos para $IP=0,125$ m/s.

Para $IP=0,1$ m/s, valor recomendado na literatura, os resultados do AMAZON são ainda satisfatórios, mas o modelo apresenta uma tendência mais acentuada para prever por excesso os caudais médios obtidos nos ensaios. Os resultados são bastante promissores, dadas as várias aproximações feitas para modelar a estrutura porosa (tais como o uso de apenas uma camada porosa para representar estruturas com várias camadas porosas e o uso da equação de Darcy em vez da equação de Forchheimer) e as limitações inerentes ao AMAZON (essencialmente relacionadas com as equações de base).

Assim, tendo em conta a eficiência do modelo do ponto de vista de esforço computacional, pretende-se continuar a testar o modelo para diferentes geometrias de estruturas marítimas e diferentes características do seu meio poroso, investindo, simultaneamente, na optimização da discretização da malha de cálculo. Pretende-se também aplicar o AMAZON usando a equação de Forchheimer, pois até à data, foram apenas feitos alguns testes em que foi utilizada esta equação à escala do modelo (Reis *et al.*, 2009a). Comparação com dados à escala do protótipo ou com dados de ensaios realizados a grandes escalas serão também fundamentais para comparar as vantagens e os inconvenientes da aplicação de cada uma das duas equações implementadas no AMAZON para simular o escoamento em meio poroso. Por fim, pretende-se acoplar o modelo, que por definição se limita a águas de pequena profundidade, a um modelo de propagação da agitação desde o largo até à estrutura galgada, e proceder à paralelização do código. Estes desenvolvimentos permitem assim estender de forma eficiente a sua aplicação à maior parte dos casos de estruturas reais.

O objectivo final é desenvolver um modelo numérico que seja de fácil utilização por consultores em casos práticos de engenharia que envolvam a determinação do galgamento de estruturas marítimas e que represente um bom compromisso entre tempo de cálculo e precisão em termos de resultados de galgamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Portuário e dos Transportes Marítimos, I.P. e à Administração do Porto de Sines, S.A. a permissão dada para a publicação de alguns resultados dos ensaios em modelo físico reduzido realizados no LNEC.

BIBLIOGRAFIA

- Besley, P. (1999) - *Overtopping of Seawalls: Design and Assessment Manual*. 130p., Environment Agency, R&D Technical Report W178, Bristol, UK Reino Unido. (ISBN: 1-85705-069-X).
- CIRIA/CUR/CETMEF (2007) - *The Rock Manual: The Use of Rock in Hydraulic Engineering (2nd edition)*. 1304p., CIRIA C683, Londres, Reino Unido. (ISBN: 978-0-86017-683-1)
- Clarke, S.; Dodd, N., Damgaard, J. (2004) - Modelling flow in and above a porous beach. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 130(5):223-233. (ISSN: 0733-950X). [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(2004\)130:5\(223\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(2004)130:5(223))
- CONSULMAR (2008) - *Reconstrução e Ativação do Posto 1 do Porto de Sines. Reabilitação do Molhe Oeste. Projecto de Execução*. 124p., Lisboa, Portugal. (não publicado).
- CONSULMAR (2006) - *Reconstrução e Ativação do Posto 1 do Molhe Oeste do Porto de Sines. Estudo Prévio*. 86p., Lisboa, Portugal. (não publicado)
- Dalrymple, R.A.; Rogers, B.D. (2006) - Numerical modeling of water waves with the SPH method. *Coastal Engineering*, 53(2-3): 141-147. (ISSN: 0378-3839). <http://dx.doi.org/10.1016/j.coastaleng.2005.10.004>
- Didier, E.; Neves, M.G. (2009) - Wave overtopping of a typical coastal structure of the Portuguese coast using a SPH model. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 56:496-500. (ISSN: 0749-0208)
- Dodd, N. (1998) - Numerical model of wave run-up, overtopping and regeneration. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 124(2):73-81. (ISSN: 0733-950X). [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(1998\)124:2\(73\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(1998)124:2(73))
- García, R.G. (2007) - *Análisis de la Funcionalidad y Estabilidad de Obras Marítimas Mediante un Modelo Numérico Basado en las Ecuaciones de Reynolds*. 266p., Ph.D. thesis, University of Cantabria, Espanha.
- Harten, A.; Lax, P.D.; Van Leer, B. (1983) - On upstream differencing and Godunov type schemes for hyperbolic conservation laws. *SIAM Review*, 25(1):35-61. (ISSN: 0036-1445). <http://dx.doi.org/10.1137/1025002>
- Hu, K. (2000) - *Hgh-Resolution Finite Volume Methods for Hydraulic Flow Modelling*. 194p., PhD Thesis, Centre for Mathematical Modelling and Flow Analysis, Manchester Metropolitan University, Manchester, Reino Unido.
- Hu, K.; Meyer, D. (2005) - The validity of the non-linear shallow water equations for modelling wave runup and reflection. *Proc. ICE Coastlines, Structures & Breakwaters '05*, 195-206, Thomas Telford, Londres, Reino Unido.
- Hu, K.; Mingham, C.G.; Causon, D.M. (2000) - Numerical simulation of wave overtopping of coastal structures using the non-linear shallow water equations. *Coastal Engineering*, 41(4):433-465. (ISSN: 0378-3839). [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-3839\(00\)00040-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-3839(00)00040-5)
- Ingram, D.; Causon, D.; Mingham, C.; Zhou, J.G. (2002) - Numerical simulation of violent wave overtopping. In: J.M. Smith (ed.), *Proc. 28th International Conference on Coastal Engineering (ICCE)*, 2286-2298, World Scientific, Singapore.
- Ingram, D.M.; Causon, D.M.; Gao, F.; Mingham, C.G.; Troch, P.; Li, T.; De Rouck, J. (2004) - *Free Surface Numerical Modelling of Wave Interactions with Coastal Structures*. 53p., CLASH WP5 Report, Manchester Metropolitan University and University of Gent, Manchester, Reino Unido. <http://www.clash.ugent.be/results/D27numericalmodelling.pdf>
- Lemos, R.; Reis, M.T.; Silva, L.G. (2006) - *Scale Model Tests of the South Breakwater Root of Póvoa de Varzim Harbour: Overtopping Two-Dimensional Tests*. 70p., Relatório 05/06-NPE, LNEC, Lisboa, Portugal. (não publicado)
- Lemos, R.; Silva, L.G. (2008) - *Ensaio em Modelo Reduzido da Reconstrução do Molhe Oeste do Porto de Sines*. 91p., Relatório 141/2008-NPE, LNEC, Lisboa, Portugal. (não publicado)
- Lin, P.; Liu, P.L.-F. (1998) - A numerical study of breaking waves in the surf zone. *Journal of Fluid Mechanics*, 359:239-264. (ISSN: 0022-1120). <http://dx.doi.org/10.1017/S002211209700846X>
- Losada, I.J.; Lara, J.L.; Guanche, R.; Gonzalez-Ondina, J.M. (2008) - Numerical analysis of wave overtopping of rubble mound breakwaters. *Coastal Engineering*, 55(1):47-62. (ISSN: 0378-3839). <http://dx.doi.org/10.1016/j.coastaleng.2007.06.003>
- Mansard, E.P.D.; Funke, E.R. (1980) - The measurement of incident and reflected spectra using a least squares method. In: B.L. Edge (ed.), *Proc. 17th International Conference on Coastal*

- Engineering (ICCE)*, 154-172, ASCE, Nova Iorque, Estados Unidos da América. 1981
- Neves, M.G.; Reis, M.T.; Didier, E. (2010) - Comparisons of wave overtopping at coastal structures calculated with AMAZON, COBRAS-UC and SPHYSICS. *Proc. ECCOMAS CFD 2010, V European Conference on Computational Fluid Dynamics*, 14 a 17 de Junho, LNEC, Lisboa, Portugal. (CD-Rom).
- Neves, M.G.; Reis, M.T.; Losada, I.; Hu, K. (2008) - Wave overtopping of Póvoa de Varzim breakwater: physical and numerical simulations. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 134(4):226-236. (ISSN: 0733-950X). [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(2008\)134:4\(226\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(2008)134:4(226))
- Pullen, T.; Allsop, N.W.H. (2003) - *Use of Numerical Models of Wave Overtopping: A Summary of Current Understanding*. http://www.hrwallingford.co.uk/downloads/projects/overtopping/num_model_guidance.pdf.
- Reis, M.T.; Hu, K.; Hedges, T.S.; Mase, H. (2008a) - A comparison of empirical, semi-empirical and numerical wave overtopping models. *Journal of Coastal Research*, 24(2B):250-262. (ISSN: 0749-0208). <http://dx.doi.org/10.2112/05-0592.1>
- Reis, M.T.; Hu, K.; Neves, M.G.; Hedges, T.S. (2008b) - Numerical modelling of breakwater overtopping using a NLSW equation model with a porous layer. *Proc. 31st International Conference on Coastal Engineering (ICCE)*, 3097-3109, World Scientific, Singapore.
- Reis, M.T.; Neves, M.G.; Hedges, T.S. (2008c) - Investigating the lengths of scale model tests to determine mean wave overtopping discharges. *Coastal Engineering Journal*, 50(4):441-462. (ISSN: 0578-5634). <http://dx.doi.org/10.1142/S057856340800182X>
- Reis, M.T.; Neves, M.G.; Hu, K. (2009a) - Wave overtopping of a porous structure: numerical and physical modeling. *Journal of Coastal Research*, SI 56(II):539-543. (ISSN: 0749-0208)
- Reis, M.T.; Neves, M.G.; Hu, K.; Lopes, M.R.; Silva, L.G. (2009b) - Final rehabilitation of Sines west breakwater: physical and numerical modelling of overtopping. In: W. Allsop (ed.), *Proc. ICE Coasts, Marine Structures and Breakwaters 2009*, 636-647, Thomas Telford, Londres, Reino Unido. (ISBN: 978-0-7277-4131-8)
- Van Albada, G.D., Van Leer, B. & Roberts, W.W. Jr. (1982) - A comparative study of computational methods in cosmic gas dynamics. *Astronomy and Astrophysics*, 108:76-84. (ISSN: 0004-6361).
- Van Gent, M.R.A. (1994) - The modelling of wave action on and in coastal structures. *Coastal Engineering*, 22:311-339. (ISSN: 0378-3839) [http://dx.doi.org/10.1016/0378-3839\(94\)90041-8](http://dx.doi.org/10.1016/0378-3839(94)90041-8)
- Van Gent, M.R.A. (1996) - Numerical modeling of wave interaction with dynamically stable structures. *Proc. 25th International Conference on Coastal Engineering (ICCE)*, 1930-1943, Orlando, Florida, Estados Unidos da América.
- Van Gent, M.R.A.; Pozueta, B.; Van den Boogaard, H.F.P.; Medina, J.R. (2005) - *D42 Final Report on Generic Prediction Method*. 33p., CLASH WP8 Report. Delft, Holanda. <http://www.clash.ugent.be/results/D42finalreportgenericpredictionmethod.pdf>
- Van Leer, B. (1979) - Towards the ultimate conservative difference scheme. V. A second order sequel to Godunov's method. *Journal of Computational Physics*, 32(1):101-136. (ISSN: 0021-9991). [http://dx.doi.org/10.1016/0021-9991\(79\)90145-1](http://dx.doi.org/10.1016/0021-9991(79)90145-1)



Avaliação de Impactos Ambientais no Meio Físico decorrentes de Obras de Engenharia Costeira - Uma Proposta Metodológica*

Assessment of Environmental Impacts on the Physical Environment due to Coastal Engineering Works - A Proposed Methodology

Alessandro Farinaccio^{@,1}, Moisés Gonzalez Tessler¹

RESUMO

O presente artigo apresenta uma proposta para a avaliação de impactos no meio físico de ambientes costeiros decorrente da implantação de obras de engenharia na linha de costa. Para a avaliação dos impactos foi desenvolvida uma matriz que permite a representação gráfica de obras situadas nos ambientes costeiros, e a avaliação de seus impactos, considerando as particularidades dos empreendimentos, bem como, as particularidades dos diferentes tipos de ambientes e seus condicionantes. A matriz proposta combina dois métodos já conhecidos na avaliação de impacto ambiental aplicados nos Estudos de Impacto Ambiental, e consiste da associação do método Matricial de Leopold, ou Método de Matrizes de Interação, com o Método de Listas de Interação ou Check Lists (Método de Battelle-Columbus). Integram a matriz as principais obras de engenharia que ocorrem na linha de costa dos municípios costeiros na costa centro-sul do Estado de São Paulo e que correspondem aos municípios de Santos, São Vicente, Praia Grande e Guarujá. Para a avaliação de impactos nestes municípios, foram estabelecidos setores os quais correspondem aos diferentes ambientes costeiros que integram a região, sendo estes: uma baía, praias arenosas oceânicas e canais estuarinos. Na proposta de avaliação de impacto tais obras foram classificadas como obras de proteção, obras de recuperação, obras de infra-estrutura e obras de lazer e turismo. O trabalho conclui que a avaliação de impactos executada por meio da aplicação da matriz proposta na metodologia apresenta-se como uma ferramenta eficaz na avaliação de impactos em ambientes costeiros, uma vez que contempla a maioria de obras na linha de costa de praias arenosas e canais estuarinos encontrados ao longo da costa brasileira, e permite em casos de planejamento territorial uma visualização regional das intervenções na dinâmica costeira decorrentes de obras de engenharia. A estrutura e configuração final da matriz permitem a sua aplicação em obras costeiras existentes, bem como obras hipotéticas, uma vez que a mesma foi concebida a partir de casos reais identificados, ou seja, permite uma avaliação de obras já concluídas, como apresentadas nos estudos de caso, ou obras em fase de planejamento ou em execução.

@ autor correspondente: alfageo@ig.com.br

¹ Universidade de São Paulo (USP), Instituto Oceanográfico

* Submissão – 28 Abril 2010; Avaliação – 20 Maio 2010; Recepção da versão revista – 20 Julho 2010; Disponibilização on-line – 2 Dezembro 2010

ABSTRACT

This paper presents a proposal for assessing physical impacts on coastal environments caused by civil engineering works along the coastline. A matrix was developed for the assessment of impacts that allows graphical representation of engineering works located in coastal environments and evaluation of the impacts on these environments, considering both the particularities of these developments and the particularities of the different environments and their constraints. The proposed matrix combines two methods already used in environmental impact assessments. It consists of associating the Leopold Matrix, or the method of interaction matrices, with the method of interaction lists or Checklists (Battelle-Columbus Method). The matrix is composed of the main engineering works occurring along the coastlines of municipalities in the central southern coast of the State of São Paulo. These municipalities include Santos, São Vicente, Praia Grande and Guarujá. To assess impacts on these municipalities, sectors corresponding to the different coastal environments in the region were established. These sectors are: a bay, oceanic sandy beaches and estuarine channels. In the proposed impact assessment, civil works were classified as protection, recovery, infrastructure, recreation and tourism. The present paper concludes that the assessment of impacts using the proposed matrix is as an effective tool for coastal environments since it covers the majority of coastal civil engineering works on sandy beaches and in estuarine channels encountered on the Brazilian coast and, in cases of land planning, it permits a regional view of interventions on coastal dynamics arising from civil engineering works. The structure and final configuration of the matrix make it applicable to both existing and projected civil coastal works, since it was conceived from actual identified cases. Therefore, it allows an evaluation of works that have already been completed, as presented in the case studies, or works in their planning and execution phases.

1. INTRODUÇÃO

O incremento das atividades econômicas e sociais que se desenvolvem nas zonas costeiras resultou em processos de degradações, com perdas ambientais significativas, o que aponta para a necessidade premente de ordenamento das atividades que se desenvolvem nas zonas costeiras.

Dentre os problemas decorrentes da ocupação de áreas costeiras destacam-se aqueles relacionados à alteração do meio físico, principalmente aqueles que interferem na dinâmica dos processos sedimentares, e de movimentação de sedimentos ao longo da costa.

Muitas destas atividades antrópicas privam as costas de seu natural suprimento de areia, como as obras de regularização e estabilização de rios e a mineração em áreas fontes de sedimentos, obras portuárias, as de melhoramento de embocaduras e as de dragagens de manutenção.

Além destas atividades, vem se tornando comuns, nas praias brasileiras, a construção de uma infraestrutura de lazer constituída de bares, quiosques e todo o complexo de condomínios, e de pousadas e hotéis que avançam sobre áreas de domínio da ação marinha.

A interferência nesta dinâmica estritamente particular pode acarretar problemas de cunho ambiental e financeiro. Do ponto de vista ambiental devem ser consideradas as alterações na linha de costa, decorrentes de erosões, assoreamentos e mudança de

habitats com impactos na dinâmica das comunidades biológicas. Quanto ao fator econômico, destacam-se as perdas de edificações e estruturas localizadas à beira-mar, causadas pela instalação de processos erosivos, assoreamentos, bem como de colapsos do substrato.

Deste processo de degradação das condições naturais da dinâmica costeira, observa-se a necessidade de se estabelecer ferramentas que possam auxiliar os processos de análise dos impactos no ambiente costeiro, e que permitam uma compreensão de como obras isoladas ou conjunto de obras, em determinada região interferem na dinâmica destes processos costeiros.

A presente pesquisa apresenta os resultados do trabalho desenvolvido que consistiu de um levantamento de obras situadas nos ambientes costeiros, e uma análise de seus impactos, a partir do desenvolvimento de uma matriz que permitisse sua representação gráfica, considerando as particularidades de empreendimentos implantados na zona costeira, bem como, as particularidades dos diferentes tipos de ambiente reconhecidos, das condicionantes ambientais da região e do entendimento da dinâmica atuante (Farinaccio, 2008). A matriz combina dois métodos já conhecidos na avaliação de impacto ambiental aplicados nos Estudos de Impacto Ambiental, e consiste basicamente da

associação do método Matricial de Leopold (Leopold *et al.* 1971), ou Método de Matrizes de Interação, com o Método de Listas de Interação ou Check Lists (*Método de Battelle-Columbus*, desenvolvido por Dee *et al.* 1973).

A matriz foi elaborada a partir de um levantamento das principais obras de engenharia na linha de costa que foram instaladas nos municípios de Santos, São Vicente, Praia Grande e Guarujá, localizados na Baixada Santista, litoral central do Estado de São Paulo, Brasil.

O trecho estudado (**Figura 1**) compreende diferentes tipos de linhas de costa, que inclui desde praias abertas oceânicas, praias restritas limitadas por promontórios, praias em baías, canais estuarinos, e desembocaduras fluviais.

A Baixada Santista, em seu processo histórico de

ocupação, contou com obras que foram instaladas sem a realização de estudos ambientais prévios.

1.1. Referencial Metodológico

A matriz proposta neste estudo teve como referencial metodológico alguns conceitos básicos sobre a avaliação de impactos ambientais, bem como o entendimento dos principais métodos usualmente utilizados nos processos de Estudos de Impactos Ambientais, no Brasil e no Mundo.

A Avaliação de Impacto Ambiental é um instrumento de política ambiental formado por um conjunto de procedimentos capaz de assegurar, desde o início do processo, que seja feito um exame sistemático dos impactos ambientais de uma dada ação proposta (projeto, programa, plano ou política) e de suas alternativas. Pressupõe que os resultados sejam



Figura 1 – Localização da área de estudo, incluindo os limites dos Setores: Baía (1), Canal Estuarino (2) e Praias Oceânicas Arenosas (3). Base da imagem: Google Earth, acesso em 27/04/2010.

Figure 1 - Location of Study Area, including the boundaries of Sectors: Bay (1), Estuarine Channel (2) and Oceanic Sandy Beaches (3). Image source: Google Earth, access on 27/04/2010.

apresentados de forma adequada ao público e aos responsáveis pela tomada de decisão, e que os mesmos sejam por eles devidamente considerados.

O exame sistemático dos impactos implica nas atividades de identificação, medição e valoração dos prováveis impactos, através de métodos e técnicas objetivas, de modo a garantir resultados consistentes.

A caracterização dos impactos ambientais é o ponto central de um estudo de avaliação de impactos, em especial os relacionados aos ambientes costeiros que apresentam grande mobilidade espacial e temporal.

Segundo Barbieri (2004), um dos métodos de caracterização de impactos e avaliação ambiental mais simples consiste no uso de **listas de verificação**, ou de controle (**check lists**), para avaliar e interpretar os impactos que poderão ocorrer no caso de ocupação antrópica de uma área. A elaboração da lista consiste na identificação de características ou indicadores de qualidade ambiental que podem ser impactados pelas ações previstas no processo de ocupação. Por exemplo, o uso de recursos naturais e da infra-estrutura existente, alterações da paisagem, alteração do regime hídrico, erosão, assoreamento, poluição atmosférica e hídrica, geração de resíduos sólidos, ruídos, vibrações, intensificação do tráfego na área de influência, valorização ou desvalorização imobiliária, modificações no estilo de vida da população local e nas suas fontes de renda, etc.

Existem diversos tipos de listas, sendo que as mais simples apenas relacionam itens de verificação sobre a qualidade ambiental da área de influência do projeto. Existem listas que apresentam, além dos itens de verificação, orientações sobre como obter dados, selecionar amostras, bem como medir e interpretar os resultados. Cada item de verificação é então analisado e hierarquizado quanto à sua potencialidade de impacto.

A facilidade operacional é a principal vantagem desse método. Para projetos relacionados a atividades e empreendimentos de caráter repetitivo, podem ser elaboradas listas padronizadas que facilitam ainda mais sua aplicação. Sua principal desvantagem é fornecer uma visão segmentada dos impactos, já que os itens de verificação da lista são avaliados isoladamente, dificultando a identificação e a interpretação das interações entre os impactos decorrentes das ações previstas.

Há também métodos baseados em listas de verificação mais elaboradas, como o desenvolvido nos

Estados Unidos pelo Battelle-Columbus Institute, no qual a lista tem estrutura semelhante a uma árvore, com quatro fatores ambientais, 78 parâmetros e um sistema de ponderação. Para cada parâmetro, é estimado o valor do potencial impacto, com ou sem a ocupação do espaço considerado.

O método **Battelle-Columbus** (Dee *et al.* 1973) foi desenvolvido inicialmente, para avaliar impactos de projetos relacionados com recursos hídricos. Posteriormente, esse método foi adaptado para outros tipos de projetos, envolvendo outros parâmetros e outros sistemas de ponderação. As vantagens desse método são as mesmas de qualquer lista de verificação, acrescida da possibilidade de quantificação dos impactos listados, apesar da subjetividade que pode estar associada ao sistema de ponderação utilizado. Ainda assim, este método deixa a desejar no que concerne às interações entre os impactos, pois continua apresentando as mesmas limitações das listas de verificação unidirecionais.

O método baseado em **Matrizes de Interação** tem sua origem na conhecida **Matriz de Leopold** (Leopold *et al.*, 1971), concebida para avaliar os impactos ambientais da mineração no início da década de 1970. Essa matriz é uma tabela de dupla entrada, na qual as colunas relacionam cem ações causadoras de impactos decorrentes dos projetos e as linhas, 88 fatores ambientais da área de influência do projeto a serem afetados pelas ações, formando 8.800 células, cada uma representando o cruzamento entre uma ação e um fator ou característica ambiental.

Os métodos baseados em **Redes de Interação** procuram estimar os impactos diretos e indiretos, imediatos e de médio e longo prazo. Eles se baseiam na elaboração de diagramas de fluxo, ou gráficos de causa-efeito, que representam cadeias de impactos associados às ações previstas, como exemplificadas pela **Figura 2**.

Outra opção é a combinação de dois ou mais métodos, que tem como vantagem a simplicidade, rapidez e baixo custo na avaliação de impactos negativos. No entanto corre-se o risco de fazer uma avaliação compartimentada, não sendo recomendada para avaliações de impacto globalizada/integrada.

Há uma grande diversidade de métodos de avaliação de impactos envolvendo diferentes abordagens, como, por exemplo, os métodos baseados

em cartografia, em modelagem matemática de ecossistemas, em valoração econômica do meio ambiente e outros critérios.

Novos métodos e variações de métodos conhecidos estão sendo permanentemente desenvolvidos e aplicados, o que atesta a importância desse instrumento de avaliação de impacto ambiental, bem como a grande dificuldade que se tem para realizar a avaliação de impacto de modo satisfatório.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

A concepção da matriz se consolidou a partir de casos reais de obras implantadas no litoral central do Estado de São Paulo, conhecida como Baixada Santista, por meio de levantamentos em campo e diagnósticos do meio físico e entendimento da dinâmica costeira atuante.

Este levantamento decorre do entendimento de que antes de se promover a ocupação de determinada área na linha de costa deve-se ter o conhecimento

das características da área, ou seja, que seja realizado um diagnóstico ambiental do local, bem como dos processos que nele atuam e que lhe conferiram tais características.

A área de estudo escolhida para o levantamento e aplicação da matriz, apresenta-se intensamente ocupada, com diferentes tipos e dimensões de obras, e que foram conhecidamente implantadas sem a realização de estudos ambientais prévios, e sem a proposição de medidas mitigadoras ou compensatórias.

A área de estudo concentra um grande acervo de obras de engenharia, decorrentes do processo histórico de ocupação, contudo devido a ausência de necessidade de avaliação de impactos ambientais no Brasil até meados de 1986, estas obras foram então executadas sem considerar a variável ambiental em seus projetos.

No caso em pauta, o diagnóstico executado envolveu aspectos do meio físico, especificamente a geologia e a geomorfologia local, e os processos

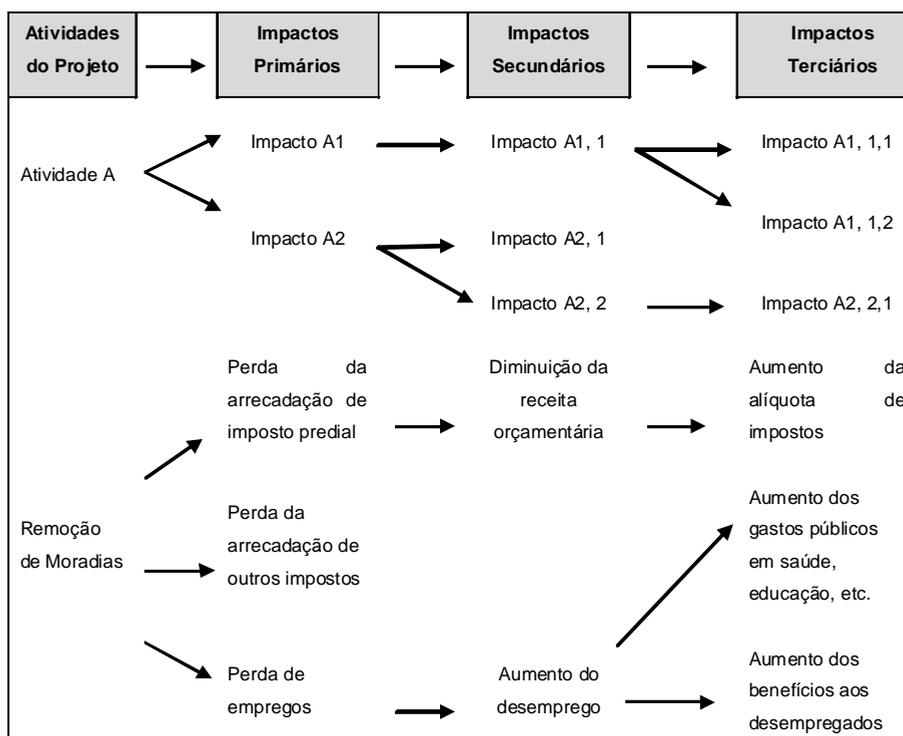


Figura 2 - Exemplo do uso de redes de interação. Adaptado de Rau & Wooten (1980).

Figure 2-Example of interaction networks usage. Adapted from Rau & Wooten (1980)

oceanográficos costeiros atuantes que são os principais agentes modeladores da configuração da linha de costa. Os levantamentos incluíram praias em baías (baixa energia), praias abertas (oceânicas) e alongadas, praias restritas por promontórios e ainda margens de canais estuarinos.

Associado ao conhecimento destes aspectos está o conhecimento adquirido, obtido em visitas às áreas e por meio de informações disponíveis em mapas e documentação científica. Desta forma, para a área de estudo foram realizados os seguintes levantamentos:

- Clima e condições meteorológicas das áreas de estudo;
- Caracterização geológica da área de estudo;
- Caracterização geomorfológica da área de estudo;
- Recursos hídricos, com abordagem na hidrologia superficial e hidrogeologia;
- Aspectos relacionados à dinâmica oceanográfica;
- Qualidade e uso das águas e usos da água.

Os trabalhos de campo consistiram na visita a cada uma das praias da área de estudo, e na navegação ao longo dos canais estuarinos, para a aplicação de um cadastro-diagnóstico. Este cadastro, associado a fotointerpretação e análise de imagens de satélite, além de servir como banco de dados das áreas de estudo permitiu um reconhecimento, em campo, dos impactos na dinâmica costeira local causados pelos diferentes tipos de obras implantadas na linha de costa. Nesta etapa de caracterização pôde ainda ser realizado o levantamento dos fatores antrópicos, como o histórico da ocupação urbana e industrial.

O cadastro utilizado apresenta dados de indicadores ambientais contemplando as seguintes informações:

- *tipo de terreno;*
- *geomorfologia local;*
- *tipo de ocupação e adensamento populacional;*
- *redução de áreas de domínio marinho;*
- *fontes de poluição;*
- *alterações na dinâmica costeira;*
- *evidências de colapso de estrutura e outros dados indiretos.*

A partir do preenchimento da ficha de cadastro de campo foi então elaborada uma ficha cadastral contemplando as características do meio físico e da ocupação dos segmentos de linha de costa visitados, bem como das obras costeiras que interferiram no processo da dinâmica natural, e então incorporados e relacionados/associados os principais impactos observados.

2.1. Estrutura da Matriz

A matriz estabelecida nesta pesquisa permite uma visualização gráfica dos impactos identificados na Baixada Santista, e de uma compreensão relativamente rápida do padrão de interferência na dinâmica costeira atuante no local.

A matriz proposta é composta por linhas e colunas. Nas linhas é apresentado o grupo de obras por funções, ou seja, o objeto impactante. Estas linhas correlacionam-se com as colunas a direita, nas quais estão representados o padrão de interferência sobre a dinâmica costeira, e os impactos potenciais.

A primeira coluna da matriz apresenta os tipos de obras ao longo da área de estudo, e que foram identificadas nos trabalhos de campo e de fotointerpretação. Esta coluna encontra-se subdividida em 2 partes.

A primeira parte contém as funções das obras, dispostas em grupos de funções ao longo de 4 linhas. A segunda parte da coluna, a direita, relaciona os tipos de obras dentro de cada uma das funções. Neste levantamento as obras foram subdivididas em categorias associadas a seu objetivo construtivo e ou função estrutural, conforme exposta a seguir:

Obras de proteção: Têm o objetivo de proteger a costa (benfeitorias) do ataque direto das ondas. Geralmente são construídas para proteção de avenidas e casas instaladas na orla marítima. Nesta categoria foram enquadradas as seguintes obras:

- Muros;
- Barreiras de rocha (ex. *rip-rap*);
- Molhes e enrocamentos.

Obras de recuperação: Têm por objetivo a reconstrução do ambiente praiado mais próximo de suas características naturais. São

implantadas para estabilizar uma praia sujeita a recuos erosivos. Podem alargar a praia por meio da acumulação de areias e evitar assoreamento de uma região a sotamar da corrente da deriva litorânea. Nesta categoria enquadram-se as seguintes obras:

- Engordamento de praia - molhes e enrocamentos
- Espigões e gabiões

Obras de infra-estrutura e lazer: Têm o objetivo de fornecer equipamentos de infra-estrutura básica e de lazer, públicos ou privados. São obras ou conjunção de obras relacionadas à ocupação urbana, industrial e portuária, voltadas ao transporte, saneamento, atividades industriais e moradia além daquelas voltadas ao turismo. As obras enquadradas nas categorias anteriores, na maioria das vezes, são implantadas para a proteção/preservação das obras desta categoria. Nesta categoria enquadram-se:

- Obras de infra-estrutura básica como:
 - *Emissários (dutos emersos e enterrados);*
 - *Canais de águas superficiais;*
 - *Aterros de loteamentos;*
 - *Aterros de invasões;*
 - *Palafitas;*
 - *Aterros de passagem (ruas, avenidas, estradas);*
 - *Pier ou plataforma de embarque;*

e também as obras de lazer e turismo como:

- *Aterros;*
- *Marinas;*
- *Píeres ou plataforma de pesca;*
- *Molhes e enrocamentos.*

A segunda coluna refere-se ao padrão de interferência na dinâmica das praias arenosas e nos canais estuarinos:

- **Padrão A:** obras que são capazes de alterar predominantemente os fluxos longitudinais, aqueles relacionados aos movimentos das

correntes de deriva litorânea (*longshore currents*), e que apresentam expressão mais nítida em planta;

- **Padrão B:** obras que alteram os fluxos transversais, relacionados aos movimentos costa adentro-costa afora (*onshore-offshore*), cujo reflexo se dá maneira mais incisiva sobre o perfil praial;
- **Padrão C:** obras cuja ação se dá de maneira igualitária nos dois tipos de fluxos; e
- **Padrão D:** Obras que interferem nos fluxos de canais estuarinos.

A terceira coluna indica os impactos ambientais potenciais identificados na área de estudo. A Coluna G1 apresenta os impactos que ocorrem sobre as faixas de praias arenosas, decorrentes da alteração da dinâmica costeira pela presença das obras. A Coluna G2 apresenta aqueles impactos que ocorrem sobre os canais estuarinos, e que decorrem da alteração da dinâmica dos fluxos estuarinos e da redução de áreas ao longo de suas margens. A Coluna G3 apresenta impactos ambientais associados, que nas praias arenosas e canais estuarinos, decorrem da ocupação destes ambientes bem como da ocupação urbana. Estes impactos referem-se às alterações da paisagem, danos sobre estruturas existentes e poluição por resíduos sólidos e efluentes. Para este estudo a relação de impactos em cada um dos seus Grupos é a seguinte:

G1-IMPACTOS SOBRE A FAIXA DE AREIA – PRAIAS

Redução da faixa de praia (avanço das obras sobre a faixa de praia) (a)

Praias mais extensas causadas pelo assoreamento/deposição (b)

Praias mais estreitas pela erosão (erosão paralela a linha de costa) (c)

Alteração da topografia da praia (perfil praial) (d)
Instalação de processos erosivos na praia (formação de células erosivas) (e)

Aprisionamento de sedimentos junto a estrutura rígida de orientação impedindo seu movimento a sotamar (f)

G2-IMPACTOS SOBRE CANAIS ESTUARINOS

- Instalação de processos erosivos nas margens dos canais estuarinos (g)
- Redução de ambientes naturais (h)
- Redução de áreas de mangue (i)

G3-IMPACTOS ASSOCIADOS

- Deposição de areia em equipamentos públicos (praças, quiosques, etc) (j)
- Deposição de areia em avenidas e ciclovias (k)
- Colapso de muros de proteção (l)
- Solapamento/recalques de aterros (m)
- Assoreamentos (n)
- Escalonamento da linha de costa por sucessivas estruturas rígidas perpendiculares a linha de costa (o)
- Redução de áreas úteis a ocupação (p)
- Alteração da paisagem (q)
- Contaminação da água superficial - por efluentes (r)
- Contaminação da água por resíduos sólidos (s)
- Alteração do regime de fluxo da água subterrânea (t)

Cumpramos ressaltar que a avaliação do impacto realizado nas áreas densamente ocupadas, ocorreu sobre estruturas, obras e atividades já instaladas, e desta forma foram avaliados os impactos decorrentes da existência de tais estruturas, sendo desconsiderados os impactos advindos da etapa de implantação das obras. Contudo, esta análise (pós-implantação) subsidia a análise de impacto potencial de estruturas e atividades a serem implantadas em locais que não experimentaram a ocupação.

Tanto na fase de diagnóstico como na fase de avaliação de impactos foram adotados os procedimentos comumente utilizados em Estudos de Impacto Ambiental – EIA, considerando, contudo, principalmente os parâmetros do meio físico aplicáveis a praias arenosas e canais estuarinos.

2.2. Atributos dos Impactos Ambientais

Na avaliação de impactos, foram ainda considerados os atributos dos impactos identificados. Estes atributos foram definidos com base no trabalho de Sanchez (2006), que considera: Expressão, Origem, Duração, Escala temporal, Reversibilidade, Cumulatividade e sinergismo e a Escala espacial.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O cadastramento das obras ao longo da Baixada Santista, permitiu a identificação de uma grande diversidade de obras costeiras distribuídas em diferentes compartimentos/setores da Baixada Santista, e que exibem particularidades com relação a dinâmica costeira. Estas particularidades facilitaram a visualização dos impactos de obras em diferentes tipologias de praias e em canais estuarinos.

A área da Baixada Santista estudada apresenta um alto índice de ocupação, principalmente concentrado na linha costa (faixas de praia), e nas margens de canais dos estuários, implantada sem um planejamento e ordenamento territorial e ambiental durante seu processo de ocupação.

Como exemplos da aplicação da Matriz foram considerados os resultados dos cadastros realizados em 3 segmentos de costa diferentes, considerando as particularidades de sua dinâmica costeira, e que permitisse exemplificar a aplicação do método. São eles:

- **Setor 1 Baía:** Baía de São Vicente, desde sua entrada entre a Ilha Porchat e o Morro do Japuí, na baía de Santos, estendendo-se até o trecho de estreitamento do canal entre o Morro dos Barbosas e Morro na Praia, na altura da Ponte Pênsil;
- **Setor 2: Canal Estuarino:** Estuário Santista/ Canal do Porto de Santos, que compreende o Canal do Porto de Santos, desde sua entrada na Ponta da Praia e Ponta da Fortaleza, estendendo-se até o Largo de Santa Rita;
- **Setor 3: Praias Oceânicas Arenosas:** Praias do Guarujá, incluindo as praias da Ilha de Santo Amaro. Segmento de costa com praias arenosas oceânicas, podendo ser abertas ou restritas.

Os resultados do cadastramento são apresentados por setor conforme exposto a seguir. O Quadro 1 apresenta a síntese das principais intervenções em cada um dos setores avaliados.

A Matriz contempla todos os tipos de obras identificadas no cadastramento, e ainda, outras obras de engenharia costeira que possam vir a ser construídas. A forma da matriz elaborada é apresentada na sequência, com os exemplos de aplicação dos 3 setores estudados (**Figuras 3, 4 e 5**)

Quadro 1 - Relação de intervenções/obras, aspectos ambientais e impactos na Baixada Santista
 Table 1 - List of interventions/civil engineering works, environmental aspects and impacts on the Baixada Santista.

Intervenção/obra realizada	Sector de Domicínia	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental
<ul style="list-style-type: none"> • Construção de muros de proteção 	Baía de São Vicente Praia do Guaruá	<ul style="list-style-type: none"> • Alteração no regime de deposição eólica pela construção de muros paralelos à linha de costa • Alteração do perfil de praia pela formação do espigamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Deposição de areia em equipamentos públicos (praias, quiosques, etc) • Deposição de areia em áreas de recreação • Flocos de areia na população • Erosão da praia • Acúmulo de areia em pontos sensíveis • Alteração da topografia da praia • Redução da área de praia por ocupação dos temporais
<ul style="list-style-type: none"> • Construção de muros e estruturas rígidas para fins de contenção de areia, construção de muros de contenção (para o aterramento) 	Baía de São Vicente Praia do Guaruá	<ul style="list-style-type: none"> • Alteração da dinâmica natural de transportes de sedimentos através da praia por um aterramento de estrutura rígida (muros, enrocamentos, etc), alteração da dinâmica natural 	<ul style="list-style-type: none"> • Lançamento de processos erosivos na praia • Aquecimento do ambiente por inércia térmica, impedindo tal movimento a serem • Proliferação de algas, causadas pelo aquecimento do espaço
<ul style="list-style-type: none"> • Construção de estruturas rígidas (muros e contenção) para o aterramento de praia 	Baía de São Vicente Praia do Guaruá	<ul style="list-style-type: none"> • Alteração da dinâmica natural de transportes de sedimentos através da praia por um aterramento de estrutura rígida 	<ul style="list-style-type: none"> • Estabilização da linha de costa por estruturas rígidas perpendicularmente à linha de costa • Alteração da paisagem • Aumento da profundidade do mar • Desagilidade no trânsito sedimentar pelo aprisionamento de material sedimentar junto às estruturas • Proliferação de algas, causadas pelo aquecimento do espaço
<ul style="list-style-type: none"> • Construção de muros e muros paralelos à linha de costa com o objetivo de gerar espaços para ocupação 	Baía de São Vicente Praia do Guaruá	<ul style="list-style-type: none"> • Alteração da dinâmica natural de transportes de sedimentos através da praia por um aterramento de estrutura rígida 	<ul style="list-style-type: none"> • Complicação de faixas sensíveis • Redução de ambientes naturais • Contorno de muros de contenção • Proliferação de algas, causadas pela erosão • Solapamento do espaço de praia
<ul style="list-style-type: none"> • Trabalho de base de aterramento permanente (APP para construção de muro - muros) 	Baía de São Vicente Condomínio de Praia do Guaruá Praia do Guaruá	<ul style="list-style-type: none"> • Supressão de vegetação de mangue e espécies de mangue e de outras espécies 	<ul style="list-style-type: none"> • Camuflagem de áreas áreas à ocupação • Redução de ambientes naturais • Redução de muros de contenção • Contorno de muros de contenção • Lançamento de resíduos sólidos
<ul style="list-style-type: none"> • Trabalho de muros e muros paralelos à linha de costa com o objetivo de gerar espaços para ocupação 	Baía de São Vicente Condomínio de Praia do Guaruá Praia do Guaruá	<ul style="list-style-type: none"> • Ocupação de mangues de áreas naturais por estruturas rígidas 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução de áreas áreas à ocupação • Redução de ambientes naturais • Proliferação de algas, causadas pela erosão • Contorno de muros de contenção • Lançamento de resíduos sólidos
<ul style="list-style-type: none"> • Trabalho de muros e muros paralelos à linha de costa com o objetivo de gerar espaços para ocupação 	Baía de São Vicente Condomínio de Praia do Guaruá Praia do Guaruá	<ul style="list-style-type: none"> • Ocupação de mangues de áreas naturais por estruturas rígidas 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução de áreas áreas à ocupação • Redução de ambientes naturais • Proliferação de algas, causadas pela erosão • Contorno de muros de contenção • Lançamento de resíduos sólidos
<ul style="list-style-type: none"> • Trabalho de muros e muros paralelos à linha de costa com o objetivo de gerar espaços para ocupação 	Baía de São Vicente Condomínio de Praia do Guaruá Praia do Guaruá	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do entrocamento • Contorno de muros de contenção • Lançamento de resíduos sólidos 	<ul style="list-style-type: none"> • Alteração da faixa de água subterrânea • Redução de ambientes naturais
<ul style="list-style-type: none"> • Implantação de Complexo Turístico 	Baía de São Vicente Condomínio de Praia do Guaruá Praia do Guaruá	<ul style="list-style-type: none"> • Ocupação de mangues de áreas naturais por estruturas rígidas • Supressão de vegetação nativa 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução de ambientes naturais • Proliferação de algas, causadas pela erosão • Contorno de muros de contenção • Lançamento de resíduos sólidos • Redução de áreas áreas à ocupação

A matriz apresenta diversas seqüências possíveis de correlações. A primeira dela, que pode ser observada ao longo de uma linha, se baseia nos diagramas de fluxo, que representam cadeias de impactos associados às ações previstas. Neste caso ressalta-se na matriz apresentada a necessidade do reconhecimento do padrão de interferência decorrente da obra na dinâmica costeira. A vantagem deste procedimento está associado a fácil visualização das intervenções e conseqüências desta, apresentadas nas colunas dos Grupos.

Outro modo de visualização da matriz corresponde a agregação de várias obras de engenharia no entendimento do processo da interferência e impactos decorrentes. Desta forma, a matriz permite uma visualização dos impactos decorrentes de obras costeiras em um determinado espaço físico, local ou regional, e auxilia no planejamento territorial.

A matriz tem aplicação tanto para obras já implantadas, uma vez que sua concepção decorre do levantamento de casos reais, bem como para obras futuras, uma vez que com base nas diferentes situações

observadas seria possível a previsão e realização de prognósticos.

Desta forma, em casos de obras já existentes, a matriz pode ser utilizada principalmente como uma “check-list” a ser preenchida. Para as obras futuras/potenciais, o formato apresentado permite ajustes nas colunas e linhas com base nas características de projeto. Contudo, entende-se que a coluna relacionada ao padrão de interferência, coluna 2, deve ser fixada, uma vez que contempla os 4 possíveis padrões de intervenção em praias arenosas e canais estuarinos.

O número de linhas e colunas da matriz pode ser aumentado ou diminuído, contudo, sugere-se a fixação da coluna relativa ao “Padrão de Interferência”. Mesmo que diferentes obras possam vir a ser projetadas, além daquelas apresentadas neste artigo, e novos impactos possam ser identificados, entende-se que os tipos de intervenção esperados na dinâmica costeira serão sempre aqueles apresentados na referida coluna.

MATRIZ DO SETOR 1 – BAÍA BAÍA DE SÃO VICENTE		PADRÃO DE INTERFERÊNCIA				IMPACTOS																					
						G1						G2				G3											
TIPOS DE OBRAS QUE OCORREM NO SETOR		A	B	C	D	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t		
Obras de Proteção	Muros																										
	Barreiras de rocha																										
	Molhes e enrocamentos																										
Obras de Recuperação	Engordamento de praia- molhes e enrocamento																										
	Espigões e gabões																										
Obras de infra-estrutura	Emissários (altos e metidos e enterrados)																										
	Canais de águas superficiais																										
	Aterros de lotamentos																										
	Aterros de invasões																										
	Palafitas																										
	Aterros de passagem (ruas, avenidas, estradas)																										
Obras de lazer e turismo	Pier ou plataforma de embarque																										
	Aterros																										
	Marinas																										
	Molhes e enrocamentos																										
VARIÁVEIS																											
PADRÃO DE INTERFERÊNCIA														SETORES													
A: Interferência predominantemente em fluxos longitudinais (decriva litorânea) B: Interferência predominantemente em fluxos transversais (arrastado a cabeçaflecha) C: Associação dos Grupos A e B D: Interferência nos fluxos de canais estuarinos														Setor 1 - Baía - Baía de São Vicente Setor 2 - Canal Estuarino - Estuário Santos Canal do Porto de Santos Setor 3 - Praias Ocidentais Arenosas - Praias do Guarujá													
G1-IMPACTOS SOBRE A FAZDA DE AREIA - PRAIAS						G2-IMPACTOS SOBRE CANAIS ESTUARINOS						G3-IMPACTOS ASSOCIADOS															
a - Redução da faixa de praia b - Praias mais estreitas causadas pelo aterramento/deposição c - Praias mais estreitas pela erosão d - Alteração da topografia da praia (perfil praia) e - Instalação de processos erosivos na praia f - Aproximamento de sedimentos junto à estrutura rígida de orientação impedindo seu movimento a sotamar						g - Facilitamento da linha de costa por sucessivas estruturas rígidas perpendiculares à linha de costa h - Redução de áreas úmidas à ocupação i - Alteração do paisagem						j - Deposição de areia em equipamentos públicos (praças, quiosques, etc.) k - Deposição de areia em áreas úmidas e rios l - Colapso de muros de proteção m - Solapamento/margens de aterros n - Assoreamento o - Instalação de processos erosivos nas margens dos canais estuarinos p - Redução de ambientes naturais q - Redução de áreas de mangue r - Contaminação da água superficial - por efluentes s - Contaminação da água por resíduos sólidos t - Alteração do regime de fluxo da água subterrânea															

Figura 3- Exemplo da aplicação da matriz em baías
 Figure 3- Example of application of the matrix in bays

3.1. Aplicação da Matriz no Setor 1- Baía de São Vicente

No **Setor 1**, as obras existentes são de 4 (quatro) diferentes tipos de função. Ocorrem obras de proteção, como muros e molhes; obras de recuperação, como os molhes destinados ao engordamento de praias; obras de infra-estruturas, como os aterros que sustentam as avenidas da praia e edificações; e por fim obras de lazer, que correspondem aos molhes e píeres utilizados para a pesca artesanal e como base de sustentação de restaurantes. As obras identificadas na Baía de São Vicente interferem predominantemente em fluxos longitudinais (deriva litorânea).

Neste setor os principais impactos que ocorrem são do tipo G1, que correspondem às alterações sobre o perfil das praias arenosas em decorrência das presenças das obras. Do Grupo G1 não foi reconhecido somente o impacto “b”, que corresponde ao aumento da faixa de areia causada por assoreamento/deposição. Isso ocorre pelo fato de toda a baía de São Vicente apresentar um padrão erosivo, com deficiência de sedimentos para composição das praias. A configuração atual das praias decorre de um equilíbrio instável no transporte e circulação de sedimentos, que garantem a faixa remanescente das praias. Com a presença dos molhes, os poucos sedimentos disponíveis no sistema são transportados pela deriva longitudinal e, sendo barrados ao sul, promovem uma deficiência na porção ao norte do molhe, atribuindo àquele segmento de praia um padrão escalonado.

No **Setor 1**, os impactos associados (G3) identificados foram: colapso dos muros de proteção (l), solapamentos/recalques de aterros (m), contaminação por água superficial-efluentes (r), contaminação por efluentes sólidos (s), e alteração do regime de fluxo de água subterrânea (t).

Os impactos identificados na **Baía de São Vicente** são em sua maioria adversos. Contudo, os efeitos da presença de alguns molhes podem ser considerados benéficos, pois foram implantados com o objetivo de promover o acúmulo de sedimentos e a proteção das estruturas.

Os impactos são de grande magnitude, ocorrência imediata, sendo em geral temporários.

3.2. Aplicação da Matriz no Setor 2 - Estuário de Santos

O **Setor 2** é caracterizado por três grandes grupos de intervenções diferentes. O primeiro e mais significativo corresponde à presença do Porto de Santos e de toda a infra-estrutura associada que apresentam impactos dos Grupos G2 e G3. Além do porto ocorrem interferências decorrentes das ocupações irregulares (invasões) que ocorrem em alguns trechos do canal, além de toda a infra-estrutura associada ao complexo náutico do Guarujá (marinas e manutenção náutica).

Para a implantação do complexo náutico instalado nas proximidades da entrada do Canal do Porto, houve a supressão de vegetação de mangue e o aprofundamento do leito na desembocadura dos rios do Meio e Icanhema (**Figura 6**).

Na margem do Canal na Ilha de Santo Amaro, foi observada a ocupação irregular por meio de palafitas, resultando na supressão de vegetação ciliar e de mangue e na poluição das águas do canal.

No **Setor 2**, os impactos associados observados foram predominantemente: colapso de muros de proteção (l), solapamento/recalques de aterros (m), assoreamentos (n), instalação de processos erosivos nas margens dos canais estuarinos (o), redução de ambientes naturais (p), redução de áreas de mangue (q), contaminação da água superficial – por efluentes (r), contaminação da água por resíduos sólidos (s) e alteração do regime de fluxo da água subterrânea (t).

Quanto aos impactos no **Setor 2**, os mesmos foram considerados adversos com incidência direta, quando considerados os impactos de retirada de manguezais e instalação de processos erosivos. Contudo são indiretos quando considerada a redução de ambientes naturais em médio prazo. São impactos de alta magnitude e permanentes. Quanto à reversibilidade, a retirada pontual de vegetação de manguezais e a instalação de processos erosivos nas margens dos canais foram consideradas reversíveis, desde que de abrangência local. Contudo, a retirada de grandes áreas de manguezais ou a redução de outro ambiente natural torna os impactos irreversíveis.

Os impactos relacionados à contaminação da água superficial por efluentes e por resíduos sólidos foram considerados adversos, com incidência direta, e magnitude alta para a contaminação de águas por efluentes, e média magnitude para o lançamento de resíduos sólidos. Isto se deve à potencialidade de



Figura 6 - Desembocadura dos rios do Meio e Icanhema. Destaque para as obras de retificação das margens. No local ocorreu a supressão de vegetação de mangue e o aprofundamento do leito.

Figure 6- Meio and Icanhema rivers mouth. Highlight on rectification works on the margins. Mangrove vegetation removal and the deepening of the riverbed occurred on this location.

propagação da água contaminada por efluentes líquidos. Contudo, são impactos temporários e que podem ser mitigados por ações de despoluição, ou simplesmente pela interrupção do lançamento de efluentes.

O impacto significativo que corresponde à alteração na paisagem (1), decorre da expansão da ocupação irregular em palafitas e aterros, sobre os canais estuarinos de Santos e São Vicente. Nestes casos, os impactos foram considerados adversos, com incidência variando de direta a indireta, alta magnitude, de médio em longo prazo, permanente, reversível e de abrangência regional.

As obras que ocorrem junto à linha de costa e que estão sujeitas à dinâmica costeira são, em geral, obras cujos impactos podem ser reversíveis. Isto se deve à própria dinâmica a que estão sujeitas. A retirada destas obras da face praial permitiria a reconstrução dos perfis praiais que se encontram modificados, através da ação da dinâmica e do livre espraiamento das ondas sobre as faixas de areia das praias.

Contudo, ressalta-se a necessidade de haver disponibilidade de sedimentos para a reposição dos perfis.

3.3. Aplicação da Matriz no Setor 3 - Praias do Guarujá

No Setor 3, as principais intervenções são aquelas representadas pela construção de aterros paralelos à linha de costa e sobre parte da face praial. São os aterros que sustentam o calçadão e a avenida das praias de Pitangueiras e Astúrias, e os aterros que sustentam os condomínios nas Praias de Pernambuco e Mar Casado construídos para a obtenção de área edificável junto à linha de costa. Estes aterros alteraram o perfil praial, uma vez que, aprisionaram sob si, os sedimentos que compunham o perfil praial, e ainda pela limitação do espraiamento das ondas. São obras com função de proteção e ao mesmo tempo de infra-

estrutura, e que apresentam impactos dos Grupos G1 e G3.

As intervenções no **Setor 3**, resultam na associação de interferência em fluxos transversais e longitudinais, tipo C.

No **Setor 3** os impactos associados observados foram os de solapamento/recalques de aterros (m), assoreamentos (n), contaminação da água superficial – por efluentes (r), contaminação da água por resíduos sólidos (s) e alteração do regime de fluxo da água subterrânea (t).

Os impactos das obras que ocorrem no **Setor 3** são, em sua maioria, adversos, com incidência direta, magnitude variada, e ocorrência de médio prazo. Ressalta-se que são impactos em sua maioria temporários e reversíveis, com abrangência local.

Inicialmente esta análise é considerada sob o enfoque estrutural, ou seja, trata-se de estruturas que poderiam ser retiradas, com a recuperação do perfil praiar pela ação natural da dinâmica costeira. Contudo, muitas destas obras foram implantadas para

proporcionar a ocupação, através do aumento de áreas edificáveis, ou mesmo para garantir o bem estar da população. Quando analisada sob este enfoque, estas obras dificilmente seriam retiradas ou mesmo destruídas, tornando seus impactos, assim, permanentes e irreversíveis.

3.4. Aplicação da Matriz de Atributos- Setores 1, 2 e 3

Com base no levantamento de impactos expressos nos Grupos G1, G2, e G3, foi então elaborada a matriz de atributos destes impactos (**Figura 7**).

Da análise da Matriz de Atributos, decorre que os impactos na dinâmica costeira identificada são adversos, com incidência direta (70%), magnitude variada, 50 % alta, 25% baixa e 25% média. A ocorrência dos impactos é em sua maioria (45%), em médio prazo, seguida de 30%, em longo prazo, e 25% de ação imediata. Observa-se que 60% dos impactos são temporários contra 40% permanentes, e de todos os impactos registrados 95% foram considerados

Grupos	Impacto	Classificação	Incidência	Magnitude	Ocorrência	Duração	Reversibilidade	Propriedades	Abrangência
G1-IMPACTOS SOBRE A FAIXA DE AREIA - PRAIAS	Redução da faixa de praia	A	D	BM	IM	T	R	S	L
	Pisadas mais extensas causadas pelo assoreamento/deposição	A/R	D	AM	MP	T	R	S	L
	Pisadas mais estreitas pela erosão	A	D	AM	MP	T	R	S	L
	Aterroamento da topografia da praia (perfil praiar)	A/R	D	AM	MP	T	R	C	L
	Instalação de processos erosivos na praia	A	D	MM	LP	T	R	C	L
	Aprimoramento de acostamentos junto a estrutura rígida de orientação impedindo seu movimento a sotamar	A	D	BM	MP	P	R	C	R
G2-IMPACTOS SOBRE CANAIS ESTUARINOS	Instalação de processos erosivos nas margens dos canais estuarinos	A	D	AM	IM	P	R	S	R
	Redução de ambientes naturais	A	I	AM	MP	P	IR	S	R
	Redução de áreas de mangue	A	D	AM	IM	P	R	S	R
G3-IMPACTOS ASSOCIADOS	Deposição de areia em equipamentos públicos (benches, quiosques, etc.)	A	I	MM	MP	T	R	C	L
	Deposição de areia em avenidas e ciclovias	A	I	MM	MP	T	R	C	L
	Colapso de muros de proteção	A	D	MM	LP	T	R	S	L
	Solapamento/recalques de aterros	A	I	BM	LP	T	R	C	L
	Assoreamento	A	D	BM	LP	T	R	C	L
	Facilonamento da linha de costa por sucessivas estruturas rígidas perpendiculares a linha de costa	A	D	AM	MP	P	R	C	R
	Redução de áreas livres a ocupação	A	I	AM	LP	P	R	S	R
	Alteração da paisagem	A	I	AM	LP	P	R	S	R
	Contaminação da água superficial - por efluentes	A	D	AM	IM	T	R	C	R
	Contaminação da água por resíduos sólidos	A	D	MM	IM	T	R	C	R
Alteração do regime de fluxo da água subterrânea	A	D	BM	MP	P	R	C	L	
Legenda		A Adverso B Benéfico	D Direto I Indireto	B Baixa M Média A Alta M Média M Magritude	LP Longo prazo MP Médio prazo IM Imediato	T Temporário P Permanente	R Reversível IR Irreversível	S Sinérgico C Cumulativo	L Local R Regional

Figura 7-Matriz de relação dos impactos ambientais e seus atributos.
Figure 7 - Matrix of relation between environmental impacts and their attributes.

reversíveis, contudo, esta reversibilidade estaria associada à retirada total das obras para o reestabelecimento do perfil praias. Somente em um dos casos, que se refere à redução de ambientes naturais (como os manguezais) tal impacto foi considerado irreversível. 55 % dos impactos são de abrangência local e 55% são impactos cumulativos.

4. CONCLUSÕES

A metodologia proposta mostrou-se eficaz para a avaliação de impactos ambientais no meio físico decorrentes de obras de engenharia costeira. As análises contempladas na metodologia acerca das intervenções nos três setores estudados resultaram numa amostragem abrangente dos impactos que ocorrem na dinâmica costeira em uma área densamente ocupada representada pela Baixada Santista, no litoral central do Estado de São Paulo, Brasil.

A avaliação destas intervenções por meio de matrizes de impactos associadas a redes de interação, permitiram visualizar os impactos que ocorrem na dinâmica costeira das praias arenosas e canais estuarinos nos três setores da Baixada Santista (Grupos G1 e G2), e os demais impactos associados (G3).

A avaliação de impactos executada por meio da aplicação da matriz proposta na metodologia contempla a maioria de obras na linha de costa de praias arenosas e canais estuarinos encontrados ao longo da costa brasileira, e permite em casos de planejamento territorial uma visualização regional das intervenções na dinâmica costeira decorrentes de obras de engenharia.

Quanto ao manuseio e organização da matriz, o número de linhas e colunas da matriz pode ser aumentado ou diminuído, contudo, sugere-se a fixação da coluna relativa ao “Padrão de Interferência”. Mesmo que diferentes obras possam vir a ser projetadas, além daquelas apresentadas neste artigo, e novos impactos possam ser identificados, entende-se que os tipos de intervenção esperados na dinâmica costeira serão sempre aqueles apresentados na referida coluna.

A matriz ainda permite uma análise individual dos impactos de cada obra, uma vez que as informações para esta análise podem ser facilmente obtidas quando

observadas horizontalmente as linhas da matriz, e se tem a relação direta do tipo de obra existente, os padrões de interferência causados por ela e seus impactos.

A estrutura e configuração final da matriz permitem a sua aplicação em obras costeiras existentes, bem como obras hipotéticas, uma vez que a mesma foi concebida a partir de casos reais identificados, ou seja, permite uma avaliação de obras já concluídas, como apresentadas nos estudos de caso, ou obras em fase de planejamento ou em execução.

Ao final da aplicação da matriz conclui-se que no Setor 1- Baía de São Vicente, há uma predominância de obras de proteção e de recuperação, cujo padrão de interferência predominante é do tipo A “*Interferência predominante em fluxos longitudinais*”. Os impactos neste setor concentram-se no Grupo 1 (Impactos sobre a faixa de areia-praias), porém com ocorrência significativa dos impactos do Grupo G2 (Impactos sobre canais estuarinos).

Para o Setor 2 -Estuário de Santos, que contemplou um exemplo de aplicação da matriz em canais estuarinos, conclui-se que devido a existência de um padrão desordenado de ocupação ao longo do canal de São Vicente, ocorrem vários tipos de obras, porém com um predomínio em obras de infraestrutura, que interferem principalmente nos fluxos estuarinos (padrão D). Em decorrência desta ocupação irregular, se identificou impactos em todos os grupos, porém com uma concentração significativa dos G3 (Impactos Associados), principalmente aqueles relacionados à contaminação de água superficial por efluentes domésticos e por resíduos sólidos.

Por fim, quando analisada a matriz do Setor 3- Praias do Guarujá, onde se concentra a maioria dos aterros e loteamentos de veraneio, observa-se que predominam interferências do Padrão B “*Interferência predominante em fluxos transversais (movimentos onshore-offshore)*”, embora pontualmente algumas obras, como canais de águas superficiais apresentem padrão de interferência A e alguns aterros, o padrão decorrente da associação A e B.

Quanto aos impactos no Setor 3-Praias do Guarujá, foi observada uma maior concentração nos impactos do Grupo G1, porém com significativa ocorrência em impactos dos tipos G2 e G3 com

destaque para solapamento/recalques de aterros (m) e assoreamentos (n).

Os impactos identificados e incidentes sobre a dinâmica costeira são em sua maioria adversos, com incidência direta de 70%. Conclui-se que 60% dos impactos são temporários contra 40% permanentes, e de todos os impactos registrados 95% foram considerados reversíveis, contudo, esta reversibilidade estaria associada à retirada total das obras para o re-estabelecimento do perfil praiial.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelos recursos financeiros destinados ao projeto.

BIBLIOGRAFIA

Barbieri, J.C. (2004) - *Gestão Ambiental Empresarial: conceitos, modelos e instrumentos*. 328p. Editora Saraiva, São Paulo, SP, Brasil. ISBN: 9788502064485.

Farinaccio, A. (2008) - *Impactos na dinâmica costeira decorrentes de intervenções em praias arenosas e canais estuarinos de áreas densamente ocupadas no litoral de São Paulo, uma aplicação do conhecimento a áreas não ocupadas*. 217 p., Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

Dee, N.; Baker, J.; Drobny, N.; Duke, K.; Whitman, T. & Fahringer, P. (1973) - *Planning methodology for water quality management: Environmental evaluation system*. Battelle-Columbus Laboratories. Columbus, Ohio, U.S.A.:

Leopold, L.B.; Clarke, F.S.; Hanshaw, B.B.; Balsey Jr, T. (1971) - *A procedure for evaluating environmental impact*. Washington: 13p., U. S. Geological Survey, Circular 645, Washington, D.C., U.S.A. Disponível em <http://www.eric.ed.gov/PDFS/ED053006.pdf>

Rau, J.H. & Wooten, D.C. (1980) - *Environmental impact analysis handbook*. 642p., MacGraw-Hill. New York, NY, U.S.A. ISBN: 0070512175.

Sanchez, L.E. (2006) - *Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos*. 495p., Oficina de Textos, São Paulo, SP, Brasil. ISBN: 9788586238796.



Modelação da Interação entre uma Onda e uma Estrutura de Protecção Costeira usando um Modelo Numérico SPH - Smoothed Particles Hydrodynamics *

Study of Wave Interaction with Coastal Structures using a SPH Numerical Model

Eric Didier @,¹, Maria da Graça Neves ¹

RESUMO

Na última década os métodos numéricos baseados na abordagem Lagrangiana, conhecidos genericamente como modelos SPH (*Smoothed Particle Hydrodynamics*), foram objecto de um forte desenvolvimento, favorecido principalmente pela capacidade computacional dos meios de cálculo.

Um dos modelos SPH que se encontra actualmente em desenvolvimento é o modelo SPHysics, que permite modelar escoamentos com superfície livre. SPHysics é um modelo numérico bi e tri-dimensional, baseado num método Lagrangiano, que não necessita de malha e que resolve as equações da dinâmica dos fluidos (equações de Navier-Stokes) adequadamente escritas para a aplicação da técnica SPH. Este modelo tem vindo a ser utilizado e desenvolvido no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), com o objectivo de verificar a sua aplicabilidade a estudos de interação onda-estrutura, concretamente para o cálculo de galgamento, reflexão e forças em estruturas.

Apresenta-se, neste artigo, uma breve descrição do modelo e definem-se os valores de alguns parâmetros do modelo a utilizar em estudos de interação onda-estrutura. Esses valores foram definidos com base no resultado de estudos anteriores de sensibilidade e validação do modelo realizados nos últimos anos no LNEC.

Para ilustrar a aplicação do modelo numérico SPHysics ao estudo da interação de ondas com estruturas de protecção marginal impermeáveis, apresentam-se dois casos para os quais existem dados de ensaios experimentais. Estes dois exemplos permitem demonstrar as capacidades do modelo SPHysics na modelação de escoamentos complexos com superfície livre, uma vez que ao longo do domínio intervêm um conjunto de fenómenos que alteram significativamente as características da onda, tais como a rebentação e posterior reflexão na estrutura e o galgamento. Os resultados de caudal médio galgado obtidos com o modelo SPHysics apresentam boa concordância com os dados experimentais. Verificou-se que, para casos

@ - *corresponding author*: edidier@lnec.pt

1 - LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, 1700-066, Lisboa, Portugal. edidier@lnec.pt; gneves@lnec.pt

* - *Submissão* – 28 Abril 2010; *Avaliação* – 7 Julho 2010; *Recepção da versão revista* – 24 Julho 2010; *Disponibilização on-line* – 2 Dezembro 2010

onde o caudal galgado seja muito reduzido, que corresponde à condição mais difícil de ser modelada quer experimental quer numericamente, deve-se definir cuidadosamente a dimensão inicial máxima das partículas, de modo a obter resultados independentes da discretização mas no mínimo tempo de cálculo possível.

Por fim, o modelo SPHysics é utilizado para modelar a propagação de ondas regulares numa estrutura costeira que termina num deflector de ondas. Este caso, embora não possa ser validado por não se dispor de dados experimentais para tal, é relevante para a ilustração das potencialidades do modelo, dado a complexidade dos fenómenos envolvidos, especialmente das interações da onda deflectida com a onda incidente e reflectida. Os resultados da simulação apresentados permitem verificar que o modelo modela sem dificuldade e com realismo este tipo muito complexo de escoamento que inclui não só a rebentação da onda mas também da acção do deflector de ondas e a forte interacção que ocorre entre o jacto de água induzido pelo deflector e a própria onda na fase de *run-down*.

Finalmente apresenta-se um resumo das principais vantagens e limitações do modelo quando aplicado a estudos de interacção onda-estrutura e referem-se os desenvolvimentos futuros do modelo de forma a torná-lo numa ferramenta numérica eficiente e fiável para concepção, optimização e análise de estrutura marítimas.

Palavras-chave: Estruturas costeiras, modelos numéricos, método Lagrangiano, *Smoothed Particles Hydrodynamics*, galgamento, rebentação

ABSTRACT

In the last decade, the numerical methods based on the Lagrangian approach, known generically as SPH models (Smoothed Particle Hydrodynamics), have undertaken a strong development, fostered mainly by the increase in computational capacity.

One SPH model that is currently under development is the SPHysics model, which allows modeling free surface flows. SPHysics is a bi- and tri-dimensional numerical model, based on a Lagrangian method. The model is based on a mesh-free technique and solves the equations of fluid dynamics (Navier-Stokes equations) written in SPH form. This model has been used and developed at the National Civil Engineering Laboratory (LNEC), in order to verify its applicability to studies of wave-structure interaction, specifically for calculating wave overtopping, reflection and forces on structures.

This paper presents a brief description of the model and defines values of some model parameters to be used in studies of wave-structure interaction. These values were defined based on the results of previous sensitivity studies and on validation of the model carried out in recent years at LNEC.

To illustrate the application of the numerical model SPHysics to study the interaction of waves with impermeable coast protection structures, two case studies are presented for which there are experimental data. These two examples demonstrate the capabilities of SPHysics in modeling complex free surface flows, involving a set of phenomena that significantly change the characteristics of the wave, such as breaking and subsequent reflection on the structure and overtopping. The results of mean overtopping discharge obtained with SPHysics show good agreement with experimental data. For very low overtopping cases, more difficult to model both experimentally and numerically, the initial maximum particle size must be defined carefully in order to obtain results that are not affected by the adopted discretization whilst still keeping the required calculation time to a minimum.

Finally, SPHysics is used to model the propagation of regular waves towards a coastal structure with a wave recurve wall. Although experimental data are not available to validate this case, it is relevant to illustrate the potential of the model for the complex phenomena involved, especially the wave interactions with the incident and reflected waves. The presented simulation results show that SPHysics models, without difficulty and with realism, this type of very complex flow that includes the wave surf, the wave action on the recurve wall and the strong interaction between the jet induced by the recurve wall and the wave itself during the run-down.

Finally, a summary is presented of the main advantages and limitations of the model when applied to studies of wave-structure interaction. The paper ends with suggestions for future developments of the model in order to make it an efficient and reliable numerical tool for design, optimization and analysis of maritime structures.

Keywords: Coastal structures, numerical models, Lagrangian method, *Smoothed Particles Hydrodynamics*, wave overtopping, wave-breaking

1. INTRODUÇÃO

O projecto de concepção de obras marítimas baseia-se normalmente em fórmulas empíricas ou semi-empíricas, cuja forma assenta em considerações

de ordem física mas com constantes empíricas determinadas com base em ensaios experimentais. Assim, o limite de validade é reduzido já que são apenas válidas para a gama de valores desses ensaios.

Além disso, para alguns casos, não permitem obter uma estimativa com a precisão necessária. Actualmente, em casos práticos de engenharia e pela importância cada vez maior que se dá aos impactos destas estruturas, surgem geometrias mais originais, para as quais não existem formulações empíricas ou semi-empíricas aplicáveis. Assim, torna-se necessário obter mais informação proveniente quer de medições quer da modelação numérica ou física.

Os modelos físicos são utilizados essencialmente nas fases finais de projecto e são apenas estudados alguns casos seleccionados, já que este tipo de ensaios é caro e moroso e necessita de boas infra-estruturas, diversas técnicas de medição, além de experiência e conhecimento da parte de quem realiza os ensaios e analisa os resultados.

Nas últimas décadas o desenvolvimento dos meios computacionais permitiu obter soluções aproximadas das equações matemáticas que descrevem o escoamento permitindo simular cenários realistas de escoamento. Em muitos casos, a modelação numérica é mais rápida e mais barata que a modelação física e é muito flexível, podendo alterar-se facilmente a geometria de uma obra ou as condições de agitação, modificando apenas os ficheiros de entrada do modelo. Estes modelos permitem complementar os estudos em modelo físico e obter informações sobre o escoamento que seriam muito difícil ou mesmo impraticáveis de obter em modelo físico. Um modelo que permita determinar correctamente as características do escoamento ao redor e sobre a estrutura, permite ainda, com base nos resultados que dele se obtêm directamente, estabelecer parâmetros relacionados quer com a funcionalidade da estrutura (galgamentos, reflexão, etc.), quer relacionados com a sua estabilidade (acções sobre as peças do manto, problemas de erosão, etc.). No entanto, embora sendo uma ferramenta útil, no projecto final de estruturas costeiras, a verificação dos resultados com base em modelos físicos reduzidos continua a ser, em muitos casos, imprescindível.

No caso concreto da modelação numérica da interacção entre uma onda e uma estrutura marítima, ao longo das últimas décadas foram desenvolvidos modelos numéricos, com diferentes níveis de complexidade, aproveitando a evolução dos métodos numéricos. Estes modelos numéricos, que integram

a modelação da superfície livre, permitem descrever tão detalhadamente quanto possível a física do processo e, desta forma, prever as características essenciais do escoamento.

Actualmente existem diferentes tipos de modelos para estudos de interacção entre ondas e estruturas, que se encontram em diferentes etapas de desenvolvimento, cada um deles com as suas vantagens e campos de aplicação. Os modelos não lineares integrados na vertical que resolvem as equações não lineares de Boussinesq, como o COULWAVE (Lynett & Liu, 2004) ou o FUNWAVE (Kirby *et al.*, 1998, Chen *et al.*, 2000), permitem obter a deformação da superfície livre mas são limitados a declives suaves e são integrados na vertical. Estes modelos podem modelar o espriamento mas não o galgamento (ou apenas recorrendo a modelos de rebentação que devem ser calibrados). Modelos não lineares, como o programa CANAL (Clément, 1996) que resolve as equações de Euler usando um método de elementos de fronteira (BEM – *Boundary Element Method*), permitem obter a deformação de superfície livre, o campo de velocidades e pressão sem ter limitações de geometria das fronteiras. No entanto, estes modelos não têm capacidade de modelar deformações complexas da superfície livre, como a que ocorre na rebentação das ondas, nem o galgamento de estruturas marítimas. Modelos baseados nas equações de Navier-stokes, como o código FLUINCO (Teixeira, 2001), permitem modelar escoamentos com superfície livre através de uma condição cinemática aplicada à superfície livre que condiciona a deformação da malha dinâmica. Os campos de velocidade e pressão são obtidos em todo o domínio fluido e não existe limitação na geometria das fronteiras. No entanto, este tipo de modelo não permite modelar a rebentação das ondas nem o galgamento de estruturas. Os modelos baseados nas equações de Navier-Stokes, que incluem um método de captura de interface, permitem também modelar escoamentos com superfície livre (Didier, 2007, Neves *et al.*, 2008). O programa COBRAS-UC (Lara *et al.*, 2006), em que o método de captura de superfície livre implementado é de tipo VOF (*Volume of Fluid*) (Hirt & Nichols, 1981), permite não só modelar a propagação das ondas mas também fenómenos como a rebentação e o galgamento. A interacção entre ondas

e estruturas costeiras pode ser assim directamente modelada. No entanto, podem aparecer dificuldades numéricas quando pequenos volumes de água são libertados, como pode ocorrer, por exemplo, no caso de rebentação ou de interacção com um obstáculo. O método VOF requer também tratamentos específicos para controlar a difusão da fracção de volume que permite determinar a posição da superfície livre.

Os diferentes modelos apresentados anteriormente são baseados na abordagem Euleriana, ou seja, apoiam-se numa malha fixa ou dinâmica. Na última década os métodos numéricos baseados na abordagem Lagrangiana, conhecidos genericamente como modelos SPH (*Smoothed Particle Hydrodynamics*), foram objecto de um forte desenvolvimento, favorecido principalmente pela capacidade computacional dos meios de cálculo.

Os métodos SPH foram utilizados inicialmente em astrofísica (Gingold & Monaghan, 1977, Lucy, 1977) e aplicados mais tarde à hidrodinâmica (Monaghan, 1994, 2005). Neste caso, o fluido é considerado como constituído por partículas, ou seja, por volumes de água. O método SPH, que não necessita de malha, permite modelar as trajectórias das partículas do fluido segundo as equações de Navier-Stokes. Numericamente a interacção entre as partículas é assegurada por uma função de interpolação ou kernel de interpolação. As equações, escritas na forma Lagrangiana, resolvem o movimento individual de cada partícula a partir do movimento das partículas que estão à sua volta. A abordagem Lagrangiana consiste no seguimento das partículas do fluido durante um determinado tempo de forma a obter a sua trajectória, velocidade e pressão em função da posição inicial e do tempo. Difere, por isso, da abordagem Euleriana onde, para um determinado ponto do espaço, se obtém a velocidade e a pressão em função do tempo.

Um dos modelos SPH que se encontra actualmente em desenvolvimento é o modelo SPHysics, que permite modelar escoamentos com superfície livre. Este modelo resulta da colaboração de um grupo internacional de investigadores das universidades Johns Hopkins (EUA), de Vigo (Espanha), de Manchester (Reino Unido) e de Roma La Sapienza (Itália) (Crespo, 2008, Crespo *et al.*, 2008).

O modelo numérico SPHysics, na sua versão 1.4 (Gómez-Gesteira *et al.*, 2009), é inspirado da formulação proposta por Monaghan (1992) e vem sendo testado e melhorado ao longo dos últimos anos com o objectivo de modelar fenómenos complexos de deformação de superfície livre, como a rebentação, a interacção onda-estrutura, o *sloshing*, a penetração de um objecto no fluido, etc.

Desde Novembro de 2007, o modelo SPHysics tem vindo a ser estudado, utilizado e desenvolvido no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), com o objectivo de verificar a sua aplicabilidade a estudos de interacção onda-estrutura, concretamente para o cálculo de galgamento, reflexão e forças em estruturas (Didier & Neves, 2008, Didier & Neves, 2009a, Didier & Neves, 2010).

A aplicabilidade do modelo numérico SPHysics a estudos de engenharia costeira é analisada no presente artigo através da modelação da propagação das ondas e da rebentação e do galgamento que ocorrem na interacção entre estas ondas e uma estrutura costeira impermeável.

São apresentados dois casos de estudo para os quais existem dados experimentais. O primeiro caso corresponde ao galgamento de uma estrutura costeira impermeável de declive 1:3. Os resultados do volume médio galgado são comparados com outros resultados numéricos e com dados de ensaios em modelo físico obtidos por Saville (Kobayashi & Wurjanto, 1989, Shao *et al.*, 2006). O segundo caso corresponde ao galgamento de uma estrutura impermeável típica da costa Portuguesa de declive 2:3. Neste caso, a precisão dos resultados do modelo é avaliada pela comparação dos resultados numéricos com dados experimentais obtidos em ensaios em canal, realizados no âmbito do projecto *Composite Modelling of the Interactions between Beaches and Structures* (CoMIBBs) - HYDRALAB III European Project (Fortes *et al.*, 2008). Trata-se de um caso de estudo de grande complexidade, uma vez que ao longo do domínio intervêm um conjunto de fenómenos que alteram significativamente as características da onda, tais como a rebentação e posterior reflexão na estrutura e o galgamento.

Por fim, o modelo SPHysics é utilizado para modelar a propagação de ondas regulares numa estrutura costeira que termina num deflector de ondas. Este caso, embora não se disponha de dados

experimentais para a sua validação, é relevante para a ilustração das potencialidades do modelo, dado a complexidade dos fenómenos envolvidos, especialmente das interações da onda deflectida com a onda incidente e reflectida.

2. MODELO NUMÉRICO SPHysics

SPHysics é um modelo numérico bi e tri-dimensional, baseado num método Lagrangiano, que não necessita de malha e que resolve as equações da dinâmica dos fluidos (equações de Navier-Stokes) adequadamente escritas para a aplicação da técnica SPH (Monaghan, 1994), de ora avante designadas por equações SPH. Apresentam-se de seguida o método SPH, o kernel de interpolação utilizado para escrever as equações no formalismo SPH, as respectivas equações discretas e a implementação numérica do modelo.

2.1 Método SPH

O princípio fundamental dos métodos SPH consiste em aproximar um escalar, uma função ou um tensor usando a teoria dos integrais de interpolação. O integral de interpolação de uma função $f(r)$ é dado por:

$$f(r) = \int f(r')W(r-r',h)dr' \quad (1)$$

onde W é o kernel de interpolação, ou seja, uma função analítica, e h determina a dimensão do suporte desta função, a qual limita a resolução do método. O

parâmetro h é denominado de *smoothing length* e controla a dimensão do domínio de influência do kernel.

Numericamente, a função $f(r)$ é conhecida apenas em pontos discretos, as partículas, e os integrais de interpolação são aproximados por um somatório. A aproximação da função f associada à partícula a e à posição r_a é dada por:

$$f(r_a) \approx \sum_b m_b \frac{f_b}{\rho_b} W_{ab} \quad (2)$$

onde f_b é o valor da função f associado à partícula b localizada em r_b , $W_{ab} = W(r_a - r_b, h)$ é o valor da função de interpolação na posição $(r_a - r_b)$, m_b a massa e ρ_b a massa volúmica da partícula b .

As derivadas da função f são calculadas analiticamente, simplesmente derivando o kernel, o que constitui uma das vantagens do método SPH.

2.2 Kernel de interpolação

O kernel de interpolação é uma função analítica que pode ser diferenciada sem necessitar de uma malha espacial e que varia com a distância. Numericamente, o kernel é uma função com um suporte compacto dentro duma região determinada por um raio de $2h$ (Figura 1), mais pequeno que a escala típica do problema. No entanto, o parâmetro h deve ser superior à separação inicial das partículas. Assim, uma partícula está apenas em interacção com as partículas contidas no domínio de influência definido pela dimensão do suporte do kernel e cada uma destas partículas tem uma contribuição no kernel (Figura 1).

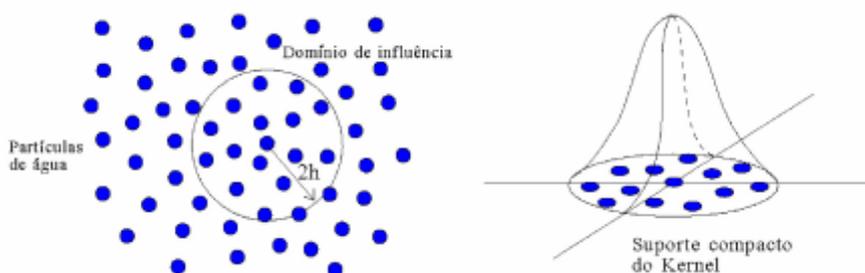


Figura 1 Domínio de influência do kernel, partículas que contribuem para a interpolação e suporte compacto do kernel.

Figure 1 Influence domain of the kernel, particles used for the interpolation and a typical kernel function.

Existem diversos kernels na literatura, sendo a sua utilização análoga à utilização de esquema de discretização nos métodos Eulerianos do tipo volumes finitos ou diferenças finitas. Assim, a bondade do método SPH é muito dependente do tipo de kernel, função que deve verificar várias condições matemáticas (Liu, 2003).

O kernel de interpolação *quadratic* (Johnson *et al.*, 1996, Dalrymple & Rogers, 2006), utilizado para todas as simulações numéricas realizadas no presente estudo, é definido pela seguinte função analítica:

$$W(q, h) = \frac{3}{2\pi h^2} \left(\frac{q^2}{4} - q + 1 \right) \text{ para } 0 \leq q \leq 2 \quad (3)$$

onde $q = (r_a - r_b) / h$

Este kernel não tem ponto de inflexão na sua derivada no intervalo de definição da função.

2.3 Equações da dinâmica dos fluidos

Nas equações SPH, a equação discreta de conservação da quantidade de movimento é dada por:

$$\frac{Dv_a}{Dt} = \sum_b m_b \left(\frac{P_a}{\rho_a^2} + \frac{P_b}{\rho_b^2} + \Pi_{ab} \right) \cdot \nabla_a W_{ab} + g \quad (4)$$

onde t é o tempo, $g = (0, 0, -9.81)$ m.s⁻² é a aceleração da gravidade, v_a , P_a e ρ_a são, respectivamente, a velocidade, a pressão e a massa volúmica de uma dada partícula a , P_b , ρ_b e m_b são, respectivamente, a pressão, a massa volúmica e a massa de uma dada partícula b contida no suporte compacto do kernel, W_{ab} é um kernel de interpolação e Π_{ab} é o termo de viscosidade.

Finalmente, $\nabla_a W_{ab}$ é dado por:

$$\nabla_a W_{ab} = \nabla_a W(r_a - r_b) = \frac{\partial W_{ab}}{\partial x_a} i + \frac{\partial W_{ab}}{\partial y_a} j \quad (5)$$

onde i e j são os vectores unitários na direcção dos eixos coordenados e (x_a, y_a) são as coordenadas da partícula genérica a .

No programa SPHysics, foram implementados três modelos para os termos viscosos Π_{ab} :

viscosidade artificial (Monaghan, 1992), viscosidade laminar (Morris *et al.*, 1997) e viscosidade laminar associada ao modelo de turbulência SPS – *Sub-Particle Scale* (Gotoh *et al.*, 2001, Rogers & Dalrymple, 2004). Este último modelo é o utilizado nas presentes simulações numéricas, pois inclui não só um modelo de viscosidade mas também os efeitos ligados à turbulência através de um modelo derivado dos modelos do tipo LES (*Large Eddy Simulation*). Foi verificado também que o modelo de viscosidade artificial, relativamente utilizado nas simulações em SPH, introduz uma difusão numérica importante, alterando significativamente a altura das ondas: a amplitude das ondas diminui quando o parâmetro do modelo de viscosidade artificial aumenta (Didier & Neves, 2009b).

A equação de conservação de massa discreta no formalismo SPH é dada por:

$$\frac{d\rho_a}{dt} = \sum_b m_b (u_a - u_b) \cdot \nabla_a W_{ab} \quad (6)$$

As partículas movem-se de acordo com a seguinte equação:

$$\frac{dr_a}{dt} = u_a + \varepsilon \sum_b m_b \frac{v_{ab}}{\rho_{ab}} W_{ab} \quad (7)$$

onde $v_{ab} = v_a - v_b$ e $\rho_{ab} = (\rho_a - \rho_b) / 2$. O último termo da equação, incluindo o parâmetro ε , corresponde à correcção XSPH de Monaghan (1994), que garante que as partículas na vizinhança de uma dada partícula se movem com velocidades próximas, evitando que partículas com velocidades diferentes ocupem aproximadamente a mesma posição. O valor tipicamente utilizado do parâmetro ε é de 0.5 (valor por defeito) e é este também o valor usado no programa SPHysics (SPHysics code v1.4, 2009). No entanto, uma análise de sensibilidade do programa SPHysics a este parâmetro, efectuada no âmbito da modelação da propagação e rebentação das ondas (Didier & Neves, 2009b), mostrou que aparecem instabilidades numéricas ao longo do tempo quando é utilizado o valor por defeito do parâmetro ε . As instabilidades, que se traduzem por acumulações locais de partículas que atravessam as fronteiras sólidas,

desaparecem quando a correcção XSPH de Monaghan é anulada, ou seja quando o parâmetro ε é nulo.

É necessário ainda uma última equação, a equação de estado (Batchelor, 1974), que relaciona a pressão no fluido com a massa volúmica e é dada por:

$$P = B \left[\left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^\gamma - 1 \right] \quad (8)$$

onde $\gamma=7$ e $B = c_0^2 \rho_0 / \gamma$, sendo ρ_0 a massa volúmica de referência e c_0 a velocidade do som. Esta equação subentende que o fluido é compressível. Por razões de ordem numérica, o valor de c_0 deve ser suficientemente alto para reduzir as flutuações devidas à massa volúmica e suficientemente baixo para permitir que o modelo corra com um passo de cálculo razoável. Assim, é normalmente considerado no cálculo um valor de velocidade do som consideravelmente menor do que o seu valor real. No modelo SPHysics usa-se a técnica de compressibilidade artificial. Assim, em vez de se resolver uma equação de pressão de Poisson, onde o fluido é considerado incompressível (Koshizuka *et al.*, 1995, Shao & Lo, 2003), a pressão no fluido é calculada através de uma equação de estado (equação 8). Com esta hipótese, a variação de massa volúmica é inferior a 1% (Dalrymple & Rogers, 2006).

2.4 Implementação numérica

Na implementação numérica do modelo, é utilizado o esquema numérico *predictor-corrector*, descrito por Monaghan (1989), para a integração no tempo. O passo de tempo é controlado automaticamente, respeitando as condições propostas por Monaghan & Kos (1999) e depende da condição de Courant, dos termos de difusão viscosa e dos esforços.

A velocidade das partículas é calculada usando a equação discreta de conservação da quantidade de movimento (equação 4), a massa volúmica é definida a partir da equação discreta de continuidade (equação 6) e a posição das partículas é calculada usando a equação 7, sem a correcção XSPH de Monaghan, como foi referido anteriormente. A pressão é calculada a partir da massa volúmica, usando a equação

de estado (equação 8).

Para melhorar a eficiência computacional, o domínio de cálculo é dividido em elementos quadrados de $2b$ de lado, onde b é o *smoothing length* (Monaghan & Latanzio, 1985). Assim, para uma partícula contida num elemento, apenas são consideradas as interacções com as partículas dos elementos vizinhos (8 para o caso bidimensional). A elaboração da lista de conexão entre estes elementos permite reduzir o tempo dedicado à procura das partículas em interacção, o que resulta numa redução considerável do tempo de cálculo.

Quanto às condições de contorno, estas não aparecem de forma natural no formalismo SPH. Quando uma partícula se aproxima da fronteira sólida, nos somatórios apenas intervêm as partículas situadas no interior do meio fluido, sem qualquer tipo de interacção proveniente do exterior. Esta contribuição pode gerar efeitos pouco realistas (Gómez-Gesteira *et al.*, 2004). As diferentes soluções empregues para evitar problemas de contorno consistem na geração de uma série de partículas virtuais que caracterizem os limites do sistema (condição de fronteira dinâmica) ou na determinação de uma força de repulsão nas partículas da fronteira (condição de fronteira repulsiva). Esta última condição é a utilizada nas presentes simulações de propagação de ondas e emprega o mínimo de partículas sólidas necessárias para definir a condição de fronteira sólida do domínio computacional.

Quanto às condições iniciais, as partículas fluidas são colocadas numa determinada posição no espaço, que corresponde às coordenadas espaciais dos nós de uma determinada malha, em geral rectangular e regular. Se se considerar inicialmente o fluido em repouso, a velocidade inicial das partículas é nula e a pressão associada é calculada em função da profundidade (pressão hidrostática). A Figura 2 apresenta uma vista esquemática de um exemplo de distribuição inicial das partículas sólidas e fluidas. Mais detalhes da implementação numérica do modelo podem encontrar-se no Manual do programa SPHysics (Gómez-Gesteira *et al.*, 2009) e em Gómez-Gesteira *et al.* (2010) e Rogers *et al.* (2010).

A geração de ondas é realizada através um batedor flexível que permite impor às partículas um perfil de velocidade variável com a profundidade de acordo com o perfil de velocidade vertical de uma onda

regular, considerando a teoria linear das ondas. No entanto, na sua versão actual, o baterdor não permite absorver dinamicamente as ondas reflectidas.

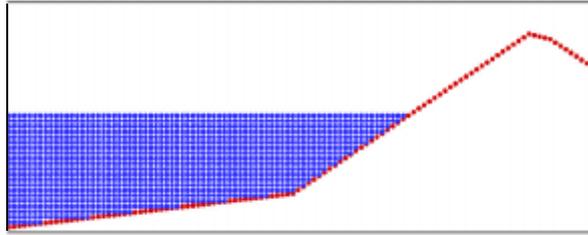


Figura 2 Domínio computacional com a posição das partículas sólidas da fronteira (vermelho) e a distribuição inicial das partículas fluidas (azul).

Figure 2 Computational domain and initial position of solid boundary particles (red) and fluid particles (blue).

3. MODELAÇÃO DA INTERACÇÃO DAS ONDAS COM ESTRUTURAS COSTEIRAS IMPERMEÁVEIS

A modelação numérica da interacção de ondas com estruturas costeiras é um problema de elevada complexidade por causa dos fenómenos complexos, turbulentos e não lineares que ocorrem durante este evento: propagação e transformação da onda na região junto à costa, rebentação, espraçamento, reflexão, interacção entre onda incidente e onda reflectida, formação de estruturas coerentes turbulentas geradas pela rebentação das ondas e galgamento.

A fim de demonstrar as capacidades do modelo SPHysics na modelação de escoamentos complexos com superfície livre, particularmente no que diz respeito a rebentação das ondas e ao galgamento de estrutura, são aqui apresentados os resultados da modelação de dois casos de estruturas de protecção marginal impermeáveis com declives diferentes e para os quais existem dados de ensaios experimentais.

Por fim, apresenta-se um caso de aplicação do modelo SPHysics a uma estrutura de protecção marginal com deflector de ondas.

3.1 Estrutura marginal impermeável com declive 1:3

A estrutura costeira impermeável aqui modelada numericamente para validar o modelo SPHysics, corresponde ao caso ensaiado em modelo físico por

Saville (Kobayashi & Wurjanto, 1989, Shao *et al.*, 2006) em que as ondas se propagam sobre um talude de inclinação constante (1:10) que termina numa estrutura de protecção com uma inclinação de 1:3. Foram modelados quatro dos casos ensaiados, que diferem entre si nos valores da profundidade ao pé da estrutura, d_s , e na cota do coroamento da estrutura acima do nível de água em repouso, R_c . A Figura 3 apresenta o perfil do canal e as notações utilizadas e a Tabela 1 apresenta as respectivas características geométricas das quatro configurações e o número de partículas utilizadas para cada uma. As características das ondas regulares modeladas para as quatro configurações correspondem a um período da onda $T=4.73s$ com uma altura da onda $H=1.0m$. A profundidade do canal é $b=3.0m$. Com estas características o comprimento da onda, L , é de 23.4m.

O estudo de convergência com a densidade inicial de partículas, realizado por Didier & Neves (2009b) para a configuração 1, revelou que uma densidade inicial de partículas correspondente a uma distância de 0.05m entre partículas é suficiente, nesta configuração, para obter resultados praticamente independentes da densidade inicial de partículas. Assim, para esta densidade inicial de partículas, o domínio de cálculo da configuração 1 é constituído de 20618 partículas (ver Tabela 1), sendo as fronteiras constituídas por 863 partículas sólidas. Para as outras três configurações, foi considerado o mesmo critério de densidade inicial de partículas, com distância de 0.05m entre as partículas, embora este valor se possa vir a revelar insuficiente no caso do galgamento ser menor (como se verifica mais adiante para a configuração 2).

O modelo de turbulência utilizado foi o SPS e o kernel o *quadratic*. O passo de tempo médio, dt , foi de $1.3 \times 10^{-4}s$ e a simulação foi realizada para 50.0s.

O baterdor situado à esquerda do canal é animado de um movimento harmónico com uma amplitude de 0.624m e permite gerar uma onda regular de 1.0m de altura.

Para calcular o volume galgado sobre a estrutura, foi colocada uma sonda numérica no início do seu coroamento. O volume galgado é fácil de calcular, pois a cada partícula é associado um volume e uma massa volúmica. A contagem do número de partículas permite assim obter o volume galgado ao longo do

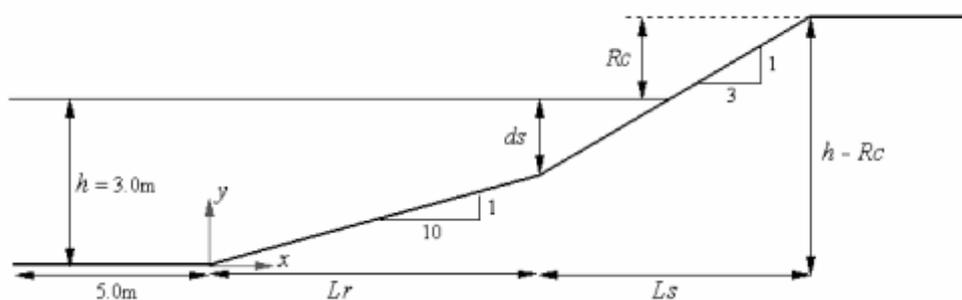


Figura 3 Perfil do fundo e da estrutura costeira e notações.

Figure 3 Bottom and structure profile and notation.

Tabela 1 Características geométricas das quatro configurações modeladas.

Table 1 Geometric characteristics of the four configurations tested.

Caso	ds (m)	Rc (m)	Lr (m)	Ls (m)	Número de Partículas
Configuração 1	0.75	0.50	22.50	3.75	20618
Configuração 2	0.75	1.00	22.50	5.25	20658
Configuração 3	1.50	0.50	15.00	6.00	18113
Configuração 4	1.50	1.00	15.00	7.50	18143

tempo. O galgamento médio é estimado através do volume galgado entre a segunda e sexta onda que atingem a estrutura, isto é, quando a interação entre a onda e a estrutura é relativamente periódica e antes da re-reflexão da onda no bater se tornar excessiva.

A Figura 4 apresenta a evolução do volume galgado ao longo do tempo para as configurações 1 a 4. Como é de esperar, o volume galgado diminui quando a altura do coroamento da estrutura, Rc , aumenta. Assim o volume galgado nas configurações 1 e 3 é superior ao volume galgado nas configurações 2 e 4. Observa-se também que existe uma influência da profundidade ao pé da estrutura, ds no volume galgado. Esta profundidade determina o comprimento do declive da estrutura 1:3, o que se traduz por um acentuar do declive do fundo nas proximidades da estrutura. Assim, para um mesmo Rc , o galgamento aumenta com o aumento de ds . Além disto, a intensidade do galgamento está ligada à energia da onda, ou seja, o galgamento aumenta quando a energia da onda nas proximidades da estrutura aumenta.

A Tabela 2 apresenta o caudal médio galgado adimensional, μ , definido pela relação $Q/(H(gH)^{1/2})$, onde

g é a gravidade, H a altura da onda e Q o caudal médio galgado. Note-se que o coeficiente de variação, μ , onde μ é o desvio padrão médio adimensional por onda, é da ordem de 20%, excepto para a configuração 2 onde é aproximadamente 10%.

Nas configurações 1 e 2 a rebentação é do tipo mergulhante: a crista da onda “dobra-se” e rebenta sobre a estrutura (Figura 5). Nas configurações 3 e 4, a rebentação é do tipo rebentação de fundo: a crista não chega a rebentar mas espraia-se sobre o talude (Figura 6). Como a rebentação de fundo é mais energética que a mergulhante, o galgamento associado é maior, como se observa na Figura 4.

Os resultados do caudal médio galgado obtidos com o modelo SPHysics são comparados com os dados experimentais de Saville (Kobayashi & Wurjanto, 1989, Shao *et al.*, 2006) e com os resultados numéricos de Kobayashi & Wurjanto (1989), Hu *et al.* (2000) e Shao *et al.* (2006). Os dois primeiros autores, Kobayashi & Wurjanto (1989) e Hu *et al.* (2000), utilizam um modelo não linear de águas pouco profundas integrado na vertical. O último autor utiliza um modelo SPH baseado

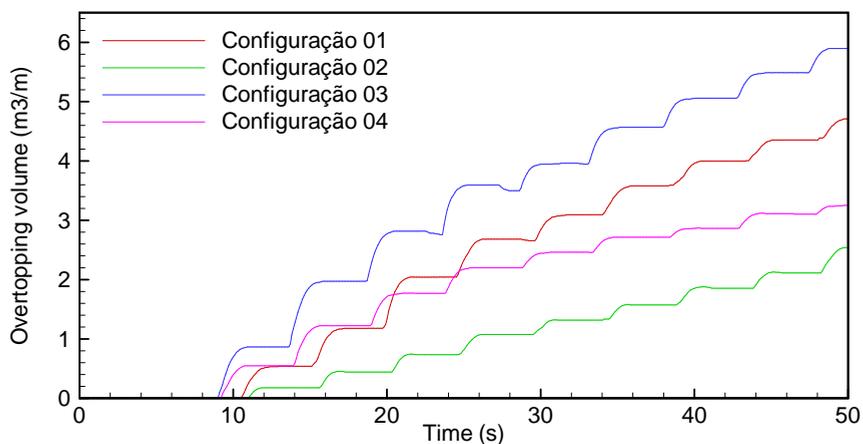


Figura 4 Volume galgado ao longo do tempo para as quatro configurações.

Figure 4 Overtopping volume versus time for the four configurations.

Tabela 2 Caudal médio galgado adimensional, μ , e respectivos desvio padrão, σ , e coeficiente de variação, σ/μ .

Table 2 Dimensionless mean overtopping discharge, μ , standard deviations, σ , and coefficients of variation, σ/μ .

Caso	μ	σ	σ/μ (%)
Configuração 1	61.20	12.30	20.1
Configuração 2	28.80	2.80	9.7
Configuração 3	66.20	13.20	19.9
Configuração 4	38.00	9.40	24.7



Figura 6 Rebentação de fundo: configuração 3 e 4.

Figure 6 Collapsing waves: configuration 3 and 4.



Figura 5 Rebentação mergulhante: configuração 1 e 2.

Figure 5 Plunging waves: configuration 1 and 2.

na formulação incompressível com uma densidade inicial de partículas correspondente a uma distância de 0.1m entre partículas, duas vezes superior à distância entre partículas utilizada nas presentes simulações numéricas. O domínio computacional utilizado tem as mesmas características geométricas que o do presente estudo e é constituído por 5390 partículas.

O caudal médio galgado adimensional obtido para as quatro configurações é apresentado na Figura 7. Os resultados obtidos com o modelo SPHysics apresentam boa concordância com os dados experimentais de Saville para qualquer das configurações simuladas. Para as configurações 1, 3 e 4, o erro relativo aos dados experimentais é inferior a

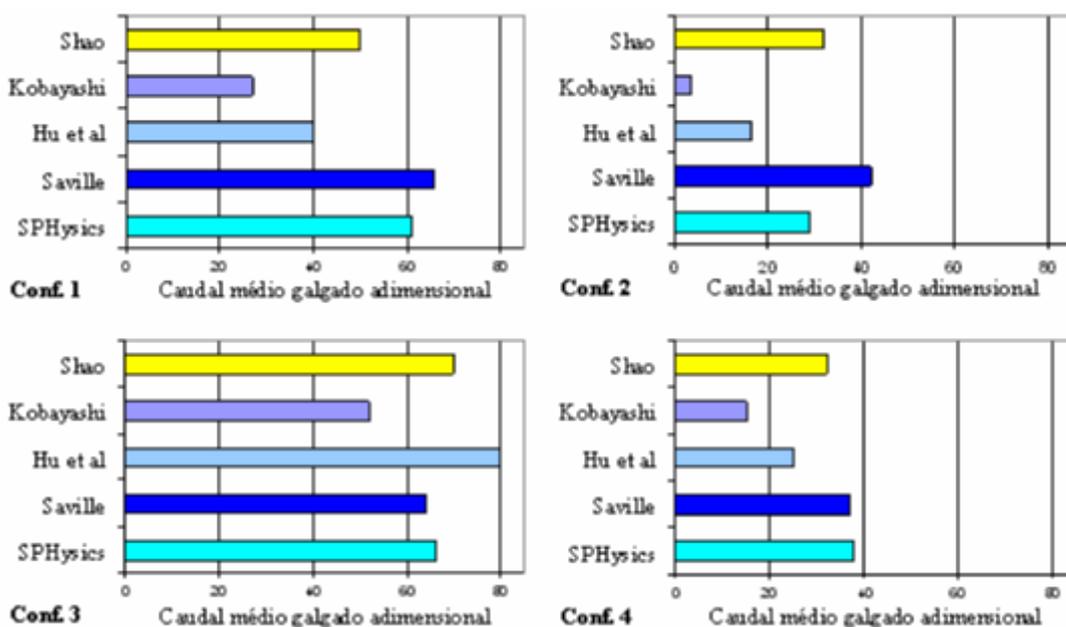


Figura 7 Caudal médio galgado adimensional para as quatro configurações.

Figure 7 Dimensionless mean overtopping discharge for the four configurations.

7%. Para a configuração 2, para a qual o caudal médio galgado é o mais pequeno e a rebentação é mergulhante, o erro atinge 20%, o que se pode dever ao facto do galgamento ser mais sensível à discretização inicial, ou seja, à dimensão das partículas, quando o volume médio galgado é reduzido. Neste caso deve ser considerada uma discretização mais fina, o que implica, em futuras aplicações do modelo SPH, definir cuidadosamente a dimensão inicial máxima das partículas, de modo a obter resultados independentes da discretização mas no mínimo tempo de cálculo possível.

Comparando os resultados dos diferentes modelos numéricos com os dos dados experimentais para a configuração 1, por exemplo, o erro na estimação do volume médio galgado é de 7% para o modelo SPHysics, 24% para o modelo SPH de Shao *et al.* (2006) e de 40% e 60% para os modelos de Kobayashi & Wurjanto (1989) e Hu *et al.* (2000), respectivamente. O modelo SPHysics apresenta, assim, um bom desempenho na estimação do caudal médio galgado, como se comprova ao comparar com os resultados dos outros modelos numéricos.

3.2 Estrutura marginal impermeável com declive 2:3

A estrutura costeira impermeável aqui modelada numericamente para validar o modelo SPHysics, corresponde ao caso ensaiado em modelo físico no LNEC e consiste na propagação de ondas sobre uma praia de inclinação constante de 1:20, que termina numa estrutura de protecção marginal impermeável com um declive 2:3 (Fortes *et al.*, 2008). Estes ensaios foram realizados no âmbito do projecto *Composite Modelling of the Interactions between Beaches and Structures* (CoMIBBs) - HYDRALAB III, para estudar a influência da escala dos ensaios em modelo físico nos resultados da propagação das ondas em estruturas costeiras, particularmente quando a rebentação tem um papel importante. O caso utilizado neste estudo e apresentado a seguir corresponde aos ensaios realizados no canal de maiores dimensões do LNEC, com 3.0m de largura, 73.0m de comprimento e 2.0m de altura. A Figura 8 apresenta a estrutura utilizada nos ensaios em modelo físico e mostra ainda um instante em que ocorre galgamento da estrutura. Os resultados constam das séries de elevação da superfície livre em várias secções do canal, da pressão sobre a estrutura e do galgamento. Tratam-se de ensaios de grande complexidade, onde intervêm um conjunto de



Figura 8 Modelo da estrutura e aspecto do galgamento.

Figure 8 Model structure and aspect of wave overtopping.

fenómenos que alteram significativamente as características da onda, tais como a rebentação e posterior reflexão na estrutura.

A geometria do caso aqui simulado corresponde a uma plataforma horizontal de 35.74 m de comprimento seguida de uma rampa com um declive de 1:20 com um comprimento de 18.675m até ao pé da estrutura marginal impermeável de declive 2:3 (Figura 9). A profundidade junto ao batedor a profundidade é de 1.15 m e junto à estrutura é de 0.216m. O coroamento está localizado a 1.684m do fundo, ou seja, $R_c=0.534m$. As ondas são regulares com um período $T=3.79s$ e uma altura $H=0.40m$, a que corresponde um comprimento de onda, L_s , de cerca de 12.0m.

O domínio de cálculo é formado, à esquerda, por um batedor sem absorção dinâmica de reflexão, que permite gerar uma onda sinusoidal com o perfil de velocidade adequado, variável com a profundidade. Este modo de geração permite modelar uma onda mais similar à onda dos ensaios e que se adapta rapidamente ao fundo. As dimensões adoptadas no modelo numérico são idênticas as dimensões do modelo físico. É de salientar que, embora nos ensaios em modelo físico a plataforma horizontal tem um comprimento de 35.74m e no modelo numérico é de 10.0m, foi verificado que a onda gerada no modelo físico e no modelo numérico, apresentam, no início da rampa, uma altura e uma deformação de superfície similares (Didier & Neves, 2010).

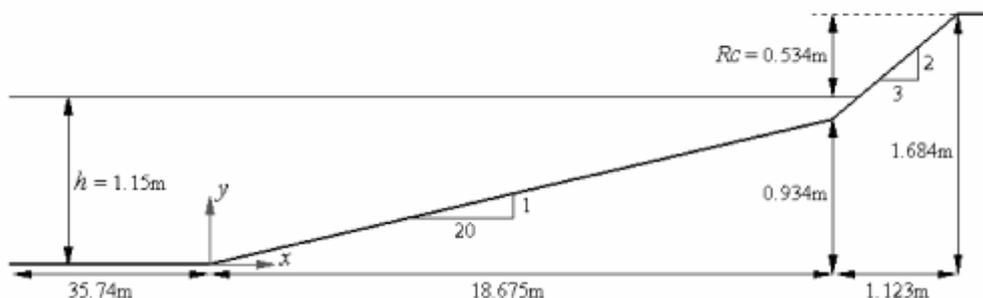


Figura 9 Representação esquemática do canal utilizado nos ensaios em modelo físico e respectivas coordenadas.

Figure 9 Schematic representation of the physical model cross-section and coordinate system.

A discretização adoptada no presente caso corresponde a uma distância entre as partículas de 0.1292m, ou seja, um volume de $1.67 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{m}$ por partícula. A convergência dos resultados de elevação de superfície livre e do caudal médio galgado para esta discretização foi anteriormente verificada (Didier & Neves, 2010). O domínio computacional é assim constituído de 148629 partículas (Figura 10).

O modelo de turbulência utilizado é o SPS, o kernel é o *quadratic* e o esquema de integração no tempo é o esquema *predictor-corrector*, tal como no caso apresentado na secção 2.3. A simulação numérica foi realizada por um tempo total de 60.0s, com um passo de tempo médio, dt , de 5.5×10^{-4} s.

A Figura 11 mostra a série temporal da elevação de superfície livre, h , para as sondas localizados a uma distância de 9.5m, 10.0m, 10.5m e 11.0m do início da rampa calculadas com o modelo SPHysics e resultantes das medições obtidas em modelo físico. Os resultados são apresentados até 31s, que corresponde ao tempo para o qual o efeito da re-reflexão no batedor começa a fazer-se sentir nas séries temporais.

Observa-se uma boa concordância geral entre os resultados numéricos e os ensaios. O período de onda é correctamente modelado, assim como a alteração de altura da onda durante a propagação ao longo da rampa de declive 1:20 (quando a profundidade diminui). As

Tabelas 3 e 4 apresentam uma comparação entre os resultados numéricos e os experimentais da altura e do período da onda. Na tabela 3 são apresentados os erros obtidos numericamente na altura, EH , e no período de onda, ET , para cada uma das quatro sondas e para 6 ondas consecutivas. Como se pode observar, para a altura de onda o erro varia entre 0.2 e 33.5% e para o período entre 0.2 e 6.7%. No entanto, os erros médios são apenas da ordem dos 3% e 8% respectivamente, para o período e para a altura de onda, tal como se pode observar na Tabelas 4. Nesta tabela, apresenta-se ainda o desvio padrão obtido, que foi de 2% e 8% para a altura de onda e o período respectivamente.

As diferenças que se observam em alguns instantes na altura de onda estão provavelmente relacionadas com as diferenças de amplitude que existem, quer na frequência principal, quer nas harmónicas. Na Tabela 5 apresentam-se as amplitudes da frequência principal ($a^{(0)}$) e das três primeiras harmónicas ($a^{(1)}$ a $a^{(3)}$) obtidas nos ensaios e com o modelo e o respectivo erro. Como se pode observar, os maiores erros ocorrem para a terceira harmónica ($a^{(3)}$), a de menor amplitude, excepto para a sonda colocada em $x=10.5$ m, onde o maior erro ocorre para a primeira harmónica ($a^{(1)}$). No entanto, a altura da onda é, em média, semelhante nos resultados de SPHysics e nos ensaios, tal como se observa na análise da Tabela 4.

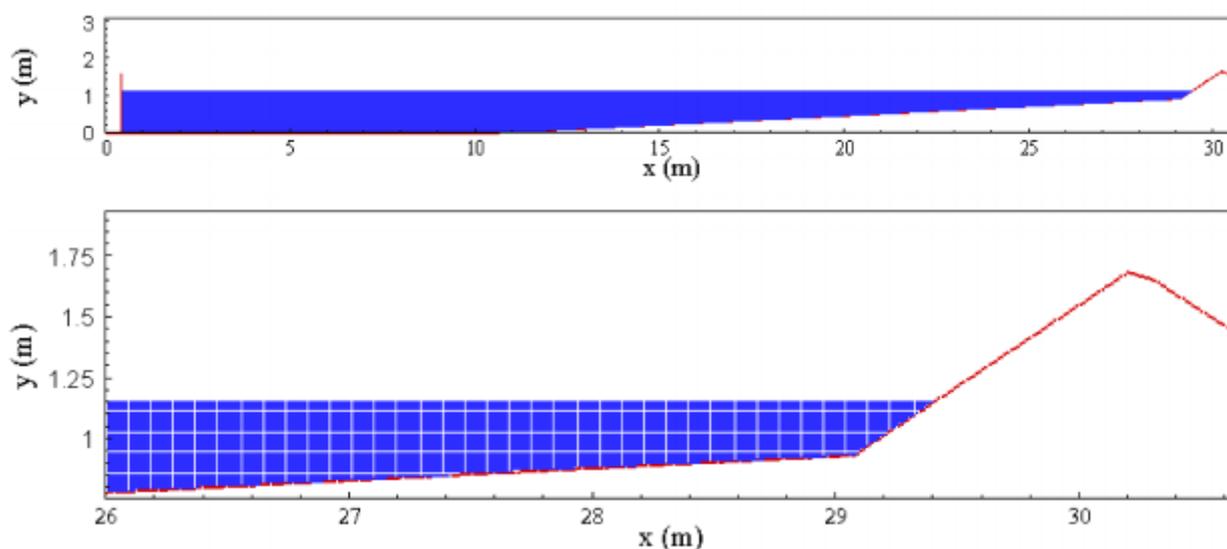


Figura 10 Domínio computacional e detalhes da discretização nas proximidades da estrutura costeira.

Figure 10 Full computational domain and detail of the initial position of the particles near to the coastal structure.

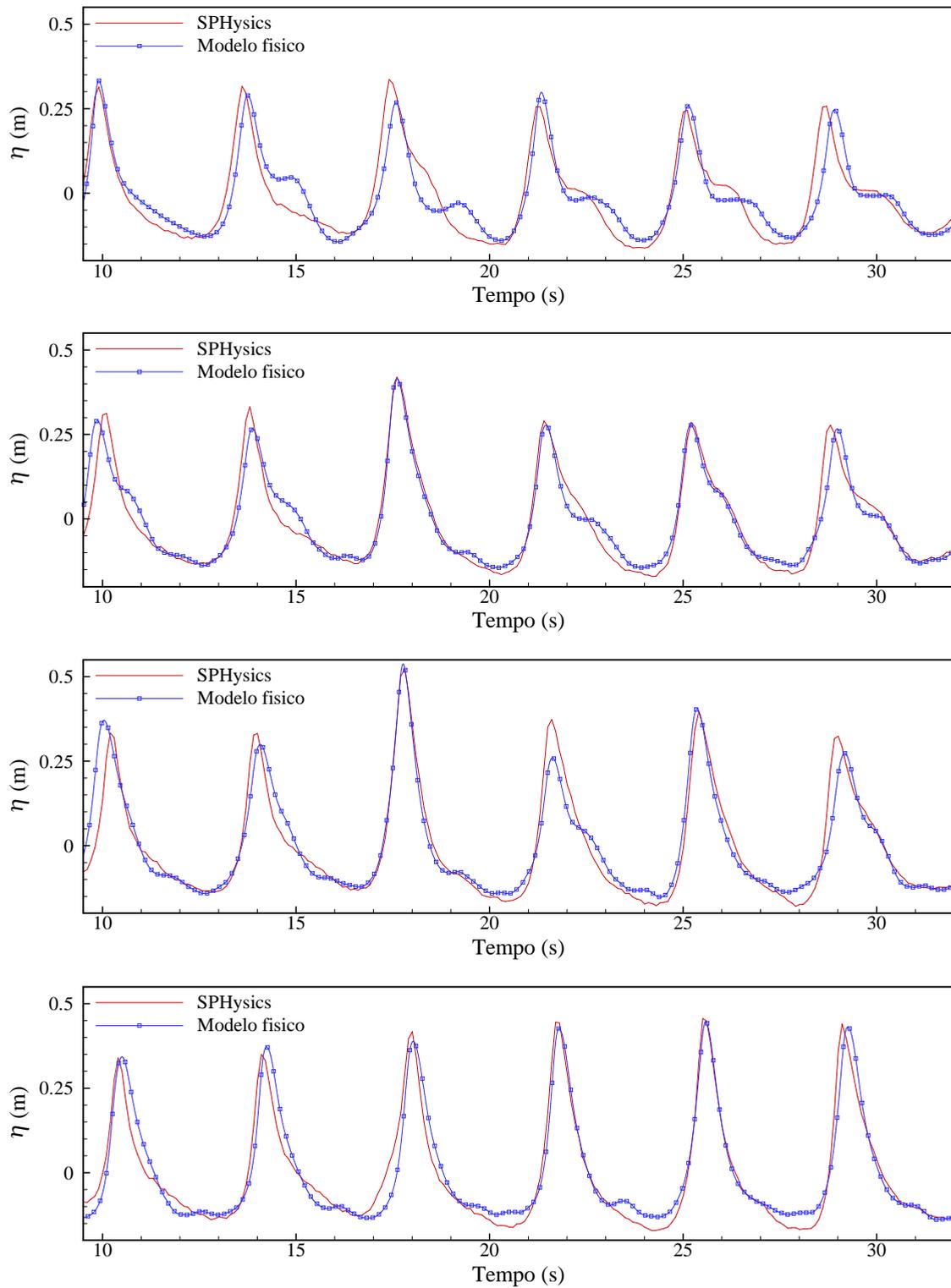


Figura 11 Elevação de superfície livre obtida com o modelo SPHysics e com o modelo físico nas sondas localizadas em $x=9.5m, 10.0m, 10.5m$ e $11.0m$.

Figure 11 Free surface elevation obtained with SPHysics and experimental data for $x=9.5m, 10.0m, 10.5m$ and $11.0m$.

Tabela 3 Diferenças entre o período e a altura de onda experimental e numérico para as quatro sondas e 6 ondas.

Table 3 Analysis of wave period and wave height (experimental and numerical) for the four gauges and 6 waves.

Erro	Sonda	Onda 1	Onda 2	Onda 3	Onda 4	Onda 5	Onda 6
<i>EH</i>	$x=9.5\text{m}$	2.4%	0.5%	19.3%	4.4%	1.4%	1.8%
	$x=10.0\text{m}$	4.0%	19.6%	4.3%	9.0%	7.4%	1.5%
	$x=10.5\text{m}$	8.4%	10.0%	1.1%	33.5%	5.5%	11.8%
	$x=11.0\text{m}$	2.3%	5.9%	12.8%	10.4%	9.1%	0.2%
<i>ET</i>	$x=9.5\text{m}$	1.5%	0.2%	2.0%	1.1%	5.1%	4.1%
	$x=10.0\text{m}$	6.6%	0.9%	0.6%	1.5%	3.3%	5.8%
	$x=10.5\text{m}$	6.7%	1.3%	1.6%	3.1%	4.7%	6.4%
	$x=11.0\text{m}$	0.3%	5.2%	5.9%	2.4%	1.6%	2.5%

Tabela 4 Diferenças entre o período e a altura de onda experimental e numérico e respectivo erro médio e desvio padrão.

Table 4 Analysis of wave period and wave height (experimental and numerical).

	Erro médio	Desvio padrão
<i>H</i>	7.78	7.71
<i>T</i>	3.11	2.17

Tabela 5 Amplitude da frequência principal e das primeiras harmónicas (experimental e numérico) nas quatro sondas.

Table 5 Wave amplitude for the main frequency and first harmonics (experimental and numerical) for the four gauges.

x (m)	Experimental				Numérico				Erro (%)			
	$a^{(0)}$ (m)	$a^{(1)}$ (m)	$a^{(2)}$ (m)	$a^{(3)}$ (m)	$a^{(0)}$ (m)	$a^{(1)}$ (m)	$a^{(2)}$ (m)	$a^{(3)}$ (m)	$Ea^{(0)}$	$Ea^{(1)}$	$Ea^{(2)}$	$Ea^{(3)}$
9.5	0.127	0.076	0.046	0.026	0.148	0.065	0.042	0.019	16.8	15.2	9.5	24.7
10.0	0.158	0.066	0.041	0.025	0.169	0.072	0.040	0.021	7.6	9.6	1.8	15.9
10.5	0.178	0.011	0.043	0.026	0.187	0.014	0.046	0.024	5.5	22.9	7.5	6.1
11.0	0.186	0.106	0.052	0.032	0.188	0.097	0.051	0.027	0.9	8.2	1.9	14.9

Tabela 6 Comparação do caudal médio galgado obtido com o modelo físico e com o modelo SPHysics.

Tabela 6 Mean overtopping discharge obtained for the physical model tests and with SPHysics.

	Ensaios					SPHysics						
	1	2	3	4	5	Min	Max	μ	σ	σ/μ (%)	μ	Erro (%)
Caudal $10^{-3} \text{ m}^3/\text{s/m}$	1.2	1.1	1.2	1	0.9	0.89	1.24	1.1	0.1	12.8	1.10	2.8

O caudal médio galgado por metro linear de estrutura é calculado através do volume galgado entre a segunda e sétima onda que atingem a estrutura, antes da re-reflexão das ondas no batedor. O modelo SPH não permite modelar muitas ondas devido ao tempo de cálculo, que se torna rapidamente proibitivo, e ao facto de o batedor utilizado não permitir absorver dinamicamente as ondas reflectidas pela estrutura, o que pode induzir uma alteração significativa na intensidade do galgamento.

Na Tabela 6 apresentam-se os resultados de caudal médio galgado obtidos nos ensaios em modelo físico e os resultados numéricos. É apresentado o caudal médio galgado obtido no modelo físico para cinco repetições do mesmo ensaio, assim como os respectivos valores mínimo e máximo, médio, μ , desvio padrão, σ , e coeficiente de variação, σ/μ . Verifica-se uma muito boa concordância entre o caudal médio galgado obtido com o modelo SPHysics e a média do caudal médio galgado obtido em modelo físico, com um erro de apenas 2.8%.

Finalmente, a Figura 12 apresenta a posição das partículas para vários instantes de simulação e ilustra os diferentes fenómenos que ocorrem no presente caso de interacção entre uma onda regular e uma estrutura costeira impermeável. É possível identificar os seguintes fenómenos: propagação da onda (a), *run-up* (b), *run-down*, reflexão e rebentação da onda (c), galgamento da estrutura (d) e *splash* intenso resultando da interacção entre a onda incidente e reflectida (e).

3.3 Estrutura costeira com deflector de ondas

A estrutura com deflector de ondas aqui modelada corresponde a uma estrutura frequentemente utilizada em infra-estruturas costeiras. A interacção entre onda e estrutura dá-se de forma violenta, onde o jacto de retorno no deflector e a rebentação são os dois fenómenos dominantes. Este caso permite ilustrar as

potencialidades do modelo para casos de interacção onda-estrutura de elevada complexidade.

O domínio de simulação é constituído por um batedor, situado numa zona horizontal com uma profundidade de 6.0m localizada à esquerda, seguida de uma rampa de 21.0m com um declive de 1:3. No final da rampa, na extremidade direita do domínio, que se encontra 1.0m acima da superfície livre em repouso, é colocada uma estrutura costeira com um deflector de ondas de 1.0m de altura e de forma semicircular. A Figura 13 apresenta a representação esquemática do canal e do deflector de onda.

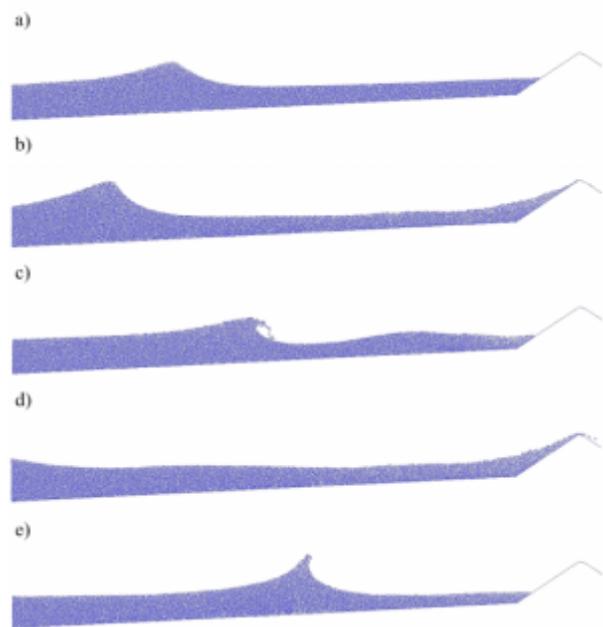


Figura 12 Posição das partículas em vários instantes na proximidade da estrutura.

Figure 12 Particle positions in different simulation time near the structure.

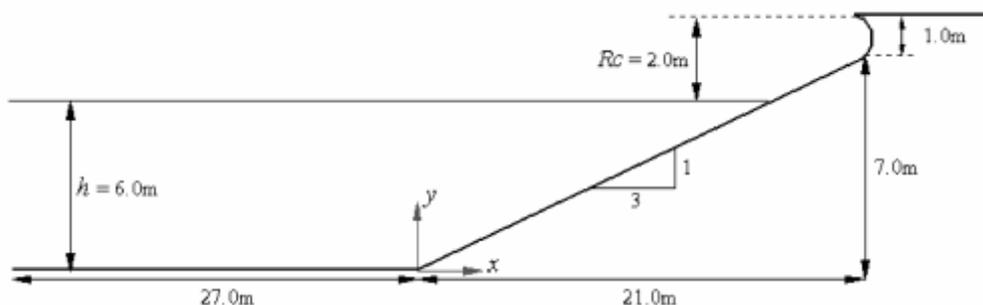


Figura 13 Representação esquemática do canal e do deflector de onda.
 Figure 13 Schematic representation of the arc-crown wall.

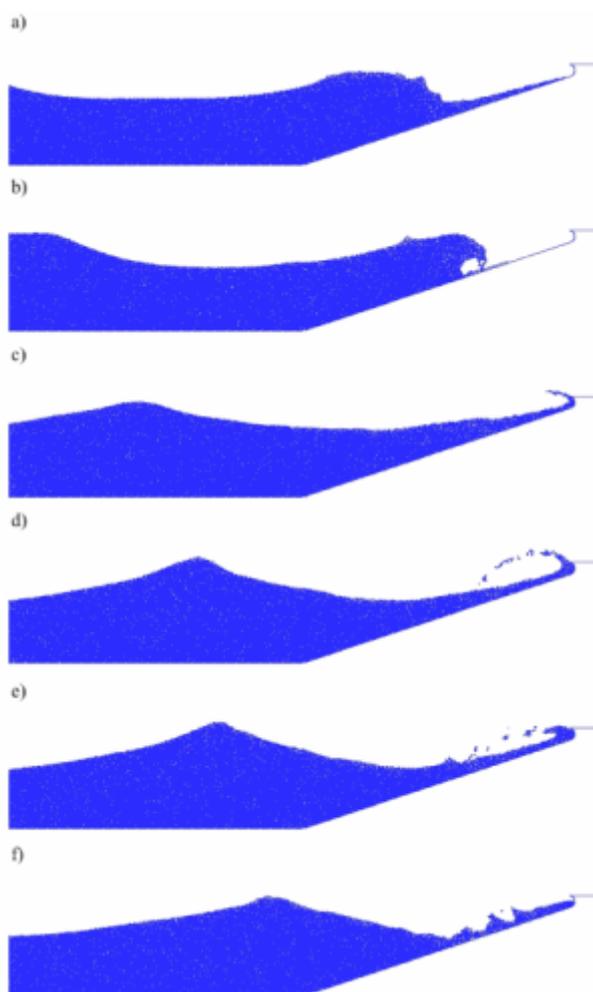


Figura 14 Posição das partículas na interação entre uma onda sinusoidal e uma estrutura com deflector de ondas num período de tempo.

Figure 14 Particle positions in the interaction between a sinusoidal wave and a arc-crown wall in one period of time.

A discretização adoptada no presente caso corresponde a uma distância inicial entre as partículas de 0.06m. O domínio computacional é assim constituído de 59191 partículas.

No modelo numérico são utilizados o kernel *quadratic*, o esquema numérico de integração no tempo *predictor-corrector* e o modelo de viscosidade SPS, tal como nos casos apresentados nas secções anteriores.

A simulação numérica foi realizada por um tempo total de 35.0s, com um passo de tempo médio, Δt , de 1.1×10^{-4} s.

A Figura 14 apresenta, para vários instantes ao longo de um período, a posição das partículas de água para o caso de uma onda sinusoidal de período $T=5.2$ s e de altura $H=3.5$ m, a que corresponde um comprimento de onda de cerca de 34.0m.

Na Figura 14 observa-se como o modelo consegue reproduzir uma sequência de vários fenómenos que ocorrem na interacção entre a onda incidente e a onda reflectida pela estrutura deflector de onda: a onda interage com uma lâmina de água que desce o plano inclinado (*run-down*) (a) e rebenta sobre o plano inclinado (b); a lâmina de água produzida pelo impacto da rebentação sobe o declive (*run-up*) (c) e o impacto da lâmina com o deflector semicircular de ondas gera um jacto de água intenso na direcção oposta à propagação da onda (d); este jacto de água, sob o efeito da gravidade, entra em contacto violento com a superfície livre, intensificando o *run-down* e gerando jactos locais de água (e) e (f).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como todos os modelos numéricos, os baseados no método SPH apresentam vantagens e limitações ligadas

não só ao método numérico mas também à formulação das equações SPH.

As principais vantagens da técnica SPH, ligadas à sua natureza Lagrangiana, são as seguintes:

- É fácil manter a conservação da massa, pois a massa está directamente ligada às partículas.
- O método, devido à sua formulação, não necessita de uma malha, o que permite considerar geometrias muito complexas, já que a geração da malha é sempre uma parte delicada dos métodos Eulerianos.
- Os gradientes são obtidos directamente a partir da derivação do kernel. Não há necessidade duma malha para definir os gradientes.
- É fácil incluir fronteiras e objectos móveis e deformáveis. Por exemplo, uma parede fixa é constituída de partículas fixas, um batedor do tipo pistão é representado por partículas animadas da mesma velocidade de translação.
- Apresenta um grande potencial na modelação de escoamentos onde ocorrem deformações importantes e complexas da superfície livre. Esta capacidade está ligada ao método numérico, que permite modelar a superfície livre sem impor condições de fronteira particulares ou realizar tratamentos especiais. Não é o caso dos métodos de seguimento de superfície livre onde a superfície livre é uma fronteira do domínio computacional que necessita condições especiais nem dos métodos de captura de superfície livre baseados na técnica VOF que necessitam a introdução de uma equação de transporte para a fracção de volume (escalar que indica os respectivos fluidos, água e ar)

- Permite ainda simular a penetração dum objecto no fluido como o deslizamento duma massa sólida na albufera de uma barragem.
- O método não necessita de calibração quando são utilizados os modelos de viscosidade laminar (Morris *et al.*, 1997) ou de viscosidade laminar em conjunto com o modelo de turbulência de *Sub-Particles Scale* (derivado dos modelos de Large Eddy Simulation) (Gotoh *et al.*, 2001, Rogers & Dalrymple, 2004).

As limitações ou dificuldades mais importantes da técnica SPH são expostas a seguir:

- As condições de fronteira são normalmente difíceis de implementar. Um problema típico é a penetração das partículas fluidas nos contornos sólidos.
- As regiões de baixa densidade de partículas induzem resoluções baixas. Para conservar uma melhor resolução, o suporte do kernel pode ser adaptado automaticamente, conservando um número de partículas constante, mas esta operação contribui para um aumento do tempo de cálculo.
- A dimensão do domínio de cálculo que pode ser modelada é reduzida. Na sua formulação teórica, o método SPH permite resolver os problemas típicos da hidrodinâmica marítima. No entanto, o modelo não é apropriado para modelar a propagação das ondas em domínios de grandes dimensões pois o tempo de cálculo torna-se totalmente proibitivo. Assim, o modelo SPH destina-se a modelações de fenómenos locais tais como a rebentação das ondas numa praia ou a interacção entre uma onda e uma estrutura.

Tabela 7 Tempo de CPU por período de onda para os três casos de estruturas marítimas apresentadas (3.1 a 3.3).

Table 7 CPU time per wave period for the three numerical simulations of coastal structures presented before (3.1 to 3.3).

Caso	T (s)	d_0 (m)	Tempo de CPU (h)	Δt (s)	Número de partículas
3.1	4.73	0.05	0.7	1.30×10^{-4}	20653
3.2	3.79	0.01292	22	5.50×10^{-5}	1448529
3.3	5.20	0.06	2.8	1.25×10^{-4}	59191

- A pressão é derivada dum equação de estado para fluidos quase incompressíveis. É uma opção clássica em dinâmica dos fluidos computacional que induz limitações ao nível do passo de tempo de cálculo.
- O passo de tempo necessário, que deve ser muito pequeno (devido à hipótese de fluido compressível e à formulação numérica explícita), leva a que o tempo de cálculo aumente rapidamente com o aumento do número de partículas. A título de exemplo, apresenta-se na Tabela 7, o tempo de CPU necessário para simular um período de onda para os casos apresentadas anteriormente nos pontos 3.1 a 3.3 num computador Intel Core2 Duo E8500 3.16GHz.

Como se pode observar na Tabela 7, o tempo de cálculo torna-se muito elevado quando se aumenta consideravelmente o número de partículas. No entanto, a precisão dos resultados mostra que o modelo é uma ferramenta promissora para estudos de interacção onda-estrutura.

6. CONCLUSÕES

No presente artigo é apresentado um modelo numérico, SPHysics, baseado num método Lagrangiano e no conceito *Smoothed Particle Hydrodynamics* (SPH). São apresentadas as principais características do método SPH, o Kernel de interpolação, as equações no formalismo SPH e ainda o modelo numérico SPHysics.

Para verificar e validar a aplicabilidade do modelo a estudos de engenharia costeira, foi realizado um importante trabalho de estudo de convergência e de análise de sensibilidade do modelo aos vários parâmetros, tais como a dimensão das partículas, o modelo de viscosidade utilizado, as correcções XSPH. Para ilustrar o trabalho realizado até ao momento, o presente artigo apresenta duas aplicações do modelo SPHysics, no âmbito do estudo da interacção entre ondas e estruturas costeiras impermeáveis. Nestas aplicações, o modelo SPHysics revelou a capacidade de modelar fenómenos complexos, tais como a rebentação, a reflexão, a interacção entre onda incidente e reflectida, e mais particularmente, o galgamento. A modelação deste último fenómeno é

especialmente difícil pois depende da correcta modelação de todos os outros fenómenos que ocorrem até ao galgamento da estrutura. A comparação dos resultados numéricos obtidos com o modelo SPHysics com dados de vários ensaios em modelo físico, quer de elevação de superfície livre, quer de caudal médio galgado, mostrou que o modelo permite obter resultados consistentes e em concordância com os dos ensaios.

Apresenta-se ainda a modelação de uma estrutura costeira com deflector de onda. Para este caso, embora não se disponha de dados experimentais para avaliar a qualidade dos resultados numéricos, verificou-se que o modelo SPHysics permite modelar, sem dificuldade e com realismo, o escoamento muito complexo que inclui não só a rebentação da onda mas também da acção do deflector de ondas e a forte interacção que ocorre entre o jacto de água induzido pelo deflector e a própria onda na fase de *run-down*.

Embora se tenha demonstrado a potencialidade e aplicabilidade do modelo SPHysics em casos de estudo de engenharia costeira com o objectivo de se dispor no futuro dum ferramenta numérica potente para concepção, optimização e análise de estrutura marítimas, é ainda necessário implementar numerosos desenvolvimentos ao modelo que incluem, entre outros, o acoplamento entre o modelo SPHysics e um modelo de propagação de ondas, a modelação de meios porosos e a paralelização do código para reduzir o tempo CPU de cálculo.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece à FCT o financiamento da bolsa SFRH/BPD/37901/2007. Os autores agradecem ainda ao Projecto de Investigação Programada do LNEC, “Comportamento de Estruturas Marítimas” e ao projecto HYDRALAB III, projecto inserido no Research Infrastructures Program of FP6, Contracto N. 022441, pela permissão dada para a utilização dos dados experimentais.

BIBLIOGRAFIA

- Batchelor, G.K. (1974) – *An Introduction to Fluid Dynamics*. 635 p., Cambridge University Press, UK. ISBN-13:9780521663960.
- Chen, Q., Kirby, J.T., Dalrymple, R.A., Kennedy, B.A. & Chawla, A. (2000) - Boussinesq modeling of wave transformation, breaking, and runup. II: 2D. *Journal of Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 126(1):48–56, ASTM - American Society of Civil Engineering. ISSN: 0733-950X Disponível em <http://users.coastal.ufl.edu/~kennedy/eoc6934/boussinesq/papers/part2.pdf>.
- Clément, A.H. (1996) - Coupling of two absorbing boundary conditions for 2D time-domain simulations of free surface gravity waves. *Journal of Computational Physics*, 126:139-151. <http://dx.doi.org/10.1006/jcph.1996.0126>
- Crespo, A.J.C. (2008) - *Application of the Smoothed Particle Hydrodynamics model SPHysics to free-surface hydrodynamics*. 158p., Dissertação de doutoramento, Universidade de Vigo, Vigo, Espanha.
- Crespo, A.J.C.; Gómez-Gesteira, M.; Dalrymple, R.A. (2008) - Modeling dam break behavior over a wet bed by a SPH technique. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 134(6):313-320. http://dx.doi.org/10.1061/_ASCE_0733-950X_2008_134_6_313
- Dalrymple, R.A. & Rogers, B.D. (2006) - Numerical modeling of water waves with the SPH method. *Coastal Engineering*, 53(2-3):141-147. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coastaleng.2005.10.004>
- Didier, E. (2007) – Simulação numérica de escoamentos com superfície livre. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, 11(3):3-18. ISSN: 1137-2729
- Didier, E. & Neves, M.G. (2008) - Estudo da interação onda-estrutura utilizando um modelo numérico Lagrangiano. *Revista Recursos Hídricos*, 29(2):15-26, Lisboa, Portugal. ISSN: 0870-1741.
- Didier, E. & Neves, M.G. (2009a) - Wave overtopping of a typical coastal structure of the Portuguese coast using a SPH model. *Journal of Coastal Research*, SI 56: 496-500. Disponível em http://e-geo.fcsh.unl.pt/ICS2009/_docs/ICS2009_Volume_I/496.500_E.Didier_ICS2009.pdf
- Didier, E. & Neves, M.G. (2009b) - Coastal flow simulation using SPH: Wave overtopping on an impermeable coastal structure. *Proceedings 4th International SPHERIC workshop*, 357-364, Nantes, França.
- Didier, E. & Neves, M.G. (2010) - A Lagrangian Smoothed Particles Hydrodynamics – SPH method for modelling waves-coastal structure interaction. *Proceedings CFD2010 ECCOMAS*, CD-Rom, Lisboa, Portugal. Disponível em http://web.univ-ubs.fr/limatb/EG2M/Disc_Seminaire/ECCOMAS-CFD2010/papers/01627.pdf
- Fortes, C.J., Neves, M.G., Santos, J.A., Capitão, R., Palha, A., Lemos, R., Pinheiro, L. & Sousa, I. (2008) - A methodology for the analysis of physical model scale effects on the simulation of wave propagation up to wave breaking. Preliminary physical model results. *Proceedings OMAE2008*, 4:571-578, Estoril, Portugal. ISBN: 0791838218.
- Gingold, R.A. & Monaghan, J.J. (1977) - Smoothed particle hydrodynamics: theory and application to non-spherical stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 181:375-389. ISSN: 1365-2966
- Gómez-Gesteira, M., Dalrymple, R. A., Crespo, A.J.C. & Cerqueiro D. (2004) - Uso de la técnica SPH para el estudio de la interacción entre olas y estructuras. *Ingeniería del Agua*, 11(2): 147-170. ISSN: 1134-2196.
- Gómez-Gesteira, M., Rogers, B.D., Dalrymple, R.A., Crespo, A.J.C. & Narayanaswamy, M. (2009) - *User Guide for the SPHysics Code v1.4*. <http://wiki.manchester.ac.uk/sphysics>.
- Gómez-Gesteira, M., Rogers, B.D., Dalrymple, R.A. & Crespo, A.J.C. (2010) - State-of-the-art of classical SPH for free-surface flows. *Journal of Hydraulic Research*, 48 Extra Issue: 6–27. <http://dx.doi.org/10.3826/jhr.2010.0012>
- Gotoh, H., Shibahara, T. & Sakai, T. (2001) - Sub-particle-scale turbulence model for the MPS method-Lagrangian flow model for hydraulic engineering. *Computational Fluid Dynamics Journal*, 9(4):339-347.
- Hirt, C.W. & Nichols, B.D. (1981) - Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. *Journal of Computational Physics*, 39(1):201-225. [http://dx.doi.org/10.1016/0021-9991\(81\)90145-5](http://dx.doi.org/10.1016/0021-9991(81)90145-5)
- Hu, K., Mingham, C.G. & Causon, D.M. (2000) - Numerical simulation of wave overtopping of coastal structures using non-linear shallow water equations. *Coastal Engineering*, 41:433-465. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-3839\(00\)00040-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-3839(00)00040-5)

- Johnson, G., Stryk, R. & Beissel, S. (1996) - SPH for high velocity impact calculations. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 139(1-4):347-373. [http://dx.doi.org/10.1016/S0045-7825\(96\)01089-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0045-7825(96)01089-4)
- Kirby, J.T., Wei, G., Chen, Q., Kennedy, A. B. & Dalrymple, R. A. (1998) - *FUNWAVE 1.0 – Fully Nonlinear Boussinesq Wave Model Documentation and User's Manual*. 80p., Research Report No.CACR-98-06, Center for Applied Coastal Research, University of Delaware, Newark, DE, U.S.A. Disponível em: <http://chinacat.coastal.udel.edu/papers/cacr-98-06.ps>
- Kobayashi, N. & Wurjanto A. (1989) - Wave overtopping on coastal structures. *Journal of Waterways, Ports, Coastal and Ocean Engineering*, 115(2):235-251, ASTM - American Society of Civil Engineering. ISSN: 0733-950X
- Koshizuka, S., Tamako, H. & Oka, Y. (1995) - A particle method for incompressible viscous flow with fluid fragmentation. *Computational Fluid Dynamics Journal*, 4(1): 29-46.
- Lara, J.L., Garcia, N. & Losada, I.J. (2006) - RANS modelling applied to random wave interaction with submerged permeable structures. *Coastal Engineering*, 53(5-6):395-417. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coastaleng.2005.11.003>
- Liu, G.R. (2003) - *Mesh free methods. Moving beyond the finite element method*. 685 p., CRC press, Danvers, MA, USA. (ISBN 0-8493-1238-8).
- Lucy, L.B. (1977) - A numerical approach to the testing of the fission hypothesis. *Astronomical Journal*, 82(12):1013-1024. <http://dx.doi.org/10.1086/112164>
- Lynett, P. & Liu, P.L.-F. (2004) – *Modelling wave generation, evolution and interaction with Depth-Integrated, Dispersive Wave equations*. COULWAVE Code Manual. Cornell University Long and Intermediate Wave Modeling Package. 179 p., Cornell University, Ithaca, NY, U.S.A. https://ceprofs.civil.tamu.edu/plynett/COULWAVE/COULWAVE_manual.pdf
- Monaghan, J.J. & Latanzio, J.C. (1985) - A refined method for astrophysical problems. *Astronomy and Astrophysics*, 149(1):135-143. ISSN: 0004-6361.
- Monaghan, J.J. (1989) - On the problem of penetration in particle methods. *Journal Computational Physics*, 82:1-15. [http://dx.doi.org/10.1016/0021-9991\(89\)90032-6](http://dx.doi.org/10.1016/0021-9991(89)90032-6)
- Monaghan, J.J. (1992) - Smoothed Particle Hydrodynamics. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 30:543-574.
- Monaghan, J.J. (1994) - Simulating free surface flows with SPH. *Journal of Computational Physics*, 110:399-406. <http://dx.doi.org/10.1006/jcph.1994.1034>
- Monaghan, J.J. & Kos, A. (1999) - Solitary waves on a Cretan beach. *Journal of Waterways, Ports, Coastal and Ocean Engineering*, 125(3):145-154. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(1999\)125:3\(145\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(1999)125:3(145))
- Monaghan, J.J. (2005) - Smoothed particle hydrodynamics, *Reports on Progress in Physics*, 68:1703–1759. <http://dx.doi.org/10.1088/0034-4885/68/8/R01>
- Morris, J.P., Fox, P.J. & Zhu, Y. (1997) - Modeling low Reynolds number incompressible flows using SPH. *Journal of Computational Physics*, 136:214-226. <http://dx.doi.org/10.1006/jcph.1997.5776>
- Neves, M.G., Reis M.T., Losada, I. & Hu, K. (2008) - Wave overtopping of Póvoa de Varzim breakwater: physical and numerical simulations. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 134(4):226-236, ASTM - American Society of Civil Engineering. ISSN: 0733-950X
- Rogers, B.D. & Dalrymple, R.A. (2004) - SPH modeling of breaking waves. *Proceedings 29th Int. Conference on Coastal Engineering*, 415-427, World Scientific Press, Lisboa, Portugal.
- Rogers, B.D., Dalrymple, R.A. & Stansby, P.K. (2010) Simulation of caisson breakwater movement using 2-D SPH. *Journal of Hydraulic Research*, 48 Extra Issue:135–141. <http://dx.doi.org/10.3826/jhr.2010.0013>
- Shao, S.D. & Edmond, Y.M.L. (2003) - Incompressible SPH method for simulating Newtonian and non-Newtonian flows with a free surface. *Advances in Water Resources*, 26(7):787-800. [http://dx.doi.org/10.1016/S0309-1708\(03\)00030-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0309-1708(03)00030-7)
- Shao, S.D., Ji, C., Graham, D.I., Reeve, D.E., James, P. W. & Chadwick, A.J. (2006) - Simulation of wave overtopping by an incompressible SPH model. *Coastal Engineering*, 53(9):723-735. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coastaleng.2006.02.005>
- Teixeira, P.R.F. (2001) - *Simulação numérica da interação de escoamentos tridimensionais de fluidos compressíveis e incompressíveis e estruturas deformáveis usando o método de elementos finitos*. 237p., Dissertação de doutoramento, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil



A Contribuição do Escoamento Superficial e da Drenagem de Águas Pluviais para os Processos Erosivos no Litoral de Olinda, Pernambuco, Brasil *

The Contribution of the Surface Runoff and the Pluvial Water Draining for the Erosive Processes in the Coast of Olinda, Pernambuco, Brasil

Luis A. de Gois @,¹, Niédja M. G. A. e Oliveira²

RESUMO

A instalação e o agravamento de processos erosivos costeiros em razão do escoamento das águas superficiais e do direcionamento das redes de drenagem das águas pluviais para as faixas de praia têm se tornado um problema comum ao longo da costa brasileira e, com isto, se constituindo em mais um objeto de preocupação para o gerenciamento costeiro, principalmente, por se originar, essencialmente, em decorrência da interferência humana nos espaços costeiros. Em Olinda, uma cidade costeira predominantemente tomada por processos erosivos marinhos, naturais ou induzidos, este cenário não difere do restante do litoral brasileiro, e a cidade também tem se deparado ao longo de seu litoral com a erosão de suas praias motivadas pelo escoamento das águas superficiais e pelo deságue da rede de drenagem de águas pluviais. O crescimento populacional e a conseqüente expansão da urbanização, de forma desordenada, impôs a ocupação e a impermeabilização inadequada do ambiente praial, canalizando e intensificando o escoamento destas águas para as praias e provocando severas alterações neste ambiente de enorme fragilidade, inclusive com o risco de comprometimento da balneabilidade devido à presença de ligações clandestinas de esgotos. Não obstante aos intensos distúrbios provocados por estes lançamentos, o despejo destas águas vem barrando um fenômeno natural e espontâneo de deposição sedimentar que está ocorrendo na Praia de Bairro Novo. Nesse sentido, este estudo se propõe, a partir de um trabalho de monitoramento, desenvolvido no período de 2004 a 2010, a revelar os distúrbios e alterações promovidas por este tipo de erosão nas praias do Carmo e de Bairro Novo, em recorte do litoral olindense, bem como, sugerir medidas de correção, ou de mitigação, dos impactos advindos deste processo erosivo.

Palavras-Chave: processos erosivos, erosão pluvial, litoral de Olinda

@ Autor correspondente: luis.de.gois@uol.com.br

1 ITEP – Instituto Tecnológico de Pernambuco, Av. Prof. Luiz Freire, 700. Cidade Universitária, Recife, PE, Brasil. CEP. 50.740-540.

2 UPE – Universidade de Pernambuco, Av. Agamenon Magalhães, s/n - Santo Amaro, Recife, PE, Brasil. CEP. 50.100-010; ITEP – Instituto Tecnológico de Pernambuco, Av. Prof. Luiz Freire, 700. Cidade Universitária, Recife, PE, Brasil. CEP. 50.740-540.

* Submissão – 13 Julho 2010; Avaliação – 24 Agosto 2010; Recepção da versão revista – 17 Novembro 2010; Disponibilização on-line – 12 Janeiro 2011

ABSTRACT

The installation and the aggravation of coastal erosive processes in reason of the draining of superficial waters and the aiming of the nets of draining of pluvial waters for the beach bands if have become a common problem throughout Brazilian coast and, with this, if constituting in plus an object of concern for the coastal management, mainly, for if originating, essentially, as a result of human interference on coastal areas. In Olinda, a coastal city predominantly taken by marine erosion, natural or induced, this scenario does not differ from the rest of the Brazilian coast, and the city also has encountered along its coastline through erosion of beaches motivated by the flow of surface water and the outflow of the drainage system of rainwater. Population growth and the consequent expansion of urbanization, disorderly, ordered the occupation and inadequate sealing of the beach environment, channeling and enhancing the flow of that water to the beaches and causing severe changes in this environment of acute vulnerability, including the risk of compromising the bathing due to the presence of illegal connections to sewers. Not obstante to the intense riots provoked for these launchings, the ousting of these waters comes barring a natural and spontaneous phenomenon of deposition sedimentary that is occurring in the Beach of Bairro Novo. Thus, this study proposes, from a monitoring work, conducted during the period 2004 to 2010, reveal the disturbances and the amendments introduced by this type of erosion on the beaches of Carmo and Bairro Novo, Olinda littoral Cutout and suggest corrective measures, or mitigation of impacts resulting from this erosion process.

Keywords: erosion, rain erosion, coast of Olinda

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos tempos, o litoral tem se constituído em uma zona de intensa atratividade para a ocupação humana. A enorme variedade de opções de uso faz com que a região costeira se torne uma relevante fonte sócio-econômica. Atualmente, segundo dados do SEDAC (*Socioeconomic Data and Applications Center – Columbia University*) cerca de 40% da população mundial vive a menos de 100 km da costa. Sua riqueza biológica associada às características e aspectos ambientais próprios forma uma enorme diversidade de ecossistemas tornando-se de grande valor ecológico, ambiental e, conseqüentemente, turístico. O somatório desses atrativos, entre outros fatores, tem contribuído para que a erosão costeira tenha se constituído em um problema que vem despertando o interesse em todo o mundo e, em específico, da comunidade científica. O desaparecimento das praias, e o conseqüente recuo da linha de costa, tornaram-se um dos principais objetos de estudo relacionados com a degradação ambiental, além de se constituir em um enorme desafio para a gestão costeira.

Por se tratar de uma área de interface entre o continente e o oceano, o litoral está inteiramente sujeito a intensas e constantes alterações, constituindo-se em uma ambiente em permanente estado de mutação. Muitas das alterações costeiras estão relacionadas com a ocorrência de fenômenos naturais, tais como tempestades, ressacas e possíveis

alterações meteorológicas. No entanto, o homem tem exercido uma significativa interferência nestas alterações, ao modificar os sistemas naturais a partir de ações como a extração de areias em rios e estuários, dragagens de portos, construções de barragens, ocupações irregulares e desordenadas e uma série de outras ações que contribuem para o desequilíbrio das costas.

A principal interferência sentida no equilíbrio de uma zona costeira é a alteração em seu balanço sedimentar, ou seja, a diferença entre os volumes de sedimentos que chegam e que saem desse ambiente, promovendo os fenômenos de erosão ou de acreção (progradação).

A erosão, caracterizada pelo déficit sedimentar, dentre os problemas que mais interferem no ambiente costeiro, é o que mais desperta a atenção em escala mundial, principalmente em razão das áreas costeiras antropizadas ficarem mais expostas ao ataque das ondas.

As praias desempenham importante papel como agente natural de proteção costeira. No entanto, as praias são compostas essencialmente por sedimentos inconsolidados, constituídos por areias, cascalhos e fragmentos de conchas, acumulados especialmente pela ação das ondas, dos ventos e das correntes, e sujeitas, além destes mesmos fenômenos, à interferência antrópica, no processo de desacúmulo sedimentar.

Para Melo (2005) “*De um modo geral, a ocupação de terrenos geologicamente instáveis, as obras de engenharia mal planejadas e a exploração desordenada dos recursos naturais são as causas principais dos impactos ambientais observados na zona costeira [...]*”.

Em um universo de tantos agentes causadores dos processos erosivos ao longo das costas em todo o mundo, provavelmente, nenhum outro seja tão genuinamente provocado pela ação antrópica quanto a erosão causada pelo direcionamento das águas superficiais e das redes coletoras de águas pluviais para as faixas de praia, uma vez que esta ocorrência se dá, essencialmente, em função das obras projetadas pelo homem.

Este tipo de erosão se destaca pela enorme capacidade de desagregar e de transportar os sedimentos. A relação de intensidade “volume x velocidade” num mesmo ponto de lançamento resulta na formação de ravinas e no arrasto dos sedimentos já depositados, além de barrar o aporte de novos sedimentos.

Cavalcanti (2008) esclarece que “[...] *devido à ação da gravidade e a intensidade do escoamento superficial, o processo de erosão é acentuado. [...] A erosão superficial ou laminar prepondera, onde a água atinge os solos na superfície, desagregando-os e transportando as partículas menores*”.

Estas intervenções, através do direcionamento das redes de galerias pluviais e das águas superficiais para a praia, despejam um grande volume hídrico sem uma condução hidráulica adequada e exercem influência significativa no perfil praiial e no balanço sedimentar, provocando fortes perturbações neste ecossistema, inclusive, comprometendo a balneabilidade das praias, pois, em virtude da deficiência de saneamento, há um grande risco de contaminação das praias pela presença das várias contribuições de resíduos e de esgotos oriundos de ligações clandestinas nas redes de drenagem, como é o caso de especificidade da área de pesquisa.

De acordo com Perez *et al.* (2008), “*Vários impactos potenciais relacionados a alterações indesejáveis da vazão líquida e da taxa de diversos constituintes presentes na massa líquida que aportam às zonas costeiras, causadas tanto por fenômenos hidrológicos, ou decorrentes da ação antrópica, podem impactar os meios físicos e bióticos*”.

Um fator que tem favorecido o escoamento das águas superficiais para o sistema praiial é o alto índice

de urbanização das áreas costeiras. A crescente e desordenada ocupação destas regiões promovem a impermeabilização do solo e, conseqüentemente, impedem a infiltração da água, aumentando os picos de vazão nos cursos d’água e induzindo ao surgimento de sangradouros.

Para Figueiredo & Calliari (2005) “[...] *o aumento do número de sangradouros nos trechos mais urbanizados é notório, podendo acarretar em déficit sedimentar praiial e conseqüente erosão costeira em casos mais extremos, devido ao maior transporte de sedimentos para zona de arrebenção pelos sangradouros.*” (Figura 1).

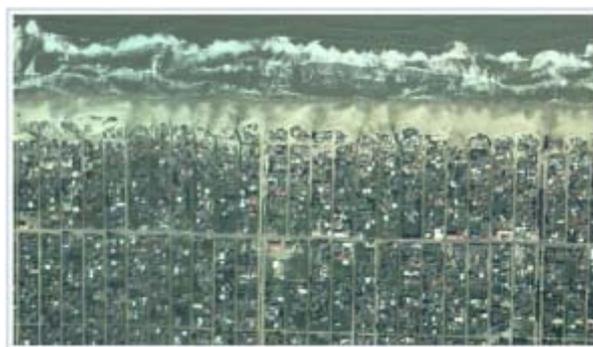


Figura 1. Despejos de sangradouros na pós-praia do Balneário de Pinhal, Rio Grande do Sul.

Fonte: Figueiredo & Calliari (2005).

Manter em equilíbrio o perfil praiial em uma determinada faixa costeira é extremamente importante no controle do recuo da linha de costa. E isto significa não permitir que a evasão de sedimentos se sobreponha ao processo natural de achega. Ou melhor, ainda, é permitir que estes sedimentos se acumulem em maior volume do que saíam e, assim, promover um processo de acresção que se contraponha aos possíveis fenômenos erosivos.

Contrariamente, permitir o despejo das águas de drenagem, bem como do escoamento das águas superficiais na praia, é contribuir diretamente para alterações nos perfis de praia e intensificar ou, até mesmo, dar início a um processo de erosão e de recuo na linha de costa, além de contribuir para a ocorrência de fortes impactos neste ecossistema.

Diante disso, este trabalho tem o objetivo de evidenciar o processo erosivo ocasionado pela ação

das águas superficiais e pela drenagem de águas pluviais no litoral de Olinda, avaliar as consequências decorrentes destes despejos, inclusive o risco de comprometimento na balneabilidade das praias, e de sugerir medidas de correção e ou de minimização dos seus efeitos.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1. O município de Olinda

Olinda é uma cidade costeira do estado de Pernambuco pertencente à Região Metropolitana do Recife (RMR) e que está situada à 08°01'483" de latitude S e 34°51'423" de longitude W O, estando a uma altitude de 16m, limitando-se ao norte com o município do Paulista à 07°56'24" de latitude S, ao sul com a cidade do Recife à 08°03'14" de latitude S e a leste com o Oceano Atlântico (Figura 2).

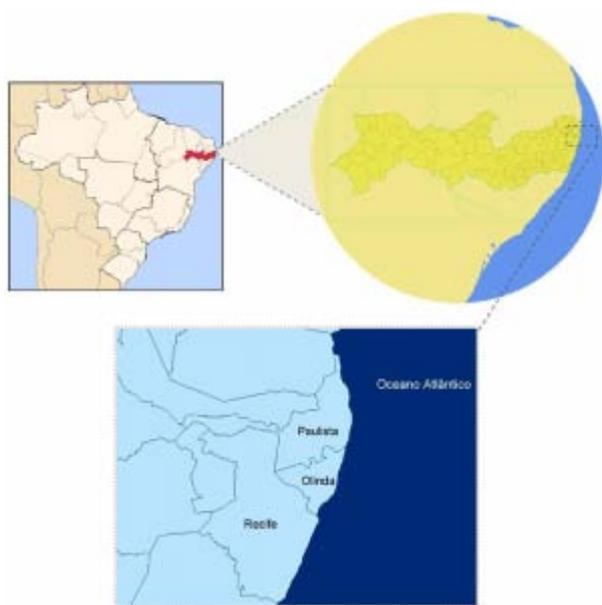


Figura 2. Localização da área de estudo.

Com uma extensão territorial de 43,55km², segundo dados da Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco – CONDEPE/FIDEM, o município conta com uma população de 367.902 habitantes, dos quais 98% encontram-se em áreas urbanas e apenas 2% em áreas rurais, possuindo uma densidade demográfica de 8.988,54hab./km², a mais

alta do estado e uma das maiores do Brasil. Possui um clima tropical, quente e úmido, com temperatura média anual de 24°C. Sua vegetação é composta de mata atlântica, campos, mata de restinga e manguezais.

Além de possuir uma enorme beleza natural, Olinda, que é uma das mais antigas cidades do Brasil, também é um dos mais importantes centros culturais brasileiros, tendo sido a segunda cidade brasileira a ser declarada pela UNESCO Patrimônio Histórico e Cultural da Humanidade, e eleita, em 2005, a primeira Capital Brasileira da Cultura.

2.2. Geologia

Do ponto de vista da geologia regional, o município de Olinda está localizado na Bacia da Paraíba, que se limita com a Bacia de Pernambuco através do Lineamento Pernambuco (Figura 3).



Figura 3. Localização da Bacia da Paraíba e áreas vizinhas.

Fonte: Barbosa & Filho (2005).

Na região costeira, podem ser observadas as unidades geológicas desde o Mesozóico, que retratam a sedimentação ocorrida nas Bacias de Pernambuco e da Paraíba, durante a separação das placas sul-

americana e africana, até unidades que mostram a sedimentação Quaternária.

Segundo Gusmão Filho (2001), “a geologia de Olinda é representada por duas unidades estratigráficas: a Formação Maria Farinha, constituída por alternâncias de calcários argilosos; e o Grupo Barreiras constituído por areias e argilas com estratificação sub-horizantal, compacidade e consistência variáveis, repousando discordantemente sobre a Formação Maria Farinha”.

2.3. Hidrografia

O município de Olinda é parte integrante das Bacias Hidrográficas dos Rios Beberibe e Paratibe.

2.3.1. Drenagem urbana

O sistema de macrodrenagem do município de Olinda está concentrado no Rio Beberibe e em seus afluentes (Canal Lava-Tripas e Canal da Malária) e no Rio Paratibe e em seus afluentes (Rio e Canal Frágoso, Canal de Ouro Preto, Canal dos Bultrins e Canal das Tintas).

O sistema de microdrenagem se dá, de uma maneira geral, por meio do escoamento dos pavimentos de vias e através de guias, sarjetas, bocas-de-lobo, canaletas e galerias.

2.4. O litoral de Olinda

O litoral olindense é composto por oito praias (Istmo (Del Chifre), Milagres, Carmo, São Francisco, Farol, Bairro Novo, Casa Caiada e Rio Doce) numa extensão total de aproximadamente 10,0km.

De acordo com o estudo do Monitoramento do Litoral de Olinda (CPRH, 2000) foi identificado ao longo deste litoral quatro setores abrangendo as referidas praias (Figura 4).

2.5. Hidrodinâmica da região

2.5.1. Clima de ondas

As ondas desempenham papel fundamental no processo de modelagem da linha de costa. Por se tratar de um importante agente transmissor de energia, gerando variados tipos de correntes e, conseqüentemente, diferentes padrões de transporte de areia, responde diretamente pelos processos de erosão costeira e pela formação das principais feições

litorâneas. Sendo, portanto, essencial o conhecimento do nível energético das ondas para uma melhor compreensão do comportamento da morfometria praias de uma determinada área.



Figura 4. Identificação dos setores do litoral de Olinda.

Fonte: CPRH (2000).

Para Muehe (2006) “A principal variável indutora dos processos costeiros de curto e médio prazos é o clima de ondas, responsável pelo transporte de sedimentos nos sentidos transversal e longitudinal à linha de costa”.

Recentemente, foi apresentado pelo “Projeto Monitoramento Ambiental Integrado – Avaliação dos Processos de Erosão Costeira nos Municípios de Paulista, Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes (Projeto MAI)”

(MAI, 2009), desenvolvido pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, a partir de estudos nos períodos de agosto a outubro/2007 e maio a junho/2008, dados sobre o clima de ondas no litoral de Olinda. A altura significativa para os respectivos períodos de estudos foram 0,60m e 0,61m, enquanto que os períodos significativos observados apresentaram os resultados de 5,55s e 6,04s, respectivamente.

Dados relativos ao clima de ondas para o litoral de Olinda foram coletados a partir de medições realizadas nos meses de setembro/2009 e maio/2010 (Tabela 1). A altura foi obtida visualmente, medindo-se a diferença entre a crista e a cava da ondulação, em um determinado ponto da zona de arrebentação, enquanto que o período foi o correspondente a 1/10 do tempo total decorrido para a passagem de onze cristas consecutivas em um ponto fixo. O ângulo de incidência das ondas foi determinado com a utilização de uma bússola.

O tipo de onda mergulhante, com pequeno ângulo de incidência, produz fracas correntes de deriva, o que implica em reduzido transporte longitudinal de sedimento.

2.5.2. Deriva litorânea (transporte longitudinal de sedimento)

Diante dos dados coletados foi possível estimar o volume de areia transportado pela deriva litorânea, cujo volume de 251,46m³/dia (10,48m³/hora) foi obtido a partir da equação empírica de Komar:

$$Q_s = 3,4 (ECn) \sin \alpha \cos \alpha$$

em que, E (energia da onda na zona de arrebentação) é obtida pela relação:

$$E = 1/8 (\rho g H^2)$$

onde ρ (densidade da água do mar) tem valor igual a 1020kg/m³, e Cn (velocidade de grupo das ondas) é dado através da equação:

$$Cn = \sqrt{g(2H)}$$

Os valores de H (altura de onda na zona de arrebentação) e de α (ângulo de incidência da onda na zona de arrebentação) foram obtidos a partir dos dados do clima de ondas coletados para este estudo e visualizados na tabela 1.

Tabela 1. Dados do clima de ondas (litoral de Olinda/PE).

MÊS	ONDA	
Setembro-09	Altura (m)	0,43
	Período (s)	6,00
	Ângulo de Incidência	6°
	Tipo de Arrebentação	Mergulhante
Maio-10	Altura (m)	0,44
	Período (s)	6,00
	Ângulo de Incidência	6°
	Tipo de Arrebentação	Mergulhante

2.5.3. Regime de ventos

A identificação do regime de ventos tem uma relevante importância, uma vez que estes, além da formação das ondas, interferem significativamente na morfologia da costa através da movimentação da areia após ser depositada na praia.

Ainda segundo dados do Projeto MAI, a cidade de Olinda encontra-se “situada na faixa de influência dos ventos alísios e de baixas pressões atmosféricas (1,016mBar). Durante o período de fevereiro a setembro predominam ventos de SE com velocidades médias de 2,6 a 4,0m.s⁻¹, com ventos mais intensos nos meses de julho e agosto. Durante os meses de outubro e janeiro, predominam ventos E-SE com velocidades de 3,0 a 3,2m.s⁻¹. Ventos de E-NE e menos intensos (2,0 a 2,1m.s⁻¹) ocorrem com mais frequência nos meses de novembro e dezembro”.

2.5.4. Marés

A costa de Olinda pode ser considerada do tipo meso-maré, dominada por ondas e sob ação constante dos ventos alísios. De acordo com as previsões fornecidas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN/Marinha do Brasil para o porto do Recife, as marés apresentam altura média de 1,67m, com alturas médias de sizígia de 2,07m chegando ao pico de 2,60m, enquanto que as alturas médias de quadratura apresentam média de 0,97m.

2.6. Área de estudo

A área selecionada para este estudo é composta pelas praias do Carmo e de Bairro Novo, correspondendo, consecutivamente, aos setores 2 e 3 da figura 4.

2.6.1. Praia do Carmo

Esta praia encontra-se limitada ao sul pelas coordenadas UTM 296281 e 9113166 e ao norte pelas coordenadas UTM 296386 e 9113292. Uma praia caracterizada por uma discreta presença de pós-praia, limitada a uma saliência no extremo norte (Figura 5), e substituída, em quase toda a sua extensão, pela presença de uma muralha de enrocamento aderente que, associado à presença dos quebra-mares, estabilizou a linha de costa, mas eliminou o processo de desenvolvimento de praias arenosas. Esta praia apresenta um perfil dissipativo, suave, com predomínio de areia média no estirâncio e areia fina na antepraia.



Figura 5. Praia do Carmo, Olinda/PE.

Fonte: Google (2009).

2.6.2. Praia de Bairro Novo

A praia de Bairro Novo encontra-se limitada ao sul pelas coordenadas UTM 296955 e 9113967 e ao norte pelas coordenadas UTM 297372 e 9115621. Esta faixa litorânea apresenta o maior índice de urbanização do litoral olindense e se particulariza pela grande quantidade de estruturas artificiais de proteção costeira, distribuídas ao longo dos seus quase 2,00km de extensão, numa sucessão de compartimentos formados pela presença de uma bateria de espigões perpendiculares à costa, distribuídos paralelamente,

e espaçados entre si por uma estrutura de enrocamento aderente (Figura 6).



Figura 6. Praia de Bairro Novo, Olinda/PE.

Fonte: Google (2009).

Nesta praia predomina o perfil refletivo suave, com escassez de pós-praia, especificamente nos compartimentos sem areia, e um estirâncio superior, cobertos por areia média seguida de areia grossa no estirâncio inferior e terminando com areia muito fina na antepraia, mostrando uma predominância de sedimentos de granulometria média.

3. METODOLOGIA

A elaboração destes estudos fundamentou a abordagem do tema proposto através da adoção dos métodos de identificação, do monitoramento e da pesquisa aplicada, conforme diagrama de metodologia (Figura 7).

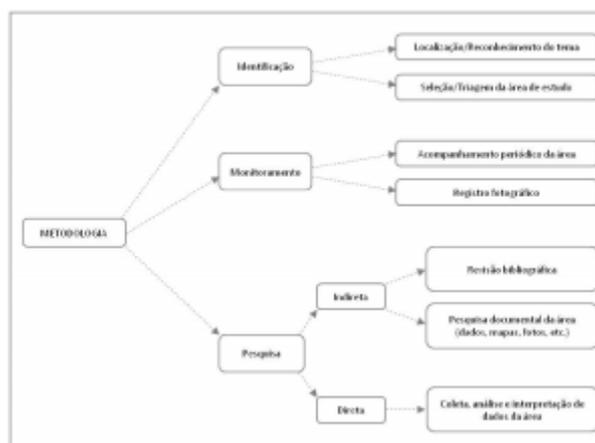


Figura 7. Diagrama de metodologia adotada.

3.1. Identificação

Foi identificada ao longo do litoral de Olinda a ocorrência de diversos pontos de despejos na faixa de praia provenientes da rede de galeria de águas pluviais e do escoamento das águas superficiais. Adotando como principais indicadores, a concentração de pontos em áreas de banho e o volume de efluentes despejados no ambiente praias, foram recortadas para este estudo as praias do Carmo e de Bairro Novo.

3.2. Monitoramento

A partir da identificação das áreas de estudo foi implantado, no período de 2004 a 2010, um trabalho de monitoramento mensal, através do registro fotográfico das áreas em períodos secos e chuvosos e, durante a ocorrência tanto das marés de quadratura, quanto das marés de sizíguas. Nestes períodos também foram realizados levantamentos topográficos (perfis de praia) com o propósito de quantificar a capacidade de expulsão de sedimentos do ambiente.

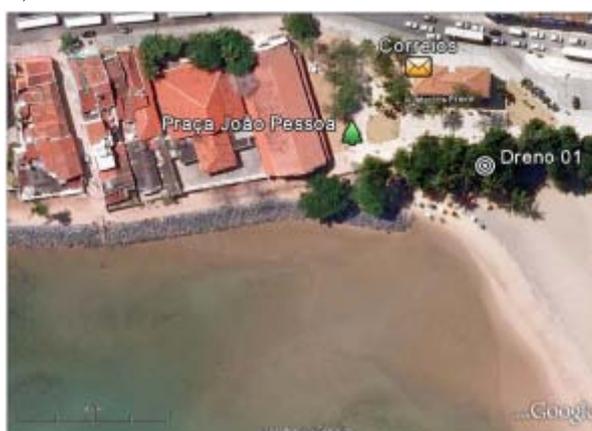
3.3. Pesquisa

Os trabalhos de pesquisa foram desenvolvidos através da abordagem bibliográfica pertinente à temática, na busca por dados e informações pretéritas e atuais da área, e, paralelamente, através da coleta e análise de dados, com a realização de levantamentos morfodinâmicos, através da realização de perfis topográficos de praia, tratados pelo programa “Surfer 8”, de onde foi possível determinar e comparar as variações volumétricas, e levantamentos hidrodinâmicos de campo alicerçados por dados apresentados por institutos de pesquisas oceanográficas, tais como, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC/INPE, Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN/Marinha do Brasil, Sistema de Previsão de Ondas – SPO/UFRJ e o Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha – LGGM/UFPE.

Foi realizada, ainda nesta etapa de pesquisa, a avaliação do risco de comprometimento da balneabilidade pela interferência destes despejos na praia, fazendo por amostragem em dois drenos, sendo o “dreno 01” na Praia do Carmo (Figura 8, A e B) e o “dreno 02” na Praia de Bairro Novo (Figura 9, A e

B), a coleta de duas amostras de efluentes para cada dreno, uma amostra em dia seco e a outra amostra em dia chuvoso, tendo sido avaliados, preliminarmente, os seguintes parâmetros: pH (Potencial Hidrogeniônico), DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio), sólidos sedimentáveis, óleos e graxas e coliformes fecais, tomando como referência, para a análise, as Resoluções CONAMA n.º 274/00 e n.º 357/05 (CONAMA, 2000; 2005).

a)



b)



Figura 8. Dreno 01 – Local de coleta de efluentes, na praia do Carmo, Olinda/PE. (imagens A e B).

Fonte: A - Google (2009) / B - Acervo do Autor (2010).

a)



b)



Figura 9. Dreno 02 – Local de coleta de efluentes, na praia de Bairro Novo, Olinda/PE (imagens A e B).

Fonte: A - Google (2009) / B - Acervo do Autor (2010).

4. RESULTADOS

Praia do Carmo

Nesta praia, já caracterizada anteriormente, foram identificados ao longo do período de realização deste estudo a presença de 04 (quatro) pontos de despejo da rede de drenagem das águas pluviais (Figura 10), e cujos drenos deságuam suas contribuições na faixa de praia em direção ao oceano.

Durante o monitoramento desta área foi registrado que, no ano de 2005, durante a implantação da estrutura de proteção do avanço do mar (enrocamento aderente) e da rede de drenagem das águas pluviais na orla do Carmo, os pontos 1, 2 e 3, desta rede,

foram direcionados para lançar suas contribuições por meio de tubulações ($\varnothing = 1,20\text{m}$) para dentro da estrutura de enrocamento aderente. Este procedimento evitou o direcionamento dos despejos diretamente na faixa de praia e se mostrou eficiente ao impedir a desagregação dos sedimentos ali depositados, minimizando, assim, possíveis alterações na morfodinâmica praial.



Figura 10. Praia do Carmo – localização dos 04 pontos de despejos monitorados.

Fonte: Google (2009).

No entanto, em abril/2009, a obstrução em uma das caixas da rede de drenagem, provocada em decorrência dos trabalhos de urbanização da Praça João Pessoa, foi o suficiente para evidenciar, durante um evento chuvoso, o poder erosivo e a capacidade de arrasto de sedimentos que as águas superficiais, e de drenagem das águas pluviais, podem exercer sobre o ambiente praial.

As águas que antes eram conduzidas pela tubulação, então obstruída, extravasaram de suas caixas de coleta e, somadas às águas superficiais, convergiram para as ruas que dão acesso à praia promovendo um arrasto de sedimentos que deu origem a formação de um ravinamento, resultando na alteração dos perfis de praia nesta área. (Figura 11, A e B).

Além da interferência que as redes de drenagem exercem na faixa de praia em decorrência da ação das águas pluviais, a faixa de praia do Carmo também está sujeita aos despejos provocados pela presença de ligações clandestinas neste sistema, pois embora em períodos em que não há a ocorrência de chuvas as tubulações continuam a despejar ininterruptamente um volume de efluentes neste ambiente, a exemplo do dreno situado atrás do prédio dos Correios (Figura 12, A e B), impondo à praia e, conseqüentemente, aos usuários e banhistas, um forte risco de contaminação.

a)



b)



Figura 11. Praia do Carmo – Vista da faixa de pós-praia após a erosão provocada pelo extravasamento de um coletor de águas pluviais. (imagens A e B).
Fonte: Acervo do Autor (2009).

Figura 12, a)



b)



Figura 12. Despejo contínuo de efluentes na praia do Carmo, interferindo na morfodinâmica praiial através da formação de sulcos erosivos provenientes do curso d'água, imagens A e B.

Fonte: Acervo do Autor (2010).

Praia de Bairro Novo

Esta praia, a exemplo da maior parte do litoral olindense, tem como principal característica o déficit sedimentar, facilmente percebido pela ausência de pós-praia e pela grande quantidade de compartimentos que não apresentam uma mínima faixa de areia, sequer durante os horários das marés mais baixas (Figura 13, A e B).

No entanto, contrariando esta característica peculiar do litoral olindense, de escassez de areia ao longo de suas praias, vem sendo observado na parte central desta praia um processo natural de achega sedimentar. Inicialmente, este fenômeno vinha se distribuindo ao longo de 150,00m, e se restringia à apenas três compartimentos compreendidos entre os espigões 21 e 24. No entanto, em julho de 2005, com o propósito de proporcionar o aumento da faixa de praia, diante da estabilidade que ali se encontrava, bem como com o propósito de avaliar o comportamento deste processo de aporte sedimentar, foi promovida a remoção do espigão 23 (Figura 14, A e B).

Esta supressão, além de proporcionar a integração de dois compartimentos, possibilitando a ampliação e um maior uso da área para banho e para recreação, promoveu, gradativamente, a expansão do processo de aporte sedimentar para os compartimentos adjacentes, situados ao norte do espigão 24, estendendo a área de cobertura sedimentar, de 150,00m para 350,00m de extensão (Figura 15, A e B).



Figura 13. Alto índice de urbanização, associado à grande concentração de estruturas e ausência de desenvolvimento dos depósitos praias arenosos caracterizam a praia de Bairro Novo, em Olinda/PE. (imagens A e B).

Fonte: A - Google (2009) / B - Acervo do Autor (2009).

Figura 14, a)



Figura 14. A supressão de um espigão em 2005 (A) proporcionou o acréscimo da faixa de praia (B), em Bairro Novo, Olinda/PE.

Fonte: A – Coutinho (1989); B – Acervo do Autor (2009).

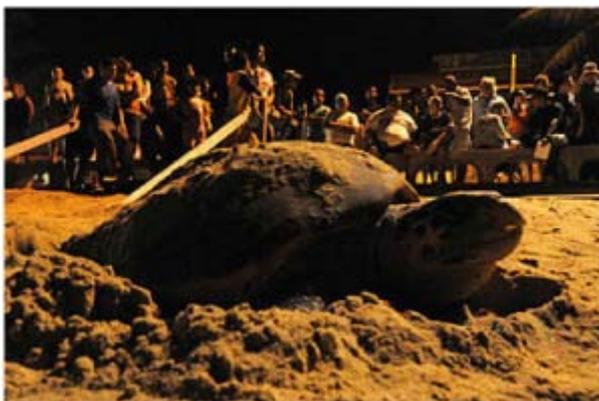


Figura 15. Evolução da área de cobertura do processo de aporte natural de sedimentos na praia de Bairro Novo, em Olinda/PE (Imagens A e B).

Fonte: A - Google (Imagens Históricas (2003)) / B - Google (2009).

A recomposição da morfodinâmica praial, através do efeito natural de engorda deste segmento de praia, permitiu mudanças significativas no comportamento do ambiente, acenando, inclusive, com a possibilidade de devolução do equilíbrio a este ecossistema. Com a expansão do aporte de sedimentos para outros compartimentos da praia de Bairro Novo proporcionou a probabilidade de desova para uma tartaruga marinha, fato que gerou impacto na população local, por se tratar de um possível indicativo da tentativa de reequilíbrio diante do desequilíbrio ambiental gerado pela erosão costeira nas praias de Olinda. (Figura 16, A e B).

a)



b)



Figura 16. Tartaruga do tipo “cabeça-chata” depositando seus ovos no compartimento recomposto da praia de Bairro Novo (imagens A e B).

Fonte: JC Online (fev/2009).

A expansão deste fenômeno de aporte sedimentar ganha maior representatividade quando analisamos os perfis de praia realizados nos anos de 2004 e 2010 (Figura 17, A, B e C) em um mesmo compartimento, compreendido entre os espigões 25 e 26 (numeração atual, após a supressão do espigão 23), e que pela sobreposição dos perfis permitiu-se mensurar o volume de sedimentos acrescentado a este compartimento desde o início da expansão do aporte de sedimentos, e que revelou um ganho da ordem de $20,198\text{m}^3\cdot\text{m}^{-1}$, o que representa, neste compartimento de 41,00m de extensão, um acréscimo de aproximadamente $800,00\text{m}^3$ de areia.

Este aumento de volume é facilmente percebido ao compararmos este mesmo compartimento, antes da expansão do fenômeno de aporte sedimentar e posteriormente a este processo, onde se percebe que, no ano de 2004, antes da implantação da obra de reordenamento do enrocamento, bem como em 2005, imediatamente após a realização desta obra, o desnível entre o calçadão e a faixa de praia era de aproximadamente 3,00m, enquanto que nos anos de 2008 e 2009, após a expansão do processo de aporte sedimentar este desnível passou, praticamente, a inexistir (Figura 18, A, B, C e D), expressando a importância que este aporte sedimentar pode representar para este segmento de litoral.

Em um trecho de litoral tão vulnerável a processos erosivos costeiros, e que não dispõe de um volume de sedimentos capaz de manter sua praia em equilíbrio em nenhuma época do ano, a instalação de um processo natural e espontâneo de aporte sedimentar vem, no mínimo, trazer um alento às pretensões de uma gestão costeira comprometida com a recuperação e regeneração de suas praias, visto que, o volume que está se distribuindo nestes trechos vem extrapolando as necessidades de recomposição dos compartimentos e, por diversas vezes, ultrapassando os limites impostos pela urbanização, invadindo as calçadas e a via local.

Este excesso de sedimentos, que muitas vezes pode ser visto como um inconveniente, tanto àqueles que transitam pelas vias e pelos calçadões da orla de Bairro Novo, quanto à Prefeitura que necessita disponibilizar operários e equipamentos para retirar estes sedimentos das calçadas e vias, pode vir a se constituir em uma excelente fonte alternativa de suprimento para as praias adjacentes, inclusive com um custo bastante inferior ao que comumente se despende na busca por jazidas que ofereçam sedimentos em quantidade e granulometria compatíveis à necessidade de cada praia (Figura 19, A, B e C).

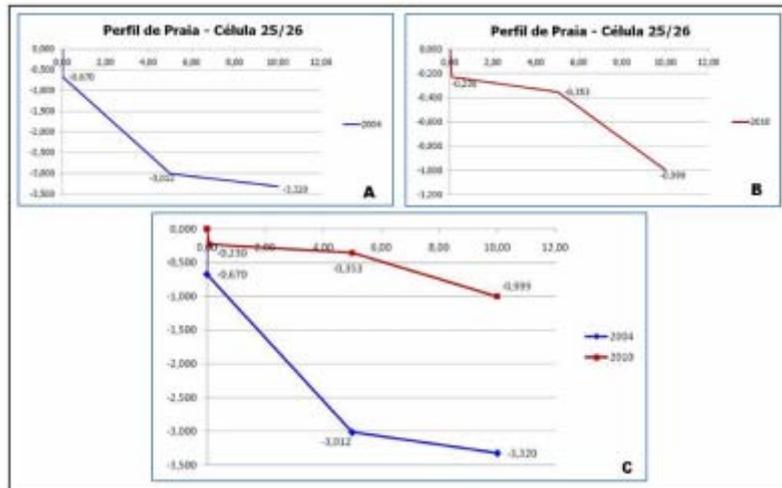


Figura 17. Perfis de praia dos anos de 2004 e 2010 representam o comportamento sedimentar no compartimento 25/26, da praia de Bairro Novo, Olinda/PE.

Fonte: Autor.

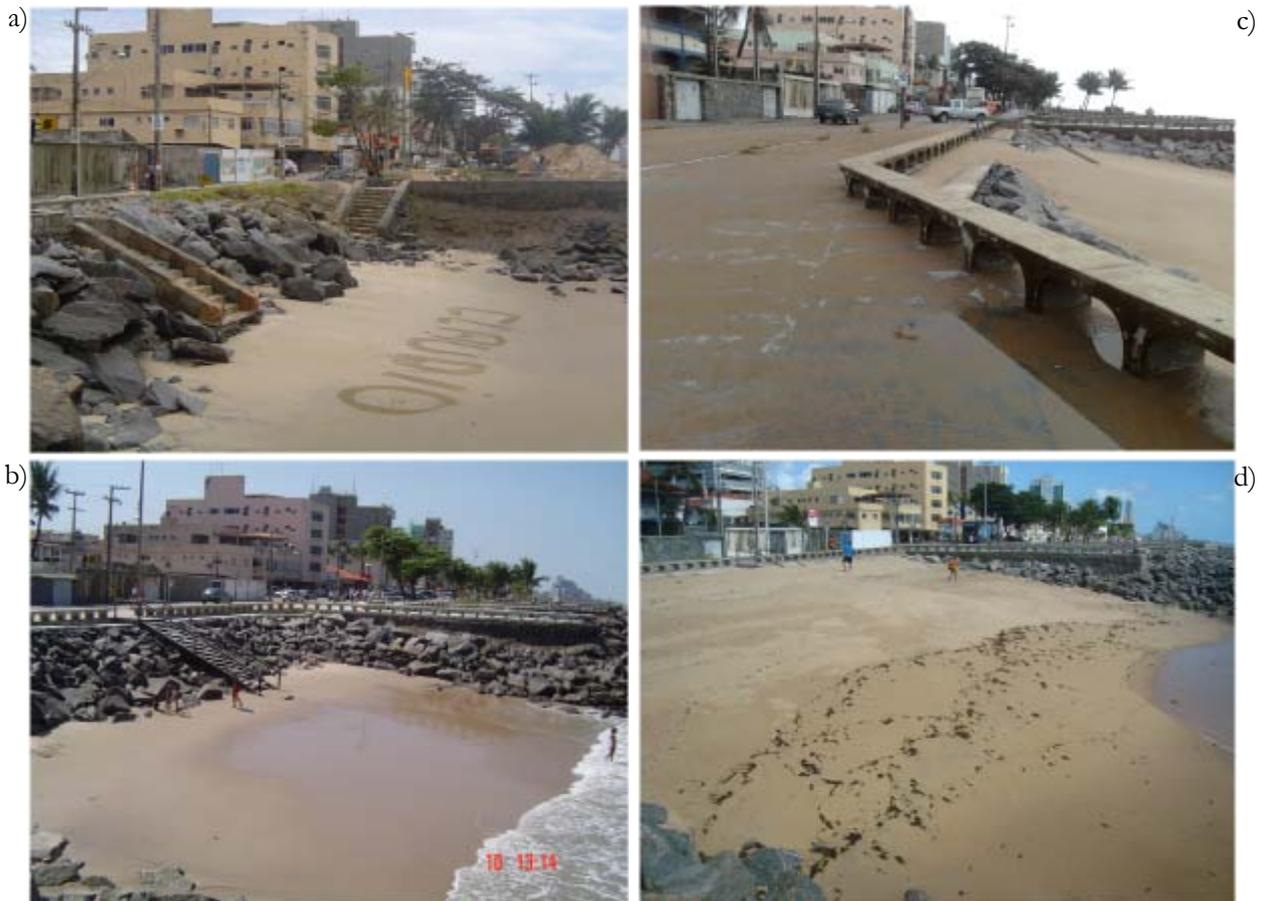


Figura 18. A expansão do aporte de sedimentos diminuiu ano a ano o desnível existente entre o calçadão e a faixa de praia no compartimento 25/26, da praia de Bairro Novo, Olinda/PE (imagens A e B).

Fonte: Acervo do Autor (A – Ago/2004 / B – Set/2005 / C – Jul/2008 / D – Nov/2009).



Figura 19. O volume de sedimentos aportado na praia de Bairro Novo é superior à capacidade dos compartimentos e invadem as calçadas e a pista de rolamento. Imagens A, B e C.
Fonte: Acervo do Autor (2009).

No entanto, o trabalho de monitoramento desta área permitiu identificar que os resultados obtidos por este processo natural de chegada sedimentar vêm sendo comprometido pela presença de 03 pontos de despejos da rede de drenagem de águas pluviais (Figura 20, A e B), e cujas contribuições vêm sendo despejadas diretamente na faixa de praia, em direção ao oceano.



Figura 20. Pontos de despejos identificados na praia de Bairro Novo, Olinda/PE (imagens A e B).
Fonte: Acervo do Autor (A – 2008 / B – 2010).

Estes drenos, através dos seus despejos, vêm se constituindo em agentes modificadores dos perfis de praia, pois, além de impedirem o aporte de novos sedimentos, seus efluentes se encarregam de expulsar os sedimentos já depositados (Figura 21, A e B).

a)



b)



Figura 21. O volume de despejo dos drenos expulsa os sedimentos e aportados e altera severamente o perfil praial, impondo a este trecho da praia de Bairro Novo um novo cenário de erosão costeira (imagens A e B).

Fonte: Acervo do Autor (A – 2005 / B – 2010).

O posicionamento equivocado destes drenos em direção à praia vem provocando intensas perturbações à morfodinâmica praial, além de interferirem severamente no balanço sedimentar, principalmente ao estarem se contrapondo ao fenômeno natural e espontâneo de acreção.

Em 15 de setembro de 2010, após a ocorrência de um evento chuvoso, de aproximadamente 1,5 horas, foi possível avaliar a capacidade erosiva de um dos drenos do compartimento situado entre os espigões 21 e 22, mediante a realização de 02 perfis de praia, sendo o primeiro perfil realizado na faixa de praia anterior à área de interferência direta do dreno sobre o ambiente praial, e o segundo perfil no eixo da área de interferência do dreno, local onde foi originada uma vala em razão dos sedimentos expulsos pelos despejos das contribuições oriundas do dreno (Figura 22, A, B e C).

A permanência do bloqueio deste mecanismo de chegada sedimentar poderá, além de evitar a regeneração desta praia, contribuir para promover a instalação de um processo erosivo em áreas que atualmente se encontram moderadamente supridas de sedimentos, bem como, acelerar, ou vir a instalar a erosão em áreas contíguas ou relativamente afastadas.

Para Addad (1997) *“A falta de areia em uma praia, pode se tornar um pulso erosivo que se transmite a grandes distâncias, afetando praias aparentemente equilibradas.”*

Ademais, os distúrbios provocados pelo direcionamento da rede de drenagem não têm se resumido, tão somente, ao ambiente praial, pois não obstante a estas intensas e significativas alterações, estes drenos têm proporcionado, também, inúmeros transtornos à população local e àqueles que transitam pela via litorânea (Figura 23, A, B, C e D).

Durante a ocorrência das chuvas, em razão da obstrução provocada nos períodos secos, quando as galerias são completamente tomadas pelo aporte de sedimentos, constantes são os registros de alagamentos nas vias locais, incorrendo, inclusive, no agravamento do processo erosivo, pois as águas que extravasam das caixas de drenagem somam-se às águas superficiais e se distribuem sobre os compartimentos promovendo uma intensificação no arrasto e na expulsão dos sedimentos.

Balneabilidade

Outro fator observado nos efeitos produzidos pelos despejos destes efluentes na faixa de praia é o risco de comprometimento da balneabilidade destas praias, uma vez que a falta de monitoramento e de controle dos sistemas de drenagem urbana, associados à ineficiência e ao déficit de saneamento básico, favorece a ocorrência de ligações clandestinas de esgotos domiciliares, deixando estes ambientes de grande fragilidade susceptíveis a um alto risco de contaminações.

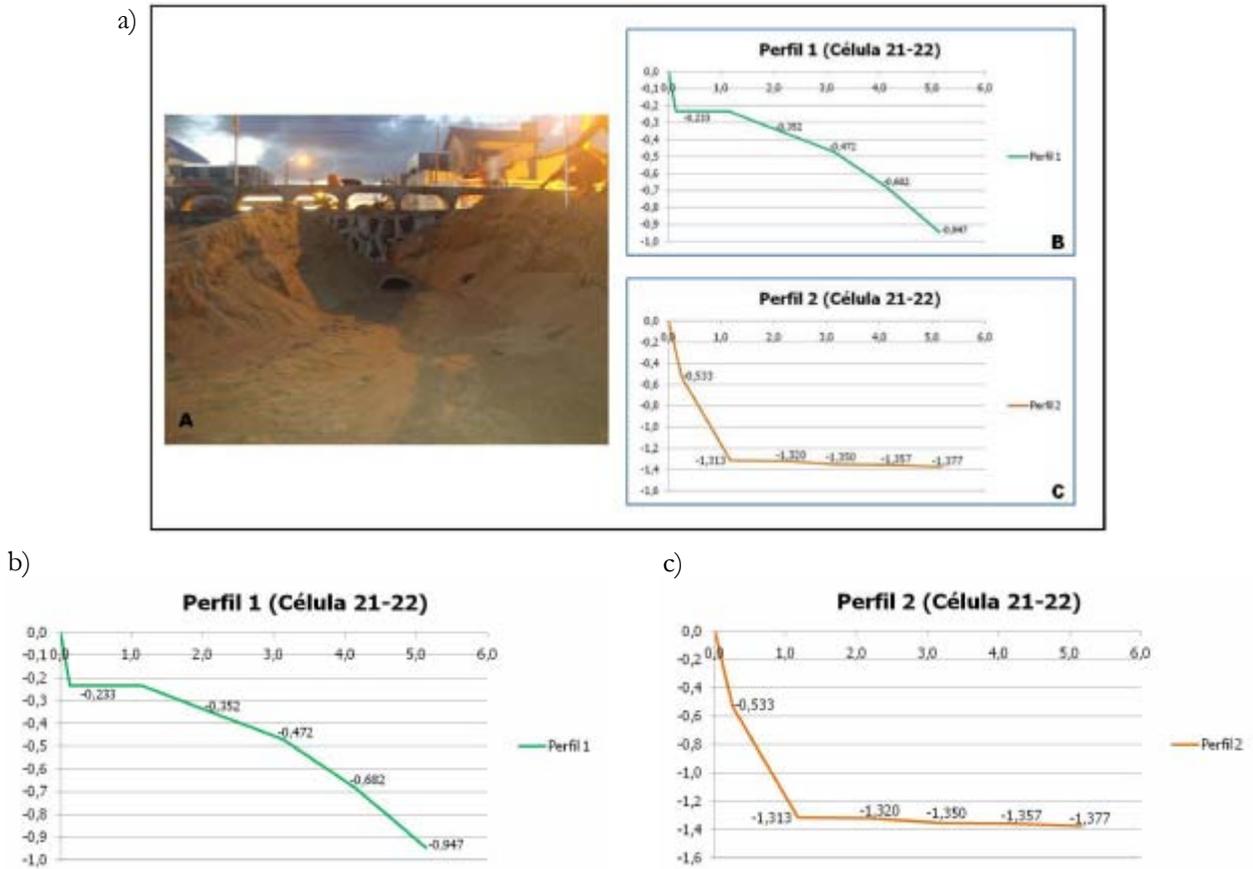


Figura 22. Perfis de praia traduzem a interferência do dreno de águas pluviais sobre a morfodinâmica praias na célula 21-22, praia de Bairro Novo, Olinda/PE.

Fonte: Autor (2010).

Figura 23, a)



Figura 23, b)



c)



d)



Figura 23. Episódio de chuvas, em janeiro/10. Perturbações, tanto no ambiente praias, quanto para a população, em mais um registro inequívoco de falha do sistema de drenagem (imagens A, B, C e D).

Fonte: Acervo do Autor (2010).

Nesse sentido, Figueiredo & Calliari (2005) nos traz que “Outro fator que deve ser considerado é a existência de ligações clandestinas de esgotos domésticos a drenagem pluvial que é direcionada a zona de arrebitação. Efeitos negativos da balneabilidade das praias ao longo do litoral exercem conseqüências diretas sobre o turismo e qualidade ambiental”.

Diante da grande quantidade de resíduos observados nos locais de despejos dos drenos, bem como pelo fato destes drenos estarem despejando suas contribuições continuamente, inclusive em períodos em que não houve ocorrência de chuvas, sugerindo uma virtual presença de ligações clandestinas à rede de drenagem, foram selecionados, por amostragem, dois pontos das redes de drenagem, o “dreno 01” na Praia do Carmo (Figura 8, A e B) e o “dreno 02” na Praia de Bairro Novo (Figura 9, A e B), locais de maior interesse deste estudo, de onde foram coletadas as amostras (Figura 24, A, B e C), com o objetivo de avaliar a existência de comprometimento da balneabilidade em decorrência destes despejos.

O resultado das análises, microbiológica e físico-química das amostras coletadas (Tabelas 2, 3 e 4), não apresentou nenhum resultado com valores que pudessem ser considerados comprometedores da balneabilidade, nem que viessem a indicar a presença de ligações clandestinas de esgoto no “dreno 01” da praia do Carmo.

Em contrapartida, para o “dreno 02”, situado na

praia de Bairro Novo, foram observados valores que extrapolaram os limites recomendados para DBO, tanto no dia seco, quanto no dia chuvoso. Este resultado associado aos valores encontrados no mesmo dreno para coliformes fecais (termotolerantes), superiores ao máximo de 1.000 coliformes por 100ml, conforme determina a Resolução CONAMA 274/00 (CONAMA, 2000) para uma condição *apenas satisfatória*, fortalece os indícios da presença de contribuições oriundas de ligações clandestinas.

5. CONCLUSÕES

O monitoramento das praias do Carmo e de Bairro Novo revelou neste trabalho o alto grau de ocupação e de urbanização a que foi submetido o litoral olindense, e que estes se constituíram em agentes determinantes para a permanência e o agravamento dos processos erosivos nesta costa, ao exercerem um papel fomentador de alterações na morfodinâmica e no suprimento sedimentar.

A ocupação urbana extrapolou os limites das áreas de crescimento e, muitas vezes, invadiu a faixa de pós-praia favorecendo o aumento da taxa de erosão ao tomar para si uma área que representa, além de uma defesa natural durante as ressacas, uma importante reserva de sedimentos.

O alto índice de impermeabilização imposto por este crescimento urbano gerou a necessidade de

escoamento das águas pluviais e superficiais que, ao serem direcionadas de forma equivocada e inapropriada, diretamente para a faixa de praia, vem provocando severas interferências no ambiente praial e, principalmente, no balanço sedimentar, fortalecendo o processo erosivo nas praias deste litoral.

Em Bairro Novo, especificamente, este processo tem representado maior gravidade, uma vez que a rede de drenagem, além dos distúrbios já citados, tem se contraposto a um processo natural e espontâneo de acresção.

Permitir a continuidade deste processo de expulsão dos sedimentos significa, no mínimo, estar na contramão dos interesses comuns ao gerenciamento costeiro. Pois, em uma costa de evidente fragilidade e vulnerabilidade aos processos erosivos, caracterizada pelo déficit sedimentar e marcada pelo histórico de inúmeras tentativas de proteção do litoral, prescindir dos sedimentos que ali estão sendo depositados poderá se constituir em uma sentença falencial à regeneração de suas praias.

No que concerne à balneabilidade das praias, não houve registro flagrante de comprometimento nas áreas de estudo. Os resultados sugerem a presença de ligações irregulares, apenas na praia de Bairro Novo, porém, ainda há a necessidade de maior enfoque a este estudo, através de um maior número de pontos de coletas, bem como de amostras, com objetivo de subsidiar resultados mais expressivos e conclusivos.

6. RECOMENDAÇÕES

Os problemas revelados por este estudo estão diretamente relacionados à antropização do ambiente praial e à ocupação urbana, e muito embora esta ocupação possa parecer ter atingido níveis irreversíveis, ainda há tempo de, no mínimo, promover uma ordenação desses espaços e minimizar seus efeitos na busca de devolver uma situação de equilíbrio a esta região costeira.

Diante deste cenário, o município de Olinda se depara com um grande desafio para a gestão costeira do município, e somente através desta poderá pôr em prática ações estruturadoras, tais como:

- § Estabelecer critérios de ordenação dos espaços litorâneos que respeitem a evolução natural da linha de costa, determinando limites que impeçam



Figura 24. Amostras coletadas em dia de sol e dia de chuva foram acondicionadas em recipientes, e temperatura adequados e, posteriormente, encaminhadas para análises em laboratório, imagens A, B e C.

Fonte: Acervo do Autor (2010).

Tabela 2. Resultado das análises físico-químicas das amostras coletadas em 06/Mai/2010, dia seco, sem chuvas, nas praias do Carmo e de Bairro Novo, Olinda/PE.

Identificação	Parâmetro	Resultado	Unidade	Data Hora da Coleta
Praia do Carmo (Atrás dos Correios)	pH	7,26	-	6/5/2010 14:35
	Demanda Química de Oxigênio	8,3	mg O ₂ /L	
	Demanda Bioquímica de Oxigênio	1,0	mg O ₂ /L	
	Sólidos Sedimentáveis	<0,1	mL/L	
	Óleos e Graxas Total	6,8	mL/L	
Identificação	Parâmetro	Resultado	Unidade	Data Hora da Coleta
Praia de Bairro Novo (Em Frente ao Posto Total)	pH	7,58	-	6/5/2010 15:55
	Demanda Química de Oxigênio	459,0	mg O ₂ /L	
	Demanda Bioquímica de Oxigênio	112,8	mg O ₂ /L	
	Sólidos Sedimentáveis	9,0	mL/L	
	Óleos e Graxas Total	22,4	mL/L	

Fonte: LABTAM/ITEP (2010)

Tabela 3. Resultado das análises físico-químicas das amostras coletadas em 13/Mai/2010, dia chuvoso, nas praias do Carmo e de Bairro Novo, Olinda/PE.

Identificação	Parâmetro	Resultado	Unidade	Data Hora da Coleta
Praia do Carmo (Atrás dos Correios)	pH	7,5	-	13/5/2010 07:58
	Demanda Química de Oxigênio	12,8	mg O ₂ /L	
	Demanda Bioquímica de Oxigênio	2,0	mg O ₂ /L	
	Sólidos Sedimentáveis	<0,1	mL/L	
	Óleos e Graxas Total	9,8	mL/L	
Identificação	Parâmetro	Resultado	Unidade	Data Hora da Coleta
Praia de Bairro Novo (Em Frente ao Posto Total)	pH	7,5	-	13/5/2010 07:30
	Demanda Química de Oxigênio	150,5	mg O ₂ /L	
	Demanda Bioquímica de Oxigênio	1,0	mg O ₂ /L	
	Sólidos Sedimentáveis	1,2	mL/L	
	Óleos e Graxas Total	9,75	mL/L	

Fonte: LABTAM/ITEP (2010)

Tabela 4. Resultado das análises microbiológicas das amostras coletadas em 06/Mai/2010 e 13/Mai/2010, respectivamente, dia seco e dia chuvoso, nas praias do Carmo e de Bairro Novo, Olinda/PE.

Coleta	Referências das Amostras	Coliformes (NMP/100mL)		Método
		Totais	Termotolerantes	
1ª	Dreno - Praia do Carmo	< 1,8	< 1,8	SMEVM 9221A
	Dreno - Praia de Bairro Novo	1,7 × 10 ⁷	4,8 × 10 ⁶	
2ª	Dreno - Praia do Carmo	< 1,8	< 1,8	
	Dreno - Praia de Bairro Novo	4,8 × 10 ⁶	1,7 × 10 ⁶	

Fonte: LABTAM/ITEP (2010)

novas ocupações no ambiente praias e, quando possível, removendo aquelas já estabelecidas nestes espaços.

- § Readequar o sistema de drenagem e de escoamento do litoral, buscando a condição mais apropriada de condução destes efluentes, bem como um melhor destino para os mesmos, como, por exemplo, a inversão do direcionamento para o canal dos Bultrins, localizado a aproximadamente 800,00 m da praia de Bairro Novo.
- § Nos casos irreversíveis de direcionamento para as praias reconduzir o lançamento dos despejos para dentro do mar, fora da zona de arrebentação, em pontos controlados e através do uso de dissipadores de energia, ou mesmo dentro das estruturas de contenção existentes.
- § Investigar a presença de contribuições clandestinas de esgotos nas redes de drenagem, eliminando, com isto, o risco de comprometimento da balneabilidade destas praias e, conseqüentemente, de degradação deste ecossistema.
- § Em relação aos resultados encontrados nas análises físico-químicas e microbiológicas, tanto para a Praia do Carmo, quanto para a Praia de Bairro Novo, recomenda-se um maior acompanhamento dos drenos, incluindo, preferencialmente, os demais drenos que não foram monitorados, bem como uma maior quantidade de amostragens. Pois, embora os

resultados apresentados tenham identificado algum indício de ligações irregular, e mesmo considerando o fato de haver sido encontrado nestas áreas a presença de resíduos e de despejos sólidos e líquidos que enquadram estas águas como impróprias, segundo a Resolução CONAMA 274/00 (CONAMA, 2000) em seu Art. 2º, § 4º, alínea d, assim mesmo, estes dados podem representar apenas uma situação pontual e inconstante. Um acompanhamento sistemático trará, certamente, maior consistência e solidez nos resultados, em razão da grande relevância da balneabilidade para o litoral, principalmente em razão de que a contaminação provocada pelo lançamento de esgotos e resíduos domésticos representa alterações hídricas, em suas propriedades físico-químicas, principalmente devido ao aumento da DBO, podendo vir a provocar a morte de diversas espécies aquáticas e resultando na diminuição dos recursos pesqueiros, além de representar uma possível fonte de disseminação de doenças, como dermatites, gastroenterites, entre outras.

- § Monitorar e, principalmente, preservar o aporte de sedimentos na praia de Bairro Novo, uma vez que estes poderão vir a se constituir em uma importante fonte de sedimentos para a regeneração desta faixa de costa.
- § Reavaliar o quantitativo e o posicionamento das estruturas perpendiculares à costa (espigões) na praia de Bairro Novo, uma vez que estas estruturas

representam fortes alterações nas correntes de deriva litorânea e podem, conseqüentemente, exercer forte interferência no transporte de sedimentos. A remoção ou reposicionamento destas estruturas poderão significar uma expansão da distribuição dos sedimentos aportados, a exemplo do que já ocorrera com a supressão do espigão 23 nesta mesma praia.

§ Para finalizar, recomenda-se o estudo aprofundado da origem dos sedimentos que estão sendo aportados neste trecho de litoral, pois estes podem referenciar a existência de uma jazida que se revele capaz de suprir futuros trabalhos de engordamento artificial das praias de Olinda.

AGRADECIMENTOS

À coordenação do Mestrado Profissional em Tecnologia Ambiental do ITEP e ao Laboratório de Tecnologia Ambiental – LABTAM/ITEP pelo apoio ao desenvolvimento desta pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

- Addad, João (1997) – Alterações fluviais e erosão costeira. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2(2):21-44, Brasília, DF, Brasil. ISSN: 1414-381X. Disponível em http://www.abrh.org.br/novo/revistas_rbrh.php
- Barbosa, J. A.; Lima Filho, M. (2006) – Aspectos estruturais e estratigráficos da faixa costeira Recife-Natal: observações em dados de poços. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 14(2):287-304, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. ISSN: 0102-9304. Disponível em <http://vdpf.petrobras.com.br/vdpf/todasEdicoes.do>.
- Cavalcanti, Agostinho Paula Brito (2008) – Dinâmica ambiental em zonas costeiras. In: SEABRA, Giovanni (org.). *Terra: mudanças ambientais globais e soluções locais*. Cap. 17., v.01, 240p., Editora Universitária da UFPB, 2008. João Pessoa, PB, Brasil.
- CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente (2000) – *Resolução CONAMA N.º 274, de 29 de novembro de 2000 - Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras*. Brasília, DF, Brasil. Publicada no Diário Oficial da União N.º 18, de 25 de janeiro de 2001, Seção 1, páginas 70-71. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res00/res27400.html>
- CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente (2000) – *Resolução N.º 357, de 17 de março de 2005 - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*. Brasília, DF, Brasil. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>.
- CPRH – Companhia Pernambucana de Meio Ambiente (2000) - *Monitoramento do litoral de Olinda, Olinda – Relatório Final*. 51p., CPRH – Companhia Pernambucana de Meio Ambiente, Recife, PE, Brasil.
- DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegação (s/d) - Previsões de mares. Diretoria de Hidrografia e Navegação, CHM - Centro de Hidrografia da Marinha, Niterói, RJ, Brasil. <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/index.htm>
- Figueiredo, S. A. de; Calliari, L. J. (2005) – Sangradouros: distribuição espacial, variação sazonal, padrões morfológicos e implicações no gerenciamento costeiro. *Gravel*, 3:47-57, Porto Alegre, RS, Brasil. ISSN: 1678-5975. Disponível em http://www.ufrgs.br/ceco/gravel/3/CD/docs/Gravel_3_06.pdf
- Gusmão Filho, Jaime de A. (2001) – Os solos de Olinda. In: Jaime de A. Gusmão Filho (org.), *A cidade histórica de Olinda: problemas e soluções de engenharia*, pp.59-68, Editora Universitária da UFPE, Recife, PE, Brasil. ISBN: 9788573152746
- MAI – Projeto Monitoramento Ambiental Integrado (2009) – *Avaliação dos Processos de Erosão Costeira nos Municípios de Paulista, Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes – Relatório Final*. Vol. I, 171 p., Vol. II, 145 p., Vol. III, 141 p. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE, Brasil.
- Melo, Juliana Barroso de (2005) – *O licenciamento ambiental e a atuação do poder público na realização do aterro hidráulico da praia de Iracema*. Dissertação de mestrado, 139p., Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil. Disponível em <http://www.prodema.ufc.br/dissertacoes/130.pdf>

Muehe, Dieter. (2006) – O litoral brasileiro e sua compartimentação. *In: Sandra Baptista da Cunha e Antonio José Teixeira Guerra (orgs.), Geomorfologia do Brasil*, pp.273-349, Bertrand Brasil, 4ª ed., Rio de Janeiro, RJ, Brasil. ISBN: 8528606708.

PEREZ, M. L.; Gonçalves da Silva, J.; Rosso, T.C.A. (2009) – Uma visão da implantação do plano

nacional de gerenciamento costeiro no Brasil. *Rio's International Journal on Sciences of Industrial and Systems Engineering and Management, Professional Essays*, Volume 3-2009, pe092-92, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. ISSN: 1982-6443. Disponível em <http://www.rij.eng.uerj.br/professional/2009/pe092-02.pdf>.

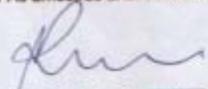
Anexo I

	BOLETIM INTERNO LABTAM LABORATÓRIO DE TECNOLOGIA AMBIENTAL	NÚMERO BI-04/10 DATA: 28/05/2010															
	BOLETIM INTERNO BI-04/10																
<table border="1"> <tr> <td colspan="3"> Cliente: Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco/ITEP-OS </td> </tr> <tr> <td colspan="3"> Natureza do trabalho: Análise microbiológica </td> </tr> <tr> <td colspan="3"> Material: Quatro (04) amostras de águas </td> </tr> <tr> <td colspan="3"> Procedência da amostra: Águas pluviais </td> </tr> <tr> <td> Data da coleta: </td> <td> 06/05/2010 e 13/05/1010 </td> <td> Responsável pela coleta: Cliente </td> </tr> </table>			Cliente: Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco/ITEP-OS			Natureza do trabalho: Análise microbiológica			Material: Quatro (04) amostras de águas			Procedência da amostra: Águas pluviais			Data da coleta:	06/05/2010 e 13/05/1010	Responsável pela coleta: Cliente
Cliente: Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco/ITEP-OS																	
Natureza do trabalho: Análise microbiológica																	
Material: Quatro (04) amostras de águas																	
Procedência da amostra: Águas pluviais																	
Data da coleta:	06/05/2010 e 13/05/1010	Responsável pela coleta: Cliente															
RESULTADOS																	
Coleta	REFERÊNCIAS DAS AMOSTRAS	COLIFORMES (NMP/100mL)		Método													
		totais	termotolerantes														
1ª	Dreno - praia do Carmo	< 1,8	< 1,8	SMEWW 9221A													
	Dreno - praia de Bairro Novo	1,7 x 10 ⁷	4,9 x 10 ⁶														
2ª	Dreno - praia do Carmo	< 1,8	< 1,8														
	Dreno - praia de Bairro Novo	4,9 x 10 ⁶	1,7 x 10 ⁶														

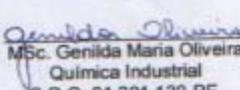
NMP: Número Mais Provável

Métodos utilizados: APHA - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st edition, 2005, part. 9000/ 9221.

Obs: As amostras analisadas fazem parte da tese de mestrado do aluno Luís Augusto de Góis.



Dr. Antônio Helder Parente
 Químico Industrial
 C.R.Q. 01.202.141-PE



MSc. Genilda Maria Oliveira
 Química Industrial
 C.R.Q. 01.201.130-PE

LABTAM: Mi - 654 e 655; Mi - 667 e 668
 O.S nº: 01207/2010
 Laboratório de Tecnologia Ambiental

01/01

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP
 Av. Professor Luiz Freire, 700 - Cidade Universitária - Recife - PE - CEP: 50.740-540
 Fone: 81 3272.4399 Fax: 81 3272.4272 www.itep.br e-mail: itep@itep.br
 CNPJ: 05.774.391/0001-15

Anexo II

 <p>ITEP Instituto de Tecnologia de Pernambuco</p>	<p>BOLETIM INTERNO LABTAM LABORATÓRIO DE TECNOLOGIA AMBIENTAL</p>	<p>NÚMERO BI-03/2010</p>
--	--	--

BOLETIM INTERNO BI-03/2010

Recife, 27 de maio de 2010.

Cliete: ASSOCIAÇÃO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO / ITEP - OS
Natureza do trabalho: Análise físico-química
Material: 04 (quatro) amostras de águas pluviais (Dreno)

RESULTADOS

Identificação do Cliente	Parâmetros	Resultados	Unidades	Data / Hora da coleta
Praia de Bairro Novo (na frente do Posto Total)	pH	7,58	-	06-05-10 15:55
	Demanda Química de Oxigênio	459,0	mg O ₂ /L	
	Demanda Bioquímica de Oxigênio	112,8	mg O ₂ /L	
	Sólidos Sedimentáveis	9,0	mL/L	
	Óleos e Graxas Total	22,4	mg/L	

Identificação do Cliente	Parâmetros	Resultados	Unidades	Data / Hora da coleta
Praia do Carmo (atrás dos correios)	pH	7,26	-	06-05-10 14:35
	Demanda Química de Oxigênio	8,27	mg O ₂ /L	
	Demanda Bioquímica de Oxigênio	1,0	mg O ₂ /L	
	Sólidos Sedimentáveis	<0,1	mL/L	
	Óleos e Graxas Total	6,8	mg/L	

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP
 Av. Professor Luiz Freire, 700 - Cidade Universitária - Recife - PE - CEP: 50.740-540
 PABX: 81 3272.4399 Fax: 81 3272.4272 www.itep.br e-mail: itep@itep.br
 CNPJ: 05.774.391/0001-15

01/02

Anexo III

 <p>ITEP Instituto de Tecnologia de Pernambuco</p>	<p>BOLETIM INTERNO LABTAM LABORATÓRIO DE TECNOLOGIA AMBIENTAL</p>	<p>NÚMERO BI-03/2010</p>
--	--	--

BOLETIM INTERNO BI-03/2010

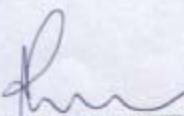
Identificação do Cliente	Parâmetros	Resultados	Unidades	Data / Hora da coleta
Praia de Bairro Novo (na frente do Posto Total)	pH	7,7	-	13-05-10 07:30
	Demanda Química de Oxigênio	150,5	mg O ₂ /L	
	Demanda Bioquímica de Oxigênio	1,0	mg O ₂ /L	
	Sólidos Sedimentáveis	1,2	mL/L	
	Óleos e Graxas Total	9,75	mg/L	

Identificação do Cliente	Parâmetros	Resultados	Unidades	Data / Hora da coleta
Praia do Carmo (atrás dos correios)	pH	7,5	-	13-05-10 07:58
	Demanda Química de Oxigênio	12,8	mg O ₂ /L	
	Demanda Bioquímica de Oxigênio	2,0	mg O ₂ /L	
	Sólidos Sedimentáveis	<0,1	mL/L	
	Óleos e Graxas Total	9,8	mg/L	

Observações:

- a) Coleta realizada pelo cliente;
- b) As amostras analisadas fazem parte da tese de mestrado do aluno Luis Augusto de Góis;
- b) Métodos utilizados / APHA - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st edition, 2005.


 MSc. Genilda M. Oliveira
 Química Industrial
 C.R.Q. 01.201.130-PE


 Dr. Antônio Hélder Parente
 Químico Industrial
 C.R.Q. 01.202.141-PE

LABTAM – FQ – 652 e 653 (1ª coleta) / FQ – 689 e 690 (2ª coleta)
 O.S. nº1207/2010
 Laboratório de Tecnologia Ambiental

02/02

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP
 Av. Professor Luiz Freire, 700 – Cidade Universitária – Recife – PE – CEP: 50.740-540
 PABX: 81 3272.4399 Fax: 81 3272.4272 www.itep.br e-mail: itep@itep.br
 CNPJ: 05.774.391/0001-15



Aplicação ao Porto de Sines (Portugal) de uma nova Metodologia de Avaliação do Risco para a Navegação Portuária utilizando o Sistema de Informação Geográfica Guiomar *

Application to the Port of Sines (Portugal) of a new Tool for Risk Assessment in Port Navigation using the GIS Guiomar System

Diogo Ruben Neves ^{@,1}, Sara Rodrigues¹, Maria Teresa Reis¹,
Conceição Juana Fortes¹, João Alfredo Santos¹

RESUMO

O presente trabalho descreve a primeira utilização do sistema integrado para modelação numérica em engenharia portuária e costeira, GUIOMAR, na avaliação do risco para a navegação em zonas portuárias. Trata-se de um sistema desenvolvido no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) com o software comercial de Informação Geográfica, ArcGIS™.

Foi criado um conjunto de procedimentos automáticos que implementa uma metodologia de avaliação do risco para a navegação, com base na altura do movimento vertical de um navio provocado pela agitação incidente no navio ao longo da trajectória deste. A metodologia de avaliação do risco considera que o grau de risco é o produto do grau atribuído à probabilidade de ocorrência de movimentos verticais de um navio que ultrapassam um limiar pré-estabelecido pelo grau atribuído às consequências dessa excedência.

Para testar os procedimentos automáticos de avaliação do risco para a navegação, utilizaram-se os registos de agitação marítima do período de 1988 a 2002 da bóia-ondógrafo localizada ao largo do Porto de Sines e transferiram-se esses registos para o interior do porto, utilizando dois modelos numéricos de propagação e deformação da agitação marítima (SWAN e DREAMS), contidos no próprio sistema GUIOMAR. O modelo numérico WAMIT foi utilizado para o cálculo dos movimentos verticais de dois navios. O resultado deste trabalho consistiu na criação de mapas de risco para três trajectórias distintas de entrada no Porto de Sines: uma com destino ao terminal petrolífero, outra ao terminal multiusos e outra ao porto de pesca.

Estes desenvolvimentos no sistema GUIOMAR contribuem para que ele constitua um sistema fiável, simples e rápido de suporte à tomada de decisão em estudos portuários e costeiros.

Palavras-chave: Avaliação de Risco, Navegação, Sistemas de Informação Geográfica, GUIOMAR, Porto de Sines.

@ - Autor correspondente

¹ LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal. e-mails: Neves - DNEVES@LNEC.PT; Rodrigues - srodrigues@lnecc.pt; Reis - treis@lnecc.pt; Fortes - jfortes@lnecc.pt; Santos - jasantos@lnecc.pt.

* Submissão – 7 Setembro 2010; Avaliação – 2 Outubro 2010; Recepção da versão revista – 20 Outubro 2010; Disponibilização on-line – 14 Janeiro 2011

ABSTRACT

This paper describes a first approach on the port navigation risk assessment using GUIOMAR, an integrated system for port and coastal engineering modelling developed at the National Civil Engineering Laboratory (LNEC), Portugal, using the GIS software ArcGIS™.

One of the major concerns in naval and port engineering is the navigation safety within a port. When there is an obvious lack of security, the consequences might be devastating. Losses of human lives, cargo disturbances and environmental impacts can heavily penalize the maritime industries. Consequently, it has become increasingly important to develop methodologies and tools for risk assessment in port navigation.

To assess the risk in port navigation, an integration of sea wave data near the port with numerical simulations is required, thus enabling the definition of the least favorable scenarios in terms of port navigation. A better understanding of the sea wave characteristics can be obtained using the numerical models of wave propagation and deformation that allow the simulation of relevant scenarios.

However, since numerical models lead to large amounts of information, their implementation is complex and requires time for both preparation of the input data and results analysis. It is in this aspect that Geographical Information Systems (GIS) are an asset, allowing a better understanding of spatial and temporal information associated with complex natural phenomena through the sampling of trends and patterns that are essential in any decision-making process.

In this context, the GUIOMAR system (Neves et al., 2009a,b) has been developed at the National Civil Engineering Laboratory (LNEC), Portugal, to become an integrated system for port and coastal engineering modelling in Portugal. Since this system is based on the GIS commercial software ArcGis™, it enables the application of wave propagation models using all the functionalities inherent to GIS software and will certainly help in the management of port and coastal zones.

A set of automatic procedures was designed to include a new methodology for navigation risk assessment based on the height of the wave-induced vertical movement of a ship along her trajectory. For each ship considered, the methodology can be summarized in three major steps: (i) determination of the wave regime at the gravity centers of the sections of the ship's trajectory within the port; (ii) determination of the amplitude of the vertical movements of a selected point in the ship in each of those gravity centers; and (iii) evaluation of the port navigation risk by assessing the product of the degree of probability of exceedance of a pre-set threshold for the ship's vertical movements by the degree of its consequences.

To test these new procedures, a set of sea wave records of the Sines wave-buoy from 1988 to 2002 was transferred into the Sines Port using two numerical models for sea wave propagation and deformation (SWAN and DREAMS), included in the GUIOMAR system. The numerical model WAMIT was used for estimating the wave-induced vertical movements of two ships inside the port. By applying these new procedures, automatic generation of risk maps was carried out for three different trajectories for entrance voyages into the port: one ending at the oil terminal, another at the multipurpose terminal and another at the fishing port.

These developments do contribute towards a more versatile and efficient GUIOMAR system, which results in a more adequate tool to support decision-making processes in port and coastal management.

Keywords: Risk Assessment, Navigation, Geographical Information Systems, GUIOMAR, Port of Sines.

1. INTRODUÇÃO

Uma das principais preocupações para engenheiros navais e portuários é a segurança dos navios durante a navegação no interior de um porto. As consequências podem ser graves quando existe manifesta falta de segurança. As perdas a nível de bens materiais, de vidas e para o ambiente são fortemente penalizadoras para as indústrias marítimas. Por estes motivos, tem-se tornado cada vez mais importante o desenvolvimento de metodologias e ferramentas capazes de avaliar o risco para a navegação portuária.

Para alcançar este objectivo e dada a natureza dos portos, o conhecimento da agitação marítima e dos seus efeitos na navegação é fundamental. Neste campo, os modelos numéricos dão um contributo

importante, permitindo, de forma rápida e concisa e abrangendo domínios relativamente extensos, a simulação de cenários reais e especialmente daqueles menos favoráveis do ponto de vista da segurança. Contudo, a aplicação dos modelos numéricos é complexa e requer tempo, não só para a preparação dos dados de entrada, mas também para a análise dos resultados obtidos, já que os modelos numéricos são capazes de produzir grandes quantidades de informação. É nesta vertente que os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são uma mais-valia, pois permitem uma análise espacial e temporal da informação associada a fenómenos naturais complexos através da amostra de tendências e padrões, essenciais em processos de tomada de decisão que se

pretendem céleres. Em particular, os sistemas SIG têm a capacidade de facilmente produzir mapas de risco de acordo com procedimentos automáticos baseados em dados e resultados de modelos numéricos, facilitando assim o processo de tomada de decisão na gestão portuária e costeira.

Neste contexto, tem vindo a ser desenvolvido no LNEC um sistema integrado aplicado à costa portuguesa para modelação da agitação marítima em zonas portuárias e costeiras, GUIOMAR (Zózimo e Fortes, 2007; Zózimo *et al.*, 2008; Neves *et al.*, 2009a). Este é um sistema construído com base no software comercial ArcGIS™, permitindo a utilização de vários modelos numéricos de propagação de ondas num ambiente SIG. Tal sistema foi desenvolvido com os objectivos de facilitar a utilização de modelos de propagação da agitação marítima e de apoiar a tomada de decisão em estudos de engenharia portuária e costeira.

O presente trabalho descreve os novos desenvolvimentos introduzidos no sistema GUIOMAR na área da avaliação do risco para a navegação no interior de um porto. Foi estabelecida uma metodologia recorrendo aos modelos numéricos de geração, propagação e dissipação da agitação marítima SWAN (Booij *et al.*, 1999), e DREAMS (Fortes, 2002), e ao modelo numérico WAMIT (Newman e Scavounos, 1988), para o cálculo dos movimentos de um navio. A metodologia de avaliação de risco foi implementada como um novo módulo no sistema GUIOMAR, que aplica os procedimentos de avaliação de risco de forma automática e possibilita ao utilizador a elaboração de mapas de risco pré-formatados.

Este novo módulo do sistema GUIOMAR foi aplicado ao Porto de Sines, uma das entradas marítimas mais importantes para Portugal e para a Europa, localizado na costa sudoeste de Portugal continental (37°57'N e 08°53'W). O caso de estudo envolveu: (i) o cálculo do regime geral de agitação em vários pontos na entrada e no interior do porto a partir dos dados medidos entre 1988 e 2002 na bóia-ondógrafo situada ao largo do Porto de Sines (37°55'N e 08°55'W); (ii) o cálculo dos movimentos verticais de um ponto seleccionado em cada um dos dois navios nos baricentros das regiões consideradas nas trajectórias respectivas de entrada no porto; e (iii)

cálculo do grau de risco associado à excedência de limiares pré-estabelecidos para um dado movimento vertical, a partir da análise quantitativa da probabilidade de ocorrência dessa excedência e da análise qualitativa das consequências da mesma. Os resultados são ilustrados através de mapas do risco para a navegação relativamente aos movimentos verticais dos navios.

2. METODOLOGIA

A metodologia de avaliação do risco para a navegação portuária consiste na combinação da probabilidade de ocorrência de movimentos verticais de um navio que excedem um limiar pré-estabelecido com as respectivas consequências. Para tal, é necessário primeiramente determinar para um ponto seleccionado do navio em estudo a altura do movimento vertical induzido pela agitação marítima ao longo da trajectória do navio.

Para cada navio considerado e para cada uma das regiões da trajectória do navio no interior do porto, a metodologia proposta neste trabalho consiste em três passos fundamentais (Figura 1):

- Definição do regime de agitação marítima no interior do porto. Neste trabalho, partiu-se das condições de agitação marítima medidas ao largo e recorreu-se a dois modelos numéricos de propagação de ondas: a) SWAN (Booij *et al.*, 1999); e b) DREAMS (Fortes, 2002) para a transferência dessas condições para o interior do porto;
- Cálculo do movimento vertical de um ponto seleccionado do navio utilizando o modelo numérico WAMIT (Newman & Scavounos, 1988), para a interacção de corpos flutuantes com ondas;
- Cálculo do grau de risco associado à excedência do limiar pré-estabelecido para os movimentos verticais do navio através da análise quantitativa da probabilidade desse limiar ser excedido e de uma análise qualitativa das respectivas consequências. Os resultados são ilustrados através de mapas de risco para a navegação associado aos movimentos verticais do navio.

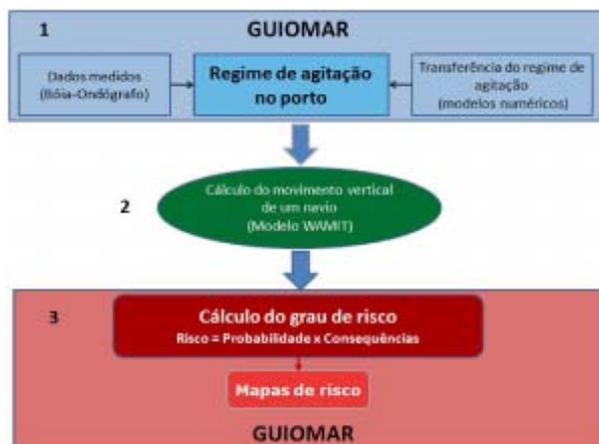


Figura 1 – Metodologia de avaliação do risco.

Figure 1 – Risk assessment methodology.

A metodologia de avaliação de risco foi implementada no GUIOMAR através de um novo módulo que aplica automaticamente os procedimentos de avaliação de risco e produz mapas de risco pré-formatados.

As secções seguintes descrevem sucintamente os procedimentos associados a cada um dos passos apresentados anteriormente.

2.1. Regime de agitação marítima no interior do porto

Para definir o regime de agitação marítima no interior do porto, são considerados os seguintes passos (Figura 2):

- Definição do regime de agitação marítima ao largo do porto (bóia-ondógrafo), em função da altura de onda significativa, HS, do período médio de zero ascendente, TZ e da direcção média, DIR;
- Cálculo da matriz de transferência das condições de agitação do largo (bóia-ondógrafo) para o interior do porto utilizando modelos numéricos de propagação de ondas;
- Uso do programa REGIMES (Pinheiro *et al.*, 2006b) e da matriz de transferência para transferir os dados do largo (bóia-ondógrafo) para os pontos localizados no interior do porto;
- Definição do regime de agitação marítima no interior do porto, em função de HS, do período de pico do espectro, TP e de DIR.

Em Neves *et al.* (2010) apresenta-se uma descrição mais detalhada destes passos.

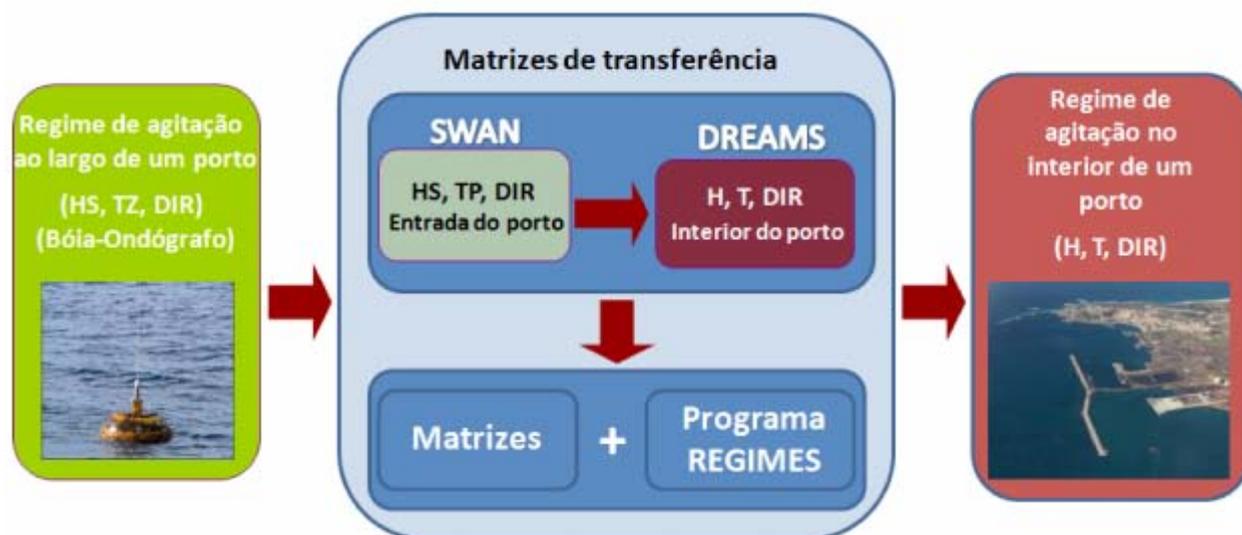


Figura 2 - Passos para a definição do regime de agitação marítima no interior de um porto.

Figure 2 - Steps to define the wave regime inside a port. 11

2.2. Cálculo dos movimentos do navio

Escolhido o navio cujo comportamento se pretende estudar, utiliza-se o modelo numérico WAMIT (Newman & Sclavounos, 1988) para determinar a matriz de transferência que estima a altura da componente vertical do movimento de um ponto do navio a partir da profundidade da zona onde o navio se desloca, do período da onda e do ângulo entre o eixo longitudinal do navio e o vector número de onda da onda incidente no navio.

Na abordagem preliminar que aqui se descreve, não se levou em conta nem a velocidade de avanço do navio, nem o facto de se ter agitação marítima incidente no navio, em vez de ondas regulares.

Em resumo, em qualquer um dos baricentros dos trechos em que se dividiu a zona passível de ocupação pelo navio em estudo na sua trajectória de entrada no porto, basta conhecer a batimetria do porto nesse ponto, as características da ondulação local incidente (altura, período e direcção) e o rumo do navio. Com essa informação (a altura da onda excluída) determina-se, com a matriz de transferência, a altura do movimento do ponto de interesse para uma onda incidente com altura unitária. Sendo linear a interacção entre o navio e as ondas, o produto da altura do movimento resultante da matriz de transferência pela altura correspondente da onda incidente fornece a altura do movimento para aquela onda.

2.3. Avaliação do risco

2.3.1. Metodologia

Neste artigo, a avaliação do risco para a navegação de um navio tem em conta apenas o movimento vertical de um ponto seleccionado do navio obtido dos resultados do modelo WAMIT. Desta forma, determina-se o risco para a navegação associado à excedência de um limiar pré-estabelecido para a altura daquele movimento em cada um dos trechos em que se divide a área do porto varrida pelo navio na sua trajectória de entrada no porto.

A metodologia de avaliação de risco para uma dada zona portuária que foi implementada no sistema GUIOMAR baseia-se em cinco etapas principais, resumidas na Figura 3 e que se encontram descritas com algum detalhe em Neves et al. (2010).

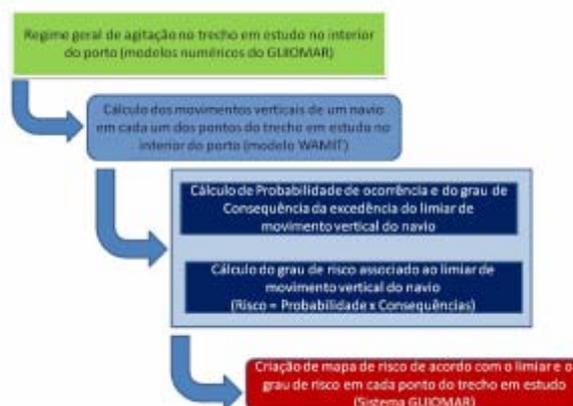


Figura 3 - Metodologia para a avaliação de risco numa zona portuária.

Figure 3 - Risk assessment methodology for port navigation

2.3.2. Probabilidade de ocorrência

Na Tabela 1 apresenta-se uma classificação preliminar da probabilidade de ocorrência de movimentos verticais de um navio que excedem um limiar pré-estabelecido.

Tabela 1 - Probabilidade de ocorrência de movimentos verticais de um navio que excedem um limiar pré-estabelecido.

Table 1 - Probability of exceedance of pre-set thresholds of the ship's vertical movements.

Descrição	Probabilidade de Ocorrência (Guia de Orientação)	Grau
Improvável	0 – 1%	1
Raro	1 – 10%	2
Ocasional	10 – 25%	3
Provável	25 – 50%	4
Frequente	> 50%	5

2.3.3. Consequências

Na Tabela 2 apresenta-se uma descrição preliminar das consequências da ocorrência de movimentos verticais excessivos de um navio. Esta tabela foi construída com base no guia do *New Zealand Maritime Safety Authority* (2004). A tabela foi elaborada tendo em conta as consequências para as pessoas, para o navio (tanto a nível do próprio navio, como da sua mercadoria), para o ambiente e para a gestão portuária.

Tabela 2 - Consequências da ocorrência de movimentos verticais de um navio que excedem um limiar pré-estabelecido.

Table 2 - Consequences of exceedance of pre-set thresholds of the ship's vertical movements.

Descrição	Consequências (Guia de Orientação)				Grau
	Pessoas	Património	Ambiente	Gestão Portuária	
Insignificantes	Existe a possibilidade de ferimentos muito ligeiros	Insignificante	Impacto ambiental desprezível (< 10 ⁴ €)	Insignificante (< 10 ⁴ €)	1
Reduzidas	Uma única lesão ligeira	10 ¹ - 10 ² €	Pequenos derramamentos de óleo devidos a movimentos operacionais (10 ² - 10 ³ €)	Má publicidade local para o porto (10 ² - 10 ³ €)	2
Sérias	Múltiplas lesões ligeiras ou uma única lesão grave	10 ² - 10 ³ €	Embarcação passível de ser limitada a uma zona de segurança do porto (10 ³ - 10 ⁶ €)	Má publicidade generalizada; possível encerramento parcial temporário ou prolongadas restrições à navegação (10 ³ - 10 ⁶ €)	5
Muito Sérias	Muitas lesões graves ou uma perda de vida	10 ³ - 10 ⁴ €	Esperados episódios de poluição dentro e fora do porto com potenciais perdas irreversíveis para o ambiente (10 ⁶ - 10 ⁷ €)	Má publicidade a nível nacional; encerramento temporário do canal de navegação afectando a actividade e navegação no porto durante vários dias; perda de comércio (10 ⁶ - 10 ⁷ €)	10
Catastróficas	Muitas perdas de vida	> 10 ⁴ €	Derrame de petróleo grave; necessária ajuda internacional; contaminação séria; perdas irreversíveis para o ambiente (> 10 ⁷ €)	Má publicidade internacional; encerramento do porto; navegação interrompida durante um longo período; perda séria e prolongada de comércio (> 10 ⁷ €)	25

Os valores do grau de consequências foram atribuídos de forma a ser possível, no cálculo do grau de risco (secção 2.3.4), ter em conta a importância do risco no que diz respeito ao seu controlo e priorização.

2.3.4. Risco

O risco é definido como o produto da probabilidade de ocorrência de movimentos verticais de um navio que excedem um limiar pré-estabelecido pelo valor atribuído às suas consequências. No âmbito da metodologia aqui apresentada, faz-se apenas uma avaliação qualitativa do risco para a navegação, resultando o grau de risco do produto dos graus atribuídos à probabilidade de ocorrência (Tabela 1) e às consequências (Tabela 2). A matriz de cruzamento

destes dois graus encontra-se apresentada na Tabela 3 enquanto na Tabela 4 se descreve a avaliação da aceitabilidade do grau de risco obtido.

3. SISTEMA GUIOMAR

O sistema GUIOMAR (Zózimo & Fortes, 2007; Zózimo et al., 2008; e Neves et al., 2009a,b) é um sistema integrado para a modelação numérica em engenharia portuária e costeira, desenvolvido em linguagem de programação VBA (*Visual Basic for Applications*), num Sistema de Informação Geográfica (SIG). São três as suas componentes principais:

- i) Um sistema de informação geográfica, e neste caso, o *software* comercial de SIG o ArcGIS™;
- ii) Um conjunto de seis módulos correspondentes a diferentes modelos de propagação e deformação

da agitação marítima com diferentes domínios de aplicação;

- iii) Uma interface gráfica (GUI), desenvolvida na linguagem de programação VBA, responsável pela ligação entre o *software* SIG e os modelos numéricos de propagação de ondas, possibilitando: a) a execução dos modelos numéricos; b) o pré e pós processamento de dados e de resultados dos modelos numéricos; e c) a utilização de funcionalidades existentes no *software* SIG, tais como a análise e a visualização de dados e resultados, tanto em 2D como em 3D.

Presentemente, o sistema GUIOMAR alberga seis módulos/modelos: três modelos baseados na equação de declive suave - DREAMS (Fortes, 2002), REF/DIF 1 (Dalrymple & Kirby, 1991), e REF/DIF S (Kirby & Ozkahn, 1994); dois modelos baseados na equação de

Boussinesq - FUNWAVE 1D e 2D (Kirby et al., 1998) e o modelo espectral de geração, propagação e dissipação da agitação marítima - SWAN (Booij et al., 1999). O programa GMALHA (Pinheiro et al., 2006a) constitui também um módulo, sendo responsável pela geração de malhas computacionais não estruturadas para os modelos numéricos e pode correr independentemente ou acoplado.

A natureza modular do sistema permite ao programador efectuar de forma fácil os melhoramentos e actualizações, tal como a inclusão de novos modelos numéricos com capacidades superiores e que simulem diferentes processos físicos. O sistema GUIOMAR caracteriza-se pela implementação, em termos de programação do sistema, de vários procedimentos automáticos para reduzir a ocorrência de erros humanos e para acelerar a familiarização do utilizador com os procedimentos de operação dos modelos numéricos.

Tabela 3 - Grau de risco.

Table 3 - Risk level.

GRAU DE RISCO		Consequências				
		1	2	5	10	25
Probabilidade de Ocorrência	1	1	2	5	10	25
	2	2	4	10	20	50
	3	3	6	15	30	75
	4	4	8	20	40	100
	5	5	10	25	50	125

Tabela 4 - Avaliação da aceitabilidade do grau de risco obtido.

Table 4 - Assessment of the acceptability of the risk level.

Grau	Descrição	Controlo do Risco (Guia de Orientação)
1 – 3	Insignificante	Risco desprezável; não é preciso levar a cabo medidas de controlo de risco.
4 – 10	Acceptável	Risco que pode ser considerado tolerável caso se seleccione um conjunto de medidas para o seu controlo.
15 – 30	Indesejável	Risco que deve ser evitado se for razoável em termos práticos; requer uma investigação detalhada e análise de custo-benefício; é essencial a monitorização.
40 – 125	Inaceitável	Risco intolerável; tem que se proceder ao controlo do risco (i.e. eliminar a origem dos riscos, alterar a probabilidade de ocorrência e/ou as consequências, transferir o risco, etc.).

A Figura 4 mostra a estrutura do sistema GUIOMAR.

É através da barra de ferramentas que o utilizador escolhe o modelo a aplicar de acordo com o estudo que desejar fazer. Uma vez seleccionado o modelo, é escolhida a directoria de trabalho para o projecto e é apresentada uma série de formulários que ajudam o utilizador a introduzir, manipular e visualizar os dados de entrada no modelo e a correr o modelo numérico seleccionado. Posteriormente, os resultados

produzidos podem ser visualizados acedendo à zona de visualização dos resultados nos formulários referentes a cada modelo.

O mais recente desenvolvimento no sistema GUIOMAR consiste num módulo que produz automaticamente mapas de risco de acordo com a metodologia apresentada na secção 2.3.1. A Figura 5 representa a barra de ferramentas do sistema GUIOMAR através da qual é possível aceder à área de produção de mapas de risco.

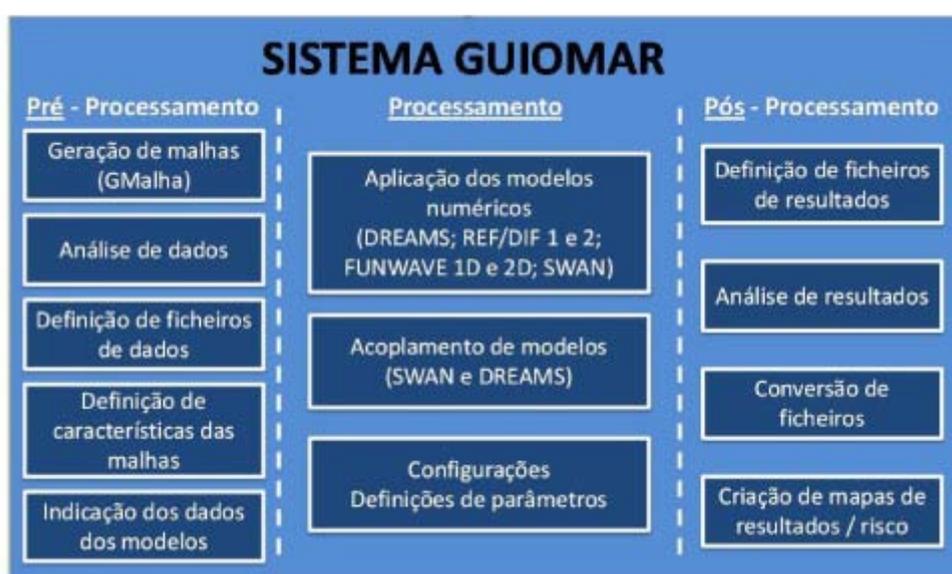


Figura 4 - Estrutura do sistema GUIOMAR.

Figure 4 - Structure of the GUIOMAR system.



Figura 5 - Barra de ferramentas GUIOMAR com opção para avaliação de risco.

Figure 5 - GUIOMAR toolbar with the Risk Assessment option

Depois de accionar a tecla “RiskAssessment”, surge uma nova interface gráfica no GUIOMAR (Figura 6) capaz de, em 3 passos, construir o mapa de risco associado a movimentos verticais do navio e, se desejável, exportar os resultados de forma visível no Google Earth™:

1. “Load site image” – carrega a imagem georreferenciada do local para o ambiente de trabalho do ArcGis™;
2. “Load local risk Assessment” – Lê o ficheiro (.txt) com o grau de risco associado a cada ponto em estudo e transforma em *shapefile* no ArcGis™, atribuindo uma bandeira cuja cor reflecte o grau de risco associado a cada ponto;
3. “Export to Google Earth” – Exporta os pontos e as cores das respectivas bandeiras que sinalizam o risco em cada ponto num ficheiro (.kmz) para abrir em Google Earth™.

O ficheiro criado durante o cálculo do grau de risco conterá a localização geográfica, em coordenadas militares, de cada ponto em estudo e o valor correspondente do grau de risco.

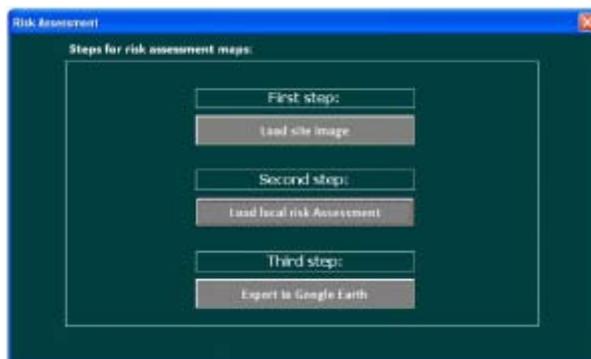


Figura 6 - Interface GUIOMAR para a criação dos mapas de risco para a navegação.

Figure 6 - GUIOMAR graphical interface for the establishment of navigation risk maps.

4. CASO DE ESTUDO

4.1. O Porto de Sines

O Porto de Sines, localizado a 37°57'N e 08°53'W, é uma das principais entradas comerciais e económicas da Península Ibérica, considerando-se um porto de extrema importância geográfica e estratégica para Portugal e Espanha (Figura 7).



Figura 7 - Porto de Sines.

Figure 7 - Port of Sines.

Neste momento, o complexo do Porto de Sines é composto por várias infra-estruturas marítimas para abrigo e acostagem, tornando-o num dos poucos portos europeus de águas profundas que permitem a acostagem de navios de grande porte. Os elevados valores anuais de movimentação de mercadorias (essencialmente granéis líquidos e sólidos) fazem do Porto de Sines o primeiro porto nacional em tonelagem anual movimentada.

Uma vez que se pretende avaliar o risco associado aos movimentos verticais de dois navios ao longo das suas trajectórias de entrada no Porto de Sines e como esses movimentos são causados pela agitação marítima, apresenta-se a caracterização da agitação marítima ao longo dessas trajectórias (na zona de entrada do porto e no interior do porto), bem como a resposta dos navios seleccionados à acção das ondas.

4.2. Cálculo do regime de agitação marítima no interior do Porto de Sines

4.2.1. Introdução

Para a caracterização da agitação marítima ao longo das trajectórias de entrada dos navios no Porto de Sines, recorreu-se aos dados de agitação marítima da bóia-ondógrafo designada por “Sines 1D”, localizada ao largo do Porto de Sines (37°55’N e 08°55’W). O conjunto de dados utilizados perfaz um total de 32 807 registos obtidos entre Maio de 1988 e Dezembro de 2002 (Pinheiro *et al.*, 2004).

Estes valores foram transferidos para o interior do porto com recurso a dois modelos de propagação e deformação da agitação marítima: o modelo SWAN (Booij *et al.*, 1999) e o modelo DREAMS (Fortes, 2002). Com efeito, dados os diferentes domínios de aplicabilidade de cada modelo, houve a necessidade de acoplar estes dois modelos numéricos para a zona marítima do Porto de Sines (Figura 8).

O modelo SWAN permitiu a propagação e deformação das ondas desde águas profundas até junto à entrada do porto. Contudo, não pode ser utilizado em zonas confinadas, já que não simula correctamente as reflexões de onda provocadas pelo contorno da bacia portuária. Por este motivo, para propagar a agitação obtida à entrada do porto para o seu interior, tornou-se imperativo o uso do modelo DREAMS, que tem em conta os fenómenos

característicos das reflexões no interior de portos, mas que tem a sua utilização limitada a pequenas áreas, devido ao esforço computacional que envolve.

Ainda assim, o tempo de cálculo necessário para executar os dois modelos para uma série de 32 807 registos da bóia continua a ser um factor limitativo, demorando cada simulação com ambos os modelos cerca de 45 minutos. Para a totalidade dos registos seriam necessários vários meses para efectuar todos os cálculos.

Desta forma, seguindo a metodologia descrita na secção 2.1, após o cálculo das matrizes de transferência para cada modelo e através da aplicação do programa REGIMES, é obtido o regime de agitação no interior do Porto de Sines. Resumindo, os passos que definem o procedimento para o caso de estudo considerado são (Figura 2):

- Definição do regime de agitação marítima ao largo do porto (i.e. na bóia-ondógrafo “Sines 1D”);
- Cálculo da matriz de transferência das condições de agitação do largo (bóia-ondógrafo) para a entrada do porto utilizando o modelo SWAN;
- Cálculo da matriz de transferência das condições de agitação da entrada do porto para o interior do mesmo utilizando o modelo DREAMS;
- Uso do programa REGIMES e das matrizes de transferência para transferir os dados do largo (bóia-ondógrafo) para os pontos seleccionados na entrada e no interior do porto;
- Definição do regime de agitação marítima no interior do porto.

Seguidamente, são apresentadas as condições para as quais os modelos foram aplicados, as suas matrizes de transferência e o regime de agitação nos pontos considerados.

4.2.2. Regime de agitação ao largo

A Figura 9 apresenta o regime geral observado na bóia-ondógrafo de Sines baseado no total de 32 807 registos obtidos entre Maio de 1988 e Dezembro de 2002.

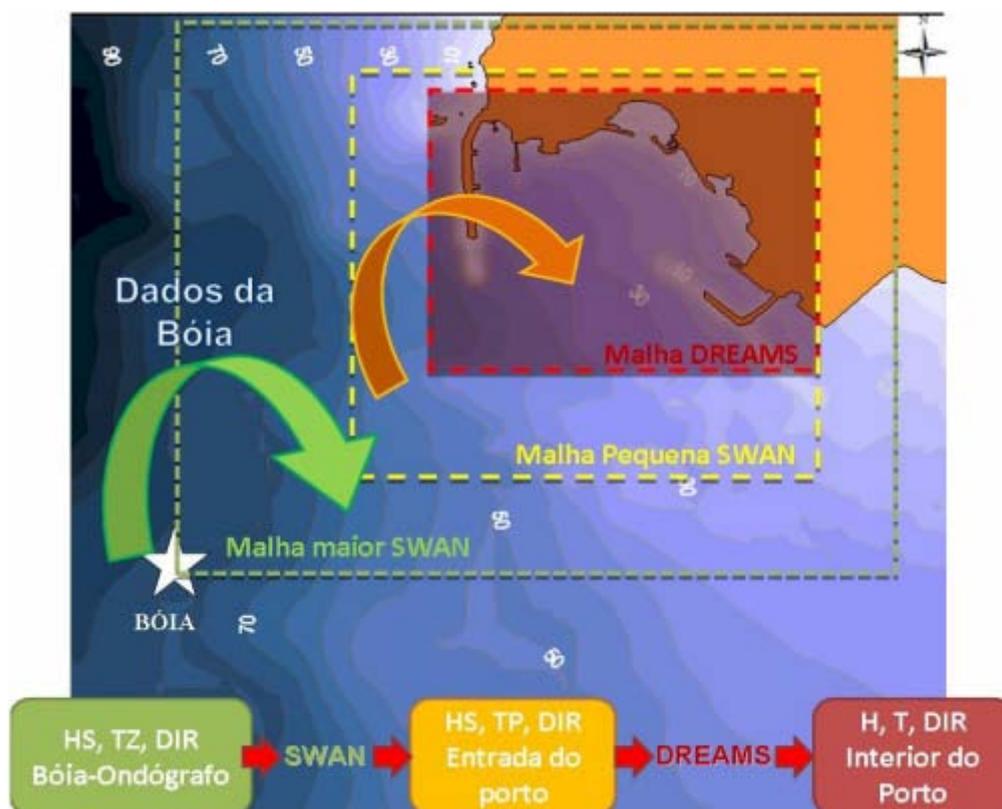


Figura 8 - Metodologia para a transferência do regime de agitação marítima do largo (bóia-ondógrafo Sines-1D) para o interior do Porto de Sines.

Figure 8 - Methodology to transfer the wave regime from offshore (wave-buoy Sines 1D) into the Port of Sines.

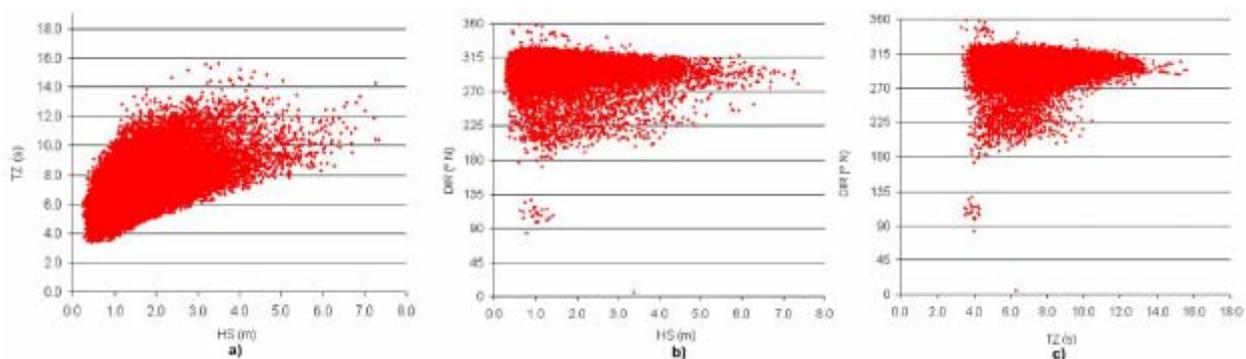


Figura 9 - Regime geral observado. Relações HS-TZ, HS-DIR e TZ-DIR dos registos na bóia-ondógrafo de Sines (Maio-1988 a Dez-2002).

Figure 9 - Wave regime. HS-TZ, HS-DIR e TZ-DIR relation diagrams from the Sines wave-buoy records (from May-1988 to Dec-2002).

A Tabela 5 apresenta os valores estatísticos dos máximos, médias, mínimos, desvios padrões e gamas mais frequentes dos parâmetros de altura significativa (HS), período médio (TZ), período de pico (TP) (transformado de TZ, onde TP é 1.27 de TZ) e direcção média (DIR) das ondas.

Com base na tabela e nas figuras acima apresentadas, verifica-se que na bóia de Sines: (i) as alturas de onda significativas variam entre os 0.27 m e 7.35 m, sendo o intervalo de 1.0 m a 2.0 m aquele que regista os valores mais frequentes (48.05%); (ii) os períodos médios apresentam valores entre 3.3 s e 15.6 s, sendo os valores no intervalo de 5.0 s a 6.0 s os mais frequentes (23.37%); (iii) os períodos de pico apresentam valores entre 4.2 s e 19.8 s, sendo os valores no intervalo de 6.0 s a 7.0 s os mais frequentes (17.78%); (iv) os valores representativos das direcções médias de onda apresentam valores entre 5° e 358° sendo as direcções mais frequentes compreendidas entre 300° e 310° (32.68%), constatando-se uma grande predominância (99.96%) das direcções de Noroeste.

4.2.3. Matriz de transferência SWAN

A Figura 10(a) mostra o domínio de cálculo e a batimetria utilizados para efectuar os cálculos com o modelo SWAN (versão 40.72AB). A batimetria foi construída a partir de dados de batimetria do Instituto Hidrográfico, nomeadamente das cartas PT324204 (Dezembro 2005), PT32205 (Dezembro 2005) e PT426408 (Março 1995).

Para o modelo SWAN foram definidas 2 malhas computacionais, tendo a malha principal uma dimensão de 8 km por 8 km, cobrindo todo o

domínio de cálculo com uma resolução de 80 m, e uma segunda malha encaixada na malha principal com resolução de 40 m e uma dimensão de 5 km por 5 km. As malhas computacionais do modelo SWAN foram inteiramente construídas através do sistema GUIOMAR.

Para definir a matriz de transferência das condições de agitação do largo (bóia-ondógrafo) para a entrada do porto, o modelo SWAN foi executado 2906 vezes, para cada uma das condições de agitação ao largo resultantes da combinação de: i) 9 valores da altura significativa, de 1 m a 9 m, com uma discretização de 1 m; ii) 17 valores do período de pico, de 4 s a 20 s, com intervalos de 1 s (em que os períodos de pico TP foram obtidos assumindo um espectro de JONSWAP e $TP=1.27 \cdot TZ$); e iii) 18 valores da direcção da onda, de 180° a 360°, com intervalos de 10°.

Para cada trio de valores (HS, TP, DIR), a agitação incidente na fronteira do domínio de cálculo do SWAN (isto é, ao largo) foi definida através de um espectro bidimensional, caracterizado por um espectro em frequência do tipo JONSWAP, com um factor de pico $\gamma=3.3$ e uma função de dispersão direccional co-seno de potência 20. No cálculo do espectro da agitação ao longo do domínio impôs-se uma discretização em frequência com 23 intervalos, de 0.04 Hz a 1 Hz, e uma discretização em direcção de 2°, de 0° a 360° (180 intervalos).

Os cálculos foram efectuados em regime estacionário e consideraram-se os fenómenos de atrito de fundo, difracção, empolamento, rebentação devida à influência do fundo e à declividade da onda, e efeito da interacção entre triades de ondas (*triad wave-wave*

Tabela 5 - Valores máximos, médios, mínimos, desvios padrões e gamas mais frequentes de HS, TZ, TP e DIR da bóia-ondógrafo de Sines (Maio-1988 a Dez-2002).

Table 5 - Sea wave statistical parameters of HS, TZ, TP and DIR recorded at the Sines wave-buoy (from May-1988 to Dec-2002).

Local \ Parâmetros Estatísticos	Máximo	Média	Mínimo	Desvio Padrão	Gama mais Frequente	
Bóia	HS (m)	7.35	1.60	0.27	0.90	[1.0 - 2.0] (48.05%)
	TZ (s)	15.6	7.0	3.3	1.8	[5.0 - 6.0] (23.37%)
	TP (s)	19.8	8.8	4.2	2.3	[6.0 - 7.0] (17.78%)
	DIR (°)	358	299	5	18	[300 - 310] (32.68%)

interactions). Não se consideraram os fenómenos devidos à presença do vento (dada a pequena extensão do domínio) e de correntes (por falta de informação).

Foram definidos 11 pontos de estudo para obter resultados do modelo SWAN (Figura 10a): cinco (pontos P1 a P5) localizados na fronteira Oeste da malha do modelo DREAMS; cinco (pontos P7 a P11) localizados na fronteira Sul; e um (ponto P6) refere-se a um ponto de vértice da malha DREAMS, localizado à entrada do porto. A matriz de transferência no ponto P6 foi a utilizada nos cálculos subsequentes, uma vez que cálculos preliminares mostraram que o regime de agitação neste ponto é representativo do regime de agitação à entrada do porto (Neves et al., 2009b).

4.2.4. Matriz de transferência DREAMS

O modelo DREAMS efectuou a propagação da agitação marítima desde a entrada do Porto de Sines até ao seu interior, onde os fenómenos de refacção, difracção e reflexão são importantes. O domínio computacional e a batimetria considerados são apresentados na Figura 10 (b).

O domínio computacional foi discretizado por uma malha de elementos finitos com 300 139 elementos e 151 669 nós que foi gerada através do módulo de geração de malhas não-estruturadas

GMALHA (Pinheiro et al., 2006a).

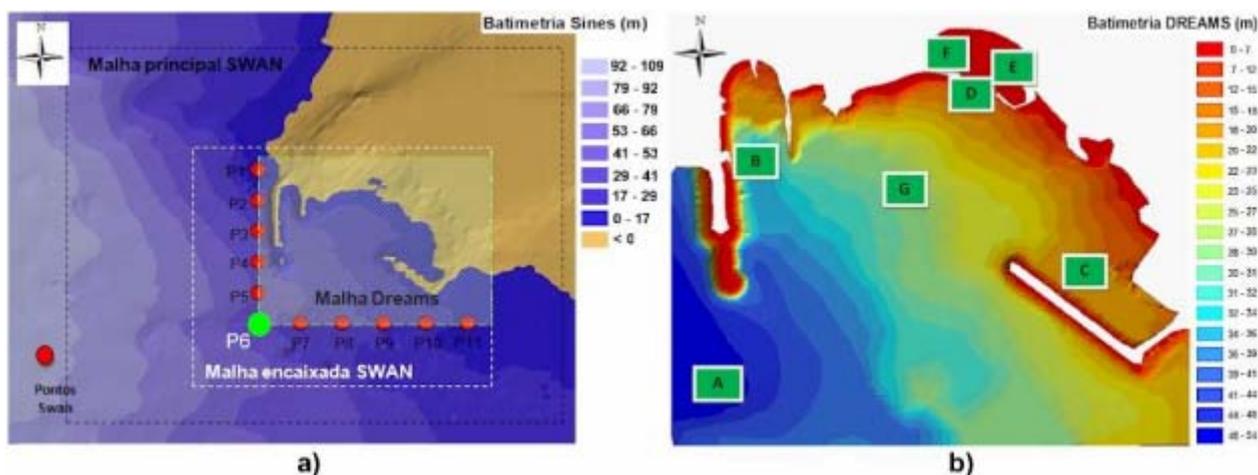
As fronteiras (Oeste e Sul, Figura 10b) são fronteiras de entrada onde se impuseram os valores de agitação incidente que, neste caso, resultaram dos valores calculados pelo modelo SWAN no ponto P6. Nas restantes fronteiras do domínio de cálculo, correspondentes aos diferentes trechos que delimitam o porto, procedeu-se ao cálculo dos respectivos coeficientes de reflexão de acordo com o método de Seeling e Arens (1995).

Os cálculos foram efectuados considerando ondas regulares com períodos (T) entre 5 s e 20 s, com 1 s de intervalo, e com direcções de onda (DIR) entre 180° e 360°, com 20° de intervalo, resultando num número total de 135 combinações (T, DIR). Desta forma, é possível abranger todos os períodos e direcções da agitação marítima passíveis de penetrar no Porto de Sines.

No porto foram definidos 7 pontos (A, B, C, D, E, F e G) de análise dos resultados do modelo DREAMS (Figura 10b), localizados na entrada (ponto A) e no interior do porto (pontos B a G). A disposição espacial dos pontos permitiu conhecer o regime de agitação marítima desde a entrada do Porto de Sines (ponto A) até ao porto de pesca e à praia de Sines na zona mais abrigada do porto (pontos D, E F), passando pelas áreas junto aos molhes Oeste e Leste

Figura 10 - (a) Batimetria SWAN com os pontos de extracção de resultados e malhas computacionais; (b) Batimetria DREAMS com a localização dos pontos A a G na entrada e no interior do porto.

Figure 10 - (a) SWAN bathymetry, computational meshes and results points; (b) DREAMS bathymetry with the location of points A to G at the entrance and inside the port.



(pontos B e C, respectivamente) e pelo centro da bacia portuária (ponto G). A matriz de transferência DREAMS foi definida para cada um destes pontos.

4.2.5. Regime de agitação no interior do porto

A aplicação do programa REGIMES aos dados de agitação na bóia de Sines, conjuntamente com as duas matrizes de transferência atrás determinadas, permitiu a transferência dos 32 807 registos da bóia para cada um dos pontos na entrada e no interior do porto e aí estabelecer os respectivos regimes de agitação.

A título de exemplo, mostram-se na Figura 11 para o ponto D (à entrada do porto de pesca) o histograma geral conjunto HS-DIR, as respectivas distribuições marginais e a rosa de direcções.

Na Tabela 6 indicam-se os valores dos parâmetros estatísticos (máximo, média, mínimo, desvio-padrão e gama mais frequente) do estado de agitação marítima na bóia e em cada ponto seleccionado (P6 e A a G).

Os resultados obtidos indicam uma clara evolução

do regime de agitação marítima desde o ponto A, junto à entrada do porto, até ao ponto F, na zona mais abrigada do porto (porto de pesca).

De facto, em termos de altura significativa, os valores apresentam um máximo de 8.05 m (média igual a 1.5 m) no ponto A, enquanto que à entrada do porto de pesca (ponto D) o máximo reduz para 3.83 m (média de 0.31 m). Devido às estruturas de protecção do porto de pesca, a altura significativa atinge, no ponto E, valores da ordem dos 2.5 m (média de 0.23 m) e no ponto F, valores inferiores a 1 m (média de 0.05 m). As zonas abrigadas pelos molhes Oeste e Leste também apresentam valores máximos de altura significativa bastante reduzidos relativamente ao ponto A, apenas um pouco acima dos 2 m.

Em relação às direcções da onda, os resultados mostram uma rotação das cristas das ondas ao longo do seu percurso desde a entrada no Porto de Sines até aos pontos seleccionados. Como seria de esperar, na entrada do porto, ponto A, não há grande variação da direcção da onda face à direcção da onda na bóia

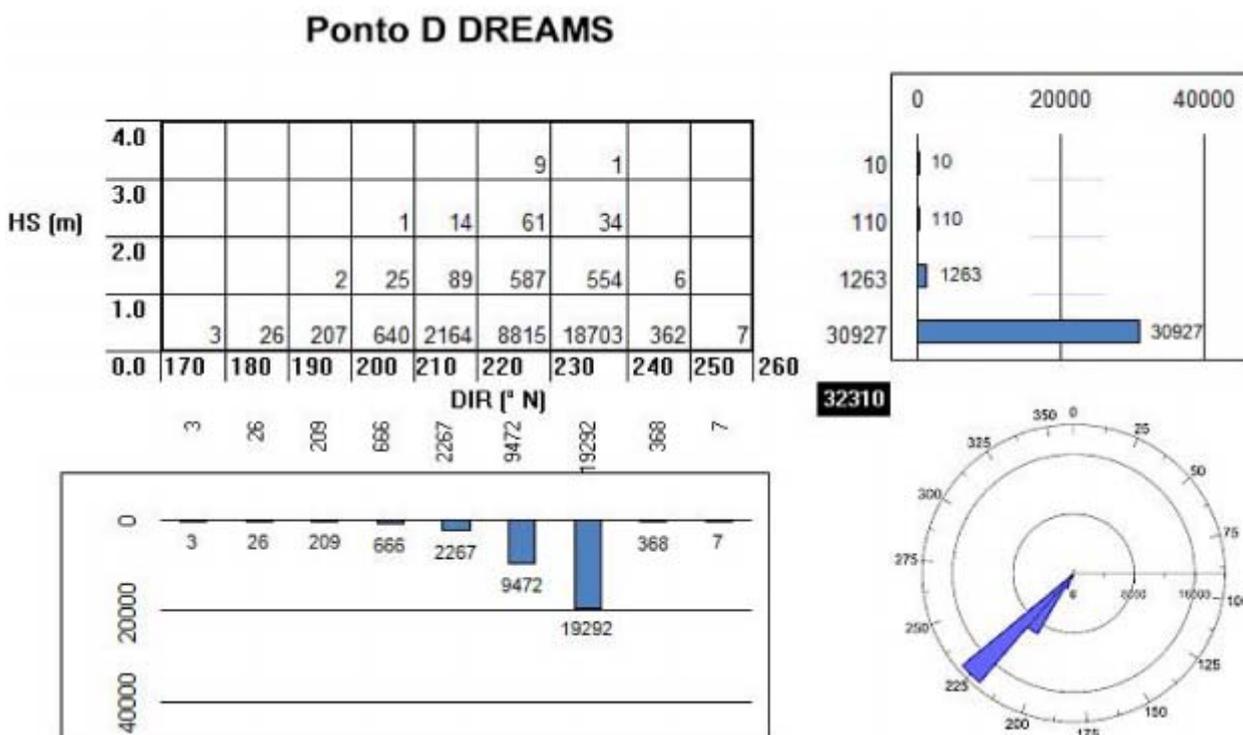


Figura 11 - Regime geral no ponto D: Histograma geral conjunto (HS, DIR) das ocorrências, respectivas distribuições marginais e rosa de direcções.

Figure 11 - Wave regime at point D: joint histogram (HS, DIR) and its marginal distributions. Wave direction rose.

(a média da direcção é de 299°). No entanto, junto aos molhes Oeste e Leste (pontos B e C), existe uma clara alteração da direcção das ondas incidentes, que depende da localização dos mesmos. Junto à entrada do porto de pesca (ponto D), a direcção média é de 220°, no porto de pesca (ponto F), a direcção média é de 102°, enquanto junto à praia de Sines (ponto E), a rotação é feita no sentido oposto, atingido uma direcção média de 224°.

4.3. Cálculo dos movimentos dos navios

Foram determinadas as respostas de dois navios em termos de altura da oscilação vertical de um ponto

seleccionado em cada navio, para diversos valores dos períodos da onda regular incidente no navio e para 25 valores do ângulo entre o eixo longitudinal do navio e a direcção de propagação da onda igualmente espaçados entre 0° e 360° e para 7 valores da razão calado/profundidade, entre 1.1 e 5.0 (para valores daquela razão superiores a 5.0 pode assumir-se que a resposta do navio não varia com a profundidade). A altura da onda incidente foi sempre igual a 1.00 m.

O primeiro navio (“navio pequeno”) tem um deslocamento de 38.9 m³, um comprimento de 12.00 m, boca de 4.42 m e calado de 1.00 m. A superfície molhada do casco foi discretizada com 534

Tabela 6 - Parâmetros estatísticos da agitação marítima na bóia-ondógrafo, no ponto SWAN (P6) e nos pontos DREAMS (A a G).

Table 6 - Sea wave statistical parameters for the wave buoy location and for points P6 and A to G.

Local \ Parâmetros Estatísticos	Máximo	Média	Mínimo	Desvio Padrão	Gama mais Frequente	
Bóia	HS (m)	7.35	1.60	0.27	0.899	[1.0 - 2.0] (48.05%)
	TP (s)	19.8	8.8	4.2	2.325	[6.0 - 7.0] (17.78%)
	DIR (°)	358	299	5	18.609	[300 - 310] (32.68%)
P6	HS (m)	7.04	1.49	0.27	0.811	[1.0 - 2.0] (49.02%)
	TP (s)	18.9	8.9	4.2	2.248	[9.0 - 10.0] (22.28%)
	DIR (°)	352	299	180	17.305	[300 - 310] (34.90%)
A	HS (m)	8.05	1.50	0.15	0.835	[1.0 - 2.0] (48.60%)
	TP (s)	18.9	8.9	5.2	2.208	[9.0 - 10.0] (22.61%)
	DIR (°)	353	299	179	17.218	[300 - 310] (37.94%)
B	HS (m)	2.20	0.17	0.01	0.204	[1.0 - 2.0] (98.75%)
	TP (s)	18.9	8.9	5.2	2.208	[9.0 - 10.0] (22.61%)
	DIR (°)	198	137	48	17.253	[140 - 150] (23.30%)
C	HS (m)	2.20	0.17	0.01	0.151	[0.0 - 1.0] (99.59%)
	TP (s)	18.9	8.9	5.2	2.208	[9.0 - 10.0] (22.56%)
	DIR (°)	360	124	0	150.930	[0 - 10] (19.95%)
D	HS (m)	3.83	0.31	0.01	0.327	[0.0 - 1.0] (95.72%)
	TP (s)	18.9	8.9	5.2	2.208	[9.0 - 10.0] (22.61%)
	DIR (°)	246	220	160	7.734	[220 - 230] (59.70%)
E	HS (m)	2.54	0.23	0.01	0.220	[0.0 - 1.0] (98.83%)
	TP (s)	18.9	8.9	5.2	2.208	[9.0 - 10.0] (22.49%)
	DIR (°)	244	224	192	6.720	[220 - 230] (56.45%)
F	HS (m)	0.98	0.05	0.01	0.058	[0.0 - 1.0] (100%)
	TP (s)	18.9	9.0	5.2	2.208	[9.0 - 10.0] (25.06%)
	DIR (°)	153	102	46	11.269	[100 - 110] (37.59%)
G	HS (m)	4.28	0.44	0.01	0.380	[0.0 - 1.0] (91.77%)
	TP (s)	18.9	8.9	5.2	2.208	[9.0 - 10.0] (22.59%)
	DIR (°)	314	221	28	35.591	[240 - 250] (28.83%)

painéis. Este navio pretendia representar uma das traineiras que frequentam o porto de pesca. Os centros de gravidades dos trechos em que se dividiu o percurso de entrada deste navio, o percurso 3, são os pontos P6, A, G, D e F. Para este navio os períodos da ondulação incidente variaram entre 1 s e 19 s com um intervalo de 1 s.

Na Figura 12 apresentam-se, para os valores da razão calado/profundidade mencionados anteriormente, a evolução da altura do movimento vertical de um ponto na linha de água do navio (-6.14, -1.19, 0.00) – valores em metros – com o período da onda incidente no navio quando o ângulo entre esta onda e o eixo longitudinal do navio é igual a 30°. Importa referir que, embora não ilustrado neste artigo, se verificou serem as ondas quase de través (ângulos entre a direcção da onda incidente no navio e o eixo longitudinal do mesmo entre 45° e 135° ou entre 225° e 315°) aquelas que produzem maiores alturas do movimento vertical do ponto – alturas iguais a 9 vezes a altura da onda incidente para ondas de través, ângulo de 90°, quando a razão calado/profundidade é 1.5.

Interessante na figura é a resposta apreciável para valores baixos do período da onda incidente no navio (3 a 5 s) e o acompanhar da onda pelo navio para os períodos mais elevados (acima de 15 s). Embora os valores apresentados na figura possam parecer exagerados, ultrapassando em alguns casos metade da profundidade da zona onde o navio está, importa não esquecer que estes são valores para uma onda cuja altura é 1 m. Para alguns dos valores de profundidade considerados, isso seria uma altura de onda exagerada, senão impossível. Além disso, para este navio cujo calado é 1 m, a viagem de entrada do navio no Porto de Sines é sempre realizada sobre regiões cuja profundidade ultrapassa cinco vezes o calado do navio, pelo que a curva de resposta do navio utilizada na maior parte dos casos é a mais baixa da figura.

O segundo navio (“navio grande”) tem um deslocamento de 119 222 m³, um comprimento de 245.04 m, boca de 43.00 m e calado de 14.1 m. Este navio, cuja superfície molhada do casco foi discretizada com 3732 painéis, pretendia representar um dos grandes navios graneleiros que frequentam o terminal petrolífero ou o terminal multi-usos do Porto de Sines. Assim ele foi utilizado em dois percursos de

entrada no Porto de Sines: percurso 1 junto ao molhe Oeste (pontos P6, A e B) e percurso 2 representativo de um movimento para o molhe Leste (pontos P6, A, G e C).

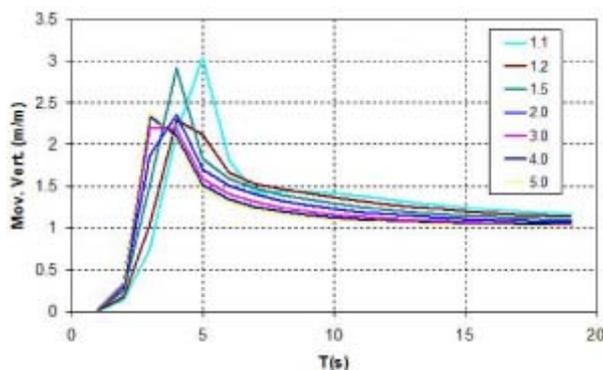


Figura 12 - Variação da altura do movimento vertical do ponto (-6.14, -1.19, 0.00) do “navio pequeno” com o período da onda incidente e a razão calado/profundidade. Ângulo entre o eixo longitudinal do navio e direcção da onda incidente igual a 30°.

Figure 12 - Variation of point (-6.14, -1.19, 0.00) vertical motion height of the “small ship” with the period of the incident wave and draught/depth ratio. 30° angle between the ship’s longitudinal axis and the wave number vector of the incident wave.

A função resposta deste navio foi determinada para um conjunto de períodos entre 6 s e 20 s com um intervalo de 1 s. A Figura 13 mostra, para valores da razão calado/profundidade entre 1.1 e 5.0, a evolução da altura do movimento vertical cujas coordenadas são (-106.20, -15.19, 0.00). Como se trata de um navio com dimensões substancialmente maiores do que o anterior, até ao período de 20 s não se observa a resposta quase hidrostática do navio à ondulação nele incidente. Tal ocorre apenas para períodos maiores do que 20 s.

Embora tenham sido testados outros pontos no casco do navio para determinação das respostas correspondentes às ondas incidentes no navio, não se observaram diferenças substanciais nas funções resposta, razão pela qual tais resultados não são aqui apresentados.

Determinada a função resposta para as gamas de profundidades, períodos e ângulos já mencionados,

procedeu-se ao cálculo da função resposta em cada um dos pontos da Tabela 7 para cada um dos navios e atendendo ao percurso correspondente. Como pode observar-se no referido quadro, o percurso determinou o ângulo a considerar entre o eixo longitudinal do navio e a direcção de propagação da onda. Neste cálculo assumiu-se uma variação linear entre os pontos de definição da função resposta de cada navio.

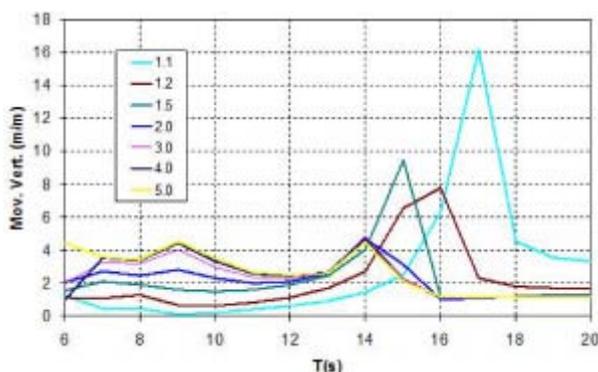


Figura 13 - Variação da altura do movimento vertical do ponto (-106.20, -15.19, 0.00) do “navio grande” com o período da onda incidente e a razão calado/profundidade. Ângulo entre o eixo longitudinal do navio e direcção da onda incidente igual a 330°.

Figure 13 - Variation of point (-106.20, -15.19, 0.00) vertical motion height of the “big ship” with the period of the incident wave and draught/depth ratio. 330° angle between the ship’s longitudinal axis and the wave number vector of the incident wave.

Uma vez definidas as funções resposta para cada navio em cada um daqueles pontos, para o cálculo da altura do movimento vertical dos navios em cada trecho da zona varrida pelo mesmo nas suas trajectórias de entrada no porto, é necessário conhecer apenas os resultados de agitação marítima obtidos com os modelos numéricos SWAN e DREAMS nos mesmos pontos, isto é, os baricentros daqueles trechos: pontos P6, A, B, C, D, F e G (Figura 14).

4.4. Avaliação de risco usando o sistema GUIOMAR

Para ilustrar e testar a metodologia apresentada na secção 2.3.1, foram definidos, a título de exemplo, os limiares de 0.5 m e 1 m para a altura do movimento vertical dos dois navios considerados e avaliado o risco de estes limiares serem excedidos, considerando a probabilidade de ocorrência e as consequências de tais eventos nos pontos dos três percursos em estudo: percurso 1 nos pontos P6, A e B; percurso 2 nos pontos P6, A, G e C; e percurso 3 nos pontos P6, A, G, D e F (Tabela 8). A Tabela 8 mostra que:

Para o navio grande:

- o Excepto nos pontos B e G, a probabilidade de ocorrência de movimentos superiores a 0.5 m ou a 1.0 m nos diferentes trechos é semelhante, conduzindo ao mesmo grau de probabilidade;
- o Como seria de esperar, as consequências associadas à ocorrência desses limiares são diferentes, sendo mais graves para o caso de 1 m;

Tabela 7 - Profundidades e rumos dos navios nos baricentros dos trechos em que se dividiu cada um dos percursos de entrada estudados.

Table 7 - Depths and directions at the ship’s gravity centres in each stretch according to the ship’s journey at each studied entry routes.

	P6			A			B	C	D	F	G	
Prof. (m)	47.12			52.05			31.36	22.00	11.41	7.00	27.32	
Rumo navio (°)	90			45			0	135	0	315	90	30
Percurso	1	2	3	1	2	3	1	2	3	3	2	3

- o Os valores do grau de risco associado ao limiar de 1 m nos diferentes trechos do percurso 1 e 2 são maiores do que no caso do limiar de 0.5 m. Existem por isso para esse limiar trechos (B, G e C) em que o grau de risco corresponde a um risco inaceitável, o que não se verifica para o limiar de 0.5 m.

Para o navio pequeno:

- o O grau de risco associado ao limiar de 1 m é mais grave do que o associado ao limiar de 0.5 m. Com efeito, apesar de para o limiar de 1 m, o grau de probabilidade de ocorrência ser menor ou igual ao do limiar de 0.5 m, o grau associado às consequências é mais grave, o que contribui para um maior grau de risco;
- o No entanto, mesmo para o limiar de 1 m,

apenas num trecho (Ponto D) se verifica um risco inaceitável (grau 50).

Comparando os dois navios, nos pontos comuns percorridos pelos dois (P6, A e G), verifica-se que nos pontos P6 e A não existem diferenças relevantes entre os dois navios, mas tendo em atenção o ponto G verifica-se, comparando o percurso 2 com o percurso 3, que a probabilidade de excedência dos limiares no navio grande (percurso 2) é superior à do navio pequeno (percurso 3), o que induz naturalmente a um grau de risco acrescido para o navio grande.

Na Figura 15 apresentam-se os mapas de risco criados a partir do módulo de construção de mapas de risco do sistema integrado GUIOMAR para os casos considerados. Nesta figura, a cor das bandeiras representa a cor associada a cada grau de risco (Tabela 8).



Figura 14 - Esquema de modelação para cálculo dos movimentos dos navios e localização dos pontos onde foi aplicado o modelo WAMIT (imagem Google Earth™).

Figure 14 - Modelling scheme for the evaluation of the ship movements and location of the points where the WAMIT model was applied (Google Earth™ image).

Tabela 8 - Avaliação do risco de ocorrência de movimentos verticais de dois navios que excedem os limiares pré-estabelecidos de 0.5 m e de 1 m.

Table 8 - Risk assessment associated with vertical movements of the two ships that exceed the pre-set thresholds of 0.5 m and 1.0 m.

Percorso	Pontos	Limiar de 1 m			Limiar de 0.5 m		
		Probabilidade	Consequências	Risco	Probabilidade	Consequências	Risco
Percorso 1 (Navio grande)	P6	Frequente (> 50%) Grau 5	Reduzidas Grau 2	Aceitável Grau 10	Frequente (> 50%) Grau 5	Insignificantes Grau 1	Aceitável Grau 5
	A	Frequente (> 50%) Grau 5	Sérias Grau 5	Indesejável Grau 25	Frequente (> 50%) Grau 5	Insignificantes Grau 1	Aceitável Grau 5
	B	Raro (1-10%) Grau 2	Catastróficas Grau 25	Inaceitável Grau 50	Ocasional (10-25%) Grau 3	Muito sérias Grau 10	Indesejável Grau 30
Percorso 2 (Navio grande)	P6	Frequente (> 50%) Grau 5	Reduzidas Grau 2	Aceitável Grau 10	Frequente (> 50%) Grau 5	Insignificantes Grau 1	Aceitável Grau 5
	A	Frequente (> 50%) Grau 5	Sérias Grau 5	Indesejável Grau 25	Frequente (> 50%) Grau 5	Insignificantes Grau 1	Aceitável Grau 5
	G	Provável (25-50%) Grau 4	Muito sérias Grau 10	Inaceitável Grau 40	Frequente (> 50%) Grau 5	Sérias Grau 5	Indesejável Grau 25
	C	Raro (1-10%) Grau 2	Catastróficas Grau 25	Inaceitável Grau 50	Raro (1-10%) Grau 2	Muito sérias Grau 10	Indesejável Grau 20
Percorso 3 (Navio pequeno)	P6	Frequente (> 50%) Grau 5	Reduzidas Grau 2	Aceitável Grau 10	Frequente (> 50%) Grau 5	Insignificantes Grau 1	Aceitável Grau 5
	A	Frequente (> 50%) Grau 5	Sérias Grau 5	Indesejável Grau 25	Frequente (> 50%) Grau 5	Reduzidas Grau 2	Aceitável Grau 10
	G	Raro (1-10%) Grau 2	Muito sérias Grau 10	Indesejável Grau 20	Provável (25-50%) Grau 4	Sérias Grau 5	Indesejável Grau 20
	D	Raro (1-10%) Grau 2	Catastróficas Grau 25	Inaceitável Grau 50	Ocasional (10-25%) Grau 3	Muito sérias Grau 10	Indesejável Grau 30
	F	Improvável (< 1%) Grau 1	Catastróficas Grau 25	Indesejável Grau 25	Improvável (< 1%) Grau 1	Catastróficas Grau 25	Indesejável Grau 25

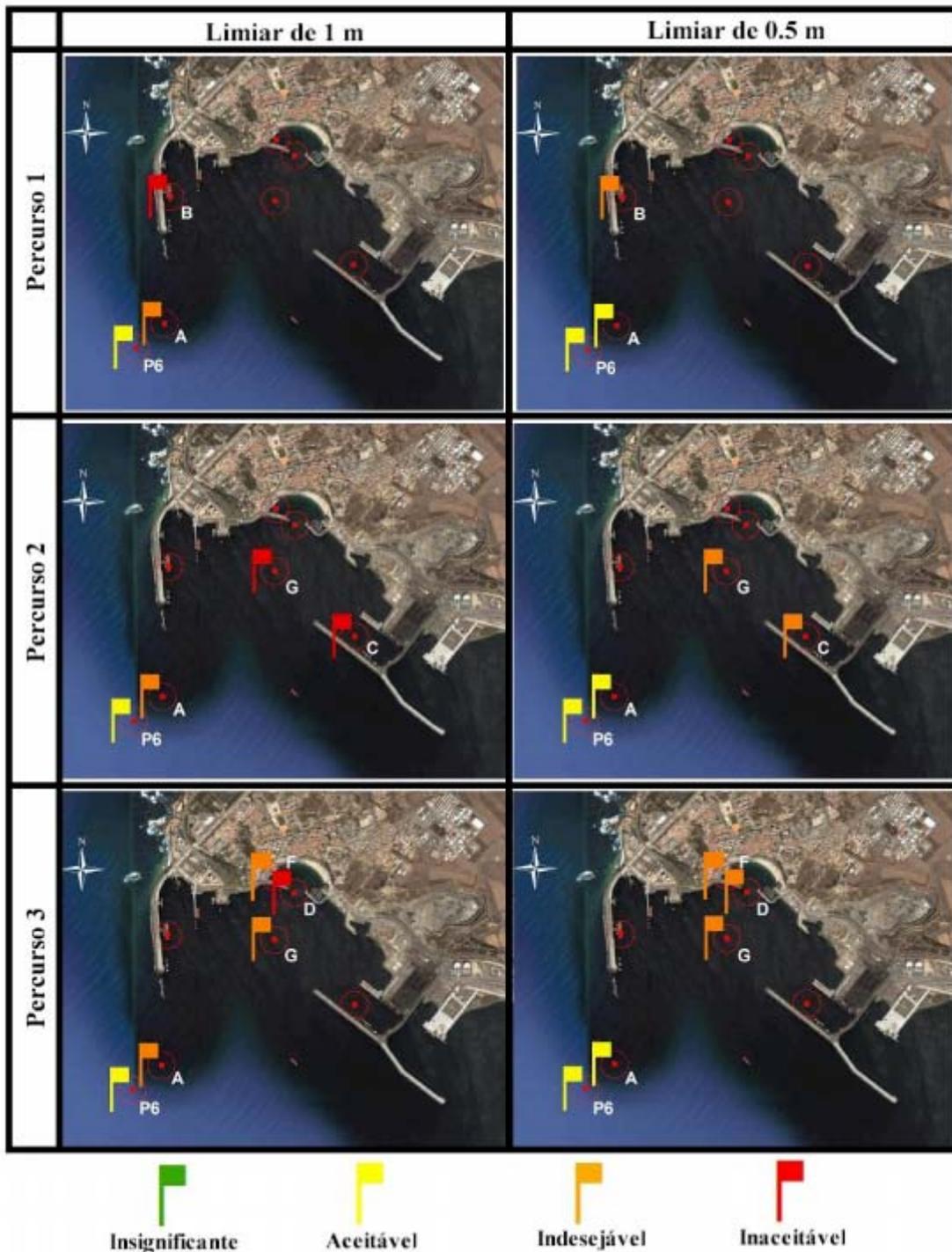


Figura 15 - Mapas de riscos para a navegação no Porto de Sines (pontos P6, A, B, C, D, F e G), representativos dos 3 percursos, relativamente a movimentos verticais de dois navios que excedem 0.5 m e 1 m.

Figure 15 - Sines port risk maps for port navigation (points P6, A, B, C, D, F and G), representative of the 3 stretches that may be swept in the ships journey, with respect to the vertical motions of the two ships that exceed 0.5 m and 1 m.

5. CONCLUSÕES E FUTUROS DESENVOLVIMENTOS

Neste artigo, apresentam-se os desenvolvimentos recentes do sistema GUIOMAR, que é um sistema integrado de modelação da agitação marítima em zonas portuárias e costeiras, desenvolvido no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). Tais desenvolvimentos consistem num conjunto de procedimentos automáticos de implementação de uma metodologia de avaliação do risco para a navegação portuária. Para ilustrar e testar estes desenvolvimentos, recorreu-se a dados da bóia-onógrafa situada ao largo do Porto de Sines e aos modelos de propagação das ondas SWAN e DREAMS, incluídos no sistema GUIOMAR, para definir o regime de agitação marítima em vários pontos na entrada e no interior do porto. Para verificar o efeito da agitação marítima em dois navios seleccionados, foi utilizado o modelo WAMIT. Analisou-se o efeito da agitação incidente nos navios, na altura da componente vertical do movimento dos mesmos ao longo de três trajectórias de entrada no porto: uma com destino ao terminal petrolífero, outra ao terminal de usos múltiplos e outra ao porto de pesca. Por fim, foi estabelecido o procedimento automático de avaliação do risco para a navegação e de criação de mapas de risco considerando que o grau de risco é o produto do grau atribuído à probabilidade de ocorrência de movimentos verticais do navio que excedem um limiar pré-estabelecido pelo grau atribuído às consequências dessa excedência.

Este aperfeiçoamento do sistema GUIOMAR é mais um passo na implementação de uma metodologia de avaliação do risco para a navegação em zonas portuárias recorrendo à simulação numérica de cenários com base em dados reais de agitação marítima. Desta forma, o sistema GUIOMAR permite, a partir de uma condição de agitação ao largo, avaliar em tempo real o risco associado para a navegação no interior do porto, informação fundamental para o planeamento dos investimentos portuários.

No teste desta nova funcionalidade com o exemplo do Porto de Sines, confirmou-se a capacidade do sistema GUIOMAR para realizar estudos de forma interactiva e amigável. Um sistema com a natureza do acima descrito constitui pois uma ferramenta

importante para os estudos de segurança elaborados pelas autoridades portuárias.

A melhoria do sistema GUIOMAR constitui uma aposta de futuro, podendo-se referir a extensão do módulo de avaliação de risco para a avaliação do risco de ocorrência de galgamentos de estruturas portuárias e do risco inerente a operações de acostagem, carga e descarga de navios. Pretende-se também que o sistema GUIOMAR seja uma ferramenta de apoio ao ordenamento e gestão sustentável da zona costeira, pelo que se considera fundamental implementar a metodologia de avaliação de risco à inundações de zonas costeiras que tem vindo a ser desenvolvida pelo Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas (NPE) do Departamento de Hidráulica e Ambiente (DHA) do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), em colaboração com o Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente (DCEA) da Faculdade de Ciências e Tecnologias (FCT) da Universidade Nova de Lisboa (UNL) (Raposeiro *et al.*, 2010). O objectivo final deste trabalho consiste na construção de um sistema de previsão e alerta de inundações em zonas costeiras e portuárias, de modo a maximizar a segurança destas zonas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) o financiamento concedido através dos projectos PTDC/AMB/67450/2006, PTDC/ECM/67411/2006 e PTDC/ECM/73145/2006.

BIBLIOGRAFIA

- Booij, N.; Ris, R.C.; Holthuijsen, L.H. (1999) - A third-generation wave model for coastal regions. Part I - Model description and validation. *Journal of Geophysical Research*, 104(C4):7649-7666. (<http://dx.doi.org/10.1029/98JC02622>).
- Dalrymple, R.A.; Kirby, J.T. (1991) - *REF/DIF 1. Version 2.3 Documentation Manual. Combined Refraction/Diffraction Model*. 102 p., Research Report CACR-91-02, Center for Applied Coastal Research, University of Delaware, Newark, USA.
- Fortes, C.J.E.M. (2002) - *Transformações não lineares de ondas em zonas portuárias. Análise pelo método dos elementos finitos*. 345 p., Dissertação de doutoramento, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal. (ISBN: 972491949-8)

- Kirby, J.T.; Ozkahn, H.T. (1994) - *REF/DIFS Version 1.1 Documentation and Users Manual*. 128 p., Research Report No. CACR-94-04. Center for Applied Coastal Research, University of Delaware, Newark, USA.
- Kirby, J.T.; Wei, G.; Chen, Q.; Kennedy, A.B.; Dalrymple, R.A. (1998) - *FUNWAVE 1.0 Fully Nonlinear Boussinesq Wave Model Documentation and Users Manual*. 80 p., Research Report No. CACR-98-06, Center for Applied Coastal Research, University of Delaware, Newark, USA.
- Neves, D.R.C.B.; Fortes, C.J.E.M.; Santos, J.A.; Reis, M.T.; Rodrigues, S. (2010) Avaliação do risco para a navegação utilizando o sistema GUIOMAR. O caso do Porto de Sines. *Proceedings 2º Congresso Internacional e 6º Encontro Nacional de Riscos*, Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, Coimbra, Portugal.
- Neves, D.R.C.B.; Zóximo, A.C.; Pinheiro, L.V.; Fortes, C.J. (2009b) - GUIOMAR: desenvolvimentos recentes e aplicação ao caso de Sines. *Proc. 6ª Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, PIANC - Permanent International Association of Navigation Congresses, Funchal, Madeira, Portugal. (CD-Rom).
- Neves, D.R.C.B.; Zóximo, A.C.; Pinheiro, L.V.; Fortes, C.J.E.M. (2009a) - GUIOMAR: Geo(graphical) User Interface for Coastal and Marine Modeling-Supported Decision System. *Journal of Coastal Research*, SI56:15421546.
- New Zealand Maritime Safety Authority (2004) - *New Zealand Port and Harbour Marine Safety Code*. 37 p., Maritime Safety Authority of New Zealand, Wellington, Nova Zelândia. (disponível em <http://www.maritimenz.govt.nz/Publications-and-forms/Commercial-operations/Ports-and-harbours/NZ-port-harbour-marine-safety-code.pdf>).
- Newman, J.N.; Sclavounos, P.D. (1988) - The computation of wave loads on large offshore structures. *Proceedings International Conference on Behaviour of Offshore Structures (Boss 88)*, pp.1-19, Trondheim, Noruega. (Disponível em <http://www.wamit.com/Publications/boss88.pdf>).
- Pinheiro, L.V.; Fernandes, J.L.M.; Fortes, C.J.E.M. (2006a) - Sobre um gerador de malhas de elementos finitos com densidade local condicionada à batimetria para modelos de propagação de ondas em zonas portuárias. *Proceedings I Conferência Nacional de Métodos Numéricos em Mecânica dos Fluidos e Termodinâmica*, Universidade Nova de Lisboa, Monte de Caparica, Lisboa, Portugal. (CD-Rom).
- Pinheiro, L.V.; Coli, A.B.; Capitão, R.; Santos, J.A. (2004) - *Caracterização da Agitação Marítima no Molhe Oeste do Porto de Sines. Regime de Extremos e Eventos Notáveis*. Relatório LNEC 370/04 - NPE, 35 p., Lisboa, Portugal. (não publicado).
- Pinheiro, L.V.; Fortes, C.J.E.M.; Santos, J.A.; Neves, M.G. (2006b) - Caracterização de regimes de agitação marítima utilizando a ferramenta SOPRO. *Proceedings 8º Congresso da Água*, APRH Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, Figueira da Foz, Portugal. (CD-Rom).
- Raposeiro, P.D.; Reis, M.T.; Fortes, C.J.E.M.; Ferreira, J.C. (2010) - Análise de cotas de inundação na praia de Vale do Lobo. *Proceedings 10º Congresso da Água*, APRH Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, Alvor, Portugal. (CD-Rom).
- Seeling, W.N.; Arens, J.P. (1995) - Wave reflection and energy dissipation by coastal structures. In: Koboyashi, N. (ed.), *Wave Forces on Inclined and Vertical Wall Structures*, pp.28-55, ASCE American Society of Civil Engineers, Reston, VA, USA. (ISBN:0784400806).
- Zóximo, A.C.; Fortes, C.J.E.M. (2007) - Estado actual e desenvolvimentos futuros do sistema integrado de apoio à tomada de decisão em engenharia costeira: GUIOMAR. *Revista Tecnologias da Água*, 52:54-65, Lisboa, Portugal.
- Zóximo, A.C.; Fortes, C.J.E.M.; Neves, D.R.C.B. (2008) - GUIOMAR: Geographical User Interface for Coastal and Marine modeling. Recent developments and assessment of potential geographical errors. *Proceedings Mediterranean Days of Coastal and Port Engineering*, PIANC - Permanent International Association of Navigation Congresses, Palermo, Italy. (CD-Rom).



Subsídios para a Gestão e o Aproveitamento do Espaço Costeiro na Península de Itapagipe, Salvador, Bahia *

Subsidies for the Management and Development of Coastal Areas on the Itapagipe Peninsula - Salvador, Bahia

Iracema Reimão Silva ^{@,1}, Maria Helena Ochi Flexor ², Sergio Nascimento ³,
José Rodrigues de Souza Filho ⁴, Sergio Pinheiro de Santana Neto ⁴,
Jamille Evangelista Alves ⁵

RESUMO

A Península de Itapagipe, na região a oeste da cidade de Salvador, voltada para a Baía de Todos os Santos, é detentora de um rico patrimônio histórico e arquitetônico, com belas e diferentes paisagens urbanas. Essa parte da cidade caracteriza-se, também, por ter abrigado, por mais de um século, a quase totalidade das indústrias de Salvador. As empresas industriais de Itapagipe, ao desaparecerem, deixaram, em seu lugar, ruínas e espaços vazios que continuam a causar problemas de poluição de diversas naturezas, especialmente ao longo de sua região litorânea. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o uso do espaço costeiro em Itapagipe e realizar o diagnóstico ambiental das suas praias, fornecendo subsídios para a sua gestão e aproveitamento do espaço costeiro de forma compatível com as suas características e potencialidades. A baixa energia das ondas e a ausência de correntes de retorno nestas praias são um forte atrativo para seu uso recreacional, contudo, as praias de Pedra Furada e Penha foram consideradas impróprias para o banho em alguns períodos do ano. De

@ Autor Correspondente

1 Universidade Federal da Bahia, Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e de Meio Ambiente, Departamento de Sedimentologia, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Rua Caetano Moura, 123, Federação, CEP 40210-340, Salvador, Bahia, Brasil. e-mail: iracema@pq.cnpq.br; irsilva@ufba.br

2 Universidade Católica do Salvador, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Social, Avenida Anita Garibaldi, 2981, Rio Vermelho, CEP 41940-450, Salvador, Bahia, Brasil. e-mail: mariamf@ucsal.br

3 Universidade Federal da Bahia, Departamento de Geologia e Geofísica Aplicada, Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e de Meio Ambiente, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Rua Caetano Moura, 123, Federação, CEP 40210-340, Salvador, Bahia, Brasil. e-mail: sergiomn@ufba.br

4 Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geologia, Rua Caetano Moura, 123, Federação, CEP 40210-340, Salvador, Bahia, Brasil. e-mails: Souza-Filho - jrsouza1976@gmail.com; Neto - sergio.santananeo@gmail.com

5 Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, Curso de Graduação em Geologia, Rua Caetano Moura, 123, Federação, CEP 40210-340, Salvador, Bahia, Brasil. e-mail: jamilleevangelista@yahoo.com.br

acordo com a metodologia aplicada para a quantificação e identificação do lixo marinho, as praias da Penha, Monte Serrat e Boa Viagem apresentaram os valores mais altos, com destaque para o plástico e pontas de cigarro. Em parte da praia da Boa Viagem e nas praias de Roma e Canta Galo, a ocupação da região de pós-praia de forma quase contínua por casas, galpões e fábricas dificultam o acesso a estas praias, diminuem sua beleza cênica e, em alguns casos, constituem risco para os seus frequentadores. A reconversão de espaços atualmente abandonados, a criação de infraestrutura básica para os banhistas e a melhoria das condições de balneabilidade, constituem importantes ferramentas para o melhor aproveitamento do espaço costeiro em Itapagipe através da gestão de suas praias, valorizando as suas características ambientais, históricas e culturais e criando novas oportunidades de turismo, recreação e lazer nesta região da cidade de Salvador.

Palavras-chave: gestão costeira; urbanização; balneabilidade; qualidade recreacional.

ABSTRACT

The Itapagipe Peninsula located towards the West of Salvador and facing the Todos os Santos Bay, includes a rich historical and architectural heritage, beautiful and unique urban landscapes. Historically this area housed for more than a century the local Industry. As in other countries, when the local Industry lost its attractiveness, Itapagipe was left with ruins and empty spaces which continue to cause environmental problems of various kinds, especially along coastal areas.

The Itapagipe Peninsula beaches portray in large part the diversity and socio-environmental problems found throughout the Peninsula. The unique combination of natural beauty with historical sites contrast with the intense degradation resulted from the inappropriate use over the years. During most of its history, as it was common in other areas of the World, tourist and recreational use of beaches was not considered important. As a result, long stretches of coastal areas adjacent to the beaches were occupied by factories, homes and streets. Beaches received different types of waste such as sewage, chemical and hospital discharges. Currently with the ever increasing demand for recreational areas, beaches became the most popular attractions and represent one of the few options for the majority of the two hundred thousand Peninsula residents.

This study is aimed at evaluating the use of coastal areas in the Itapagipe Peninsula. It will also provide an environmental analysis of its beaches. The results are expected to provide a scientific basis for the management of coastal area use which is consistent with the features and capabilities of the Peninsula. The coastal area studied was divided into two main sections: the first sector included Penha, Bogari, and Beira-Mar beaches; and sector two included Monte Serrat, Boa Viagem, Roma, and Canta Galo beaches.

These beaches face the inner portion of the Todos os Santos Bay, providing a natural protection against direct ocean forces. Wave energy is low reaching these stretches with heights inferior to 50 cm. Within the Post-Beach zone (the area which includes the coastline between the maximum high tide line and the line of permanent vegetation) and on the coastal zone adjacent to the beach, there are small informal commerce structures, restaurants, homes and streets. The garbage left on the beach is usually removed by the owners of local establishments by the municipal garbage collecting service. However, especially during the weekends, garbage is found throughout the beaches. During field visits garbage accumulation was found on the Penha, Monte Serrat and Boa Viagem beaches. There is no perceptible discharge of sewage on this stretch.

The Penha beach and Bogari beach are the most common destinations for recreational activities. In these beaches small edifications and cabins offer basic services and leisure infrastructure (drinks, snacks, meals, chairs and toilets). On the Beira-Mar beach, street vendors and restaurants located across the street provide drinks and snacks. Along this stretch there is a concrete wall protecting the street against wave action.

Low wave energy and the absence of tide currents along these beaches provide additional attractiveness for recreational users. However Pedra Furada and Penha beaches were considered unsuitable for swimming during certain periods of the year. In parts of Boa Viagem beach and on the Rome and Canta Galo beaches, the uninterrupted occupation of post-beach zones (houses, warehouses and factories) hinder user access, reduce access to scenic observations and in some cases, is risk to its users.

The conversion of abandoned spaces into basic infrastructure for users is an important tool for the management of coastal area use in the Itapagipe Peninsula. It also improves opportunities for tourism, recreation and leisure providing sound use of its beaches, environmental features, and historical and cultural heritages.

1. INTRODUÇÃO

O litoral é o resultado da ação conjunta de diferentes fatores, naturais e antropogênicos, e, desta forma, a sua evolução está condicionada não apenas aos fatores naturais, mas também às condicionantes antropogênicas, cada vez mais atuantes ao longo das regiões costeiras (Cin & Simeori, 1994). São diversas as atividades humanas desenvolvidas no litoral, como por exemplo, atividades recreacionais, atividades comerciais, construção de obras de proteção, construção de portos, etc. Algumas destas atividades podem afetar significativamente os processos costeiros e a dinâmica praial. A implantação de indústrias e a urbanização das áreas costeiras sem um adequado planejamento e gestão dos seus recursos naturais levam a diversos tipos de impactos e ocasionam o aumento do risco para pessoas e propriedades, decorrente de eventos naturais como enchentes, tempestades, deslizamentos e subsidência de terra.

A recreação é considerada um dos aspectos mais importantes para a economia mundial, através da geração de empregos, criação de divisas e dos seus benefícios sociais (Wiegel, 1994). Neste contexto, as praias ganham notável importância, constituindo um dos locais mais procurados para atividades recreacionais em todo o mundo. O aumento da utilização das praias para fins recreacionais é também o resultado da percepção que as pessoas têm das áreas costeiras e esta percepção varia, em termos sócio-econômicos e culturais, nas diferentes cidades e entre as regiões mais ou menos urbanizadas (Mac Leod *et al.*, 2002).

Durante séculos a zona costeira da Península de Itapagipe foi sendo totalmente ocupada por fábricas, residências e ruas, e as praias recebiam diversos tipos de dejetos, como esgoto doméstico e resíduos químicos e hospitalares, sendo desconsiderado o uso recreacional de suas praias. Diversas indústrias funcionaram nesta região, encerrando seu funcionamento devido a diferentes fatores, como a concorrência das indústrias do Centro-Sul do País, com a abertura da BR-216, depois da BR-101, pressão da população contra a poluição ambiental e, finalmente, a política de descentralização e criação de distritos industriais na Região Metropolitana de Salvador.

As empresas industriais de Itapagipe, ao

desaparecerem, como nos demais pólos industriais de outros países, deixaram, em seu lugar, ruínas e espaços vazios que continuam a causar problemas de poluição de diversas naturezas, especialmente ao longo de sua região litorânea.

As praias da Península de Itapagipe retratam, em grande parte, a diversidade e os problemas socioambientais encontrados na Península. A sua beleza natural se contrasta com a intensa degradação decorrente do uso inadequado destas praias ao longo dos anos. Atualmente, com a crescente demanda por áreas de recreação e lazer, as praias constituem um dos locais mais procurados e representam uma das poucas opções de recreação e lazer para os quase duzentos mil habitantes moradores da Península de Itapagipe.

Dentro deste contexto, esta pesquisa teve como objetivo realizar o diagnóstico ambiental das praias de Itapagipe - nos trechos entre a praia da Penha e a antiga fábrica Barreto de Araújo e entre o Forte de Monte Serrat e o bairro da Calçada (Fig. 1) - e avaliar o uso do seu espaço costeiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O método de desenvolvimento da pesquisa consistiu nas seguintes etapas principais:

- i) coleta de dados gerais - todas as praias foram percorridas a pé e as informações foram descritas em uma ficha padrão, sobre principais a largura e a declividade da face da praia (medidas com auxílio de trena e bússola), altura e número de linhas de arrebentação das ondas, presença de construções e barracas, indicativos de erosão, ocorrência de poluição, usos e principais impactos;
- ii) para a coleta do lixo foram marcados pontos de referência (transectos com 50 m de largura) equidistantes 250 m na faixa emersa da praia, incluindo as zonas da face praial e do pós-praia. O lixo encontrado foi coletado e categorizado quanto ao material constituinte e às atividades relacionadas, possibilitando a indicação de suas possíveis origens.
- iii) integração e análise de dados em um Sistema de Informações Geográficas através do software *Arc Gis*.

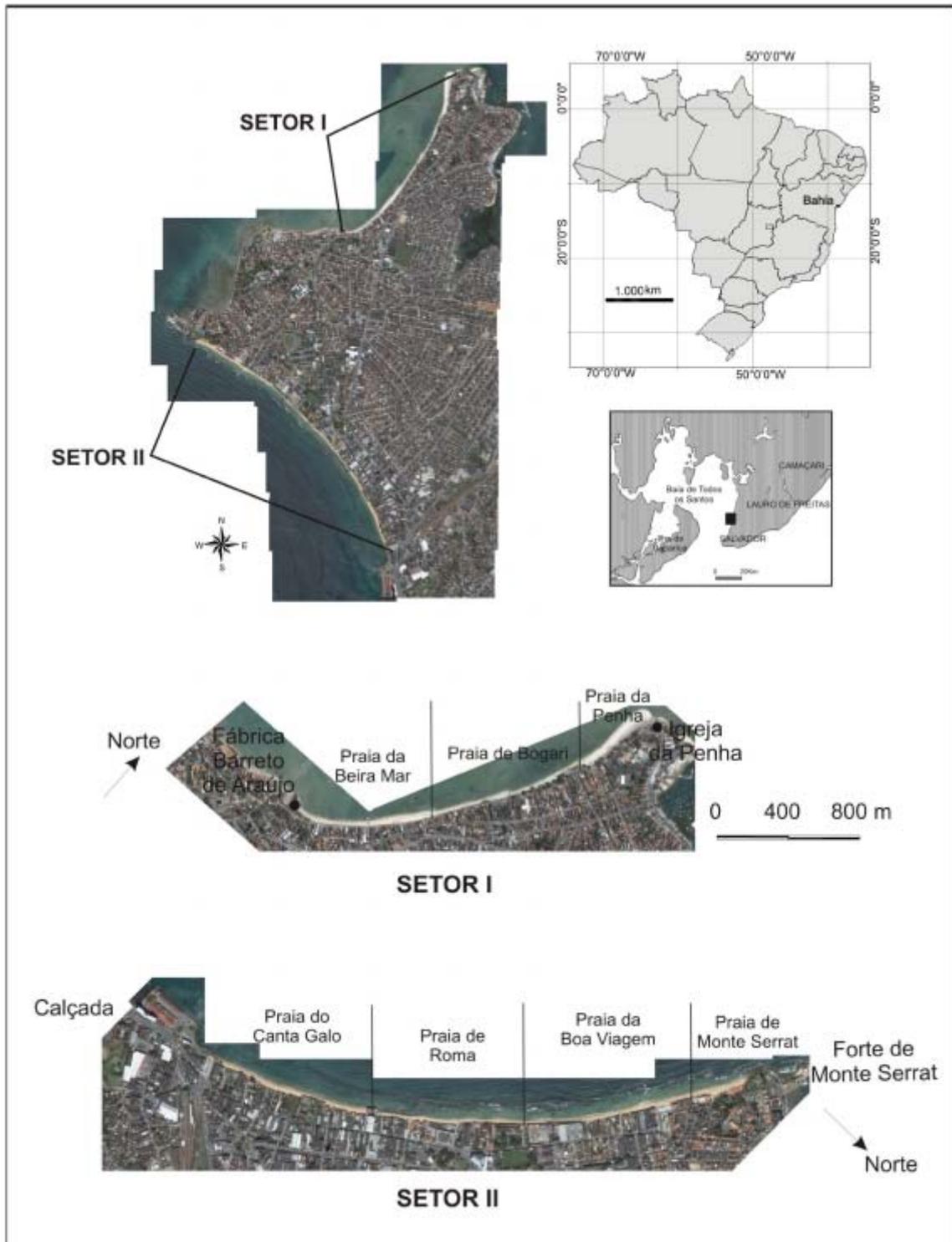


Figura 1 Localização dos dois trechos de praia estudados. Trecho 1: entre a praia da Penha e a antiga fábrica Barreto de Araújo; Trecho 2: entre o Forte de Monte Serrat e o bairro da Calçada.

Figure 1 Location of the two stretches of beach studied. Segment 1: From Penha beach to the old factory Barreto de Araújo; Segment 2: from Monte Serrat Fort to the Calçada District.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A investigação sobre os principais processos atuantes no transporte e deposição de sedimentos ao longo da costa é fundamental para o gerenciamento costeiro. A definição das correntes e do sentido preferencial da deriva litorânea pode indicar, por exemplo, o padrão de dispersão de poluentes em caso de contaminação por produtos químicos ou derivados de petróleo. O estudo da dinâmica costeira envolve a avaliação da distribuição da energia das ondas, dos padrões de dispersão de sedimentos e do balanço de sedimentos ao longo da costa. A identificação dos principais padrões de dispersão de sedimentos possibilita, tentativamente, por exemplo, a previsão de possíveis mudanças na linha de costa, evitando ou minimizando, assim, as perdas físicas e econômicas. Tal estudo fornece uma compreensão da geologia e dos processos praias, o que é essencial para um adequado gerenciamento, que permita um desenvolvimento com um mínimo de alterações ou descompensações no balanço de sedimentos. Este conhecimento é muito importante também para a eventual instalação de obras de engenharia ao longo da costa, pois é fundamental identificar, por exemplo, se o local onde será construída a estrutura corresponde a uma região de maior ou menor concentração de energia das ondas. Este estudo também é fundamental para a aplicação de técnicas de contenção à erosão como muros de contenção e realimentação de praia.

A costa de Salvador está situada dentro do campo de ventos alísios do Atlântico Sul, com direções predominantes de Leste, Sudeste e Nordeste, que está relacionado à célula de alta pressão que ocorre entre a América do Sul e a África (Bittencourt *et al.*, 2000). A região costeira de Itapagipe é alcançada principalmente por frentes de ondas provenientes de Leste e Sudeste, sendo esta faixa litorânea protegida das ondas vindas de Nordeste pela configuração fisiográfica da cidade de Salvador. Estas ondas geram um transporte litorâneo de Sul para Norte nos dois trechos estudados, contudo, no trecho entre Monte Serrat e a Calçada, esse transporte parece ser menos efetivo.

Em geral as praias da região de Itapagipe apresentam sedimentos com granulometria de areia média, compostos essencialmente de grãos de quartzo

e fragmentos carbonáticos derivados de esqueletos de organismos marinhos, principalmente moluscos, algas, equinodermas e gastrópodos que vivem na ante-praia – zona localizada entre o nível mínimo da maré baixa e a região marinha onde as ondas começam a interagir com o fundo – e regiões mais profundas da Baía de Todos os Santos (Villas-Boas & Bittencourt, 1992).

Nesta região da Baía de Todos os Santos, a zona de ante-praia forma uma plataforma extensa e com declividade suave (Villas-Boas & Bittencourt, 1992), induzindo a quebra das ondas e, conseqüentemente a dispersão de sua energia, ainda distante da costa. Desta forma, as ondas alcançam este litoral com baixa energia e alturas em geral inferiores a 0,5 m. A baixa energia das ondas e a ausência de correntes de retorno nestas praias são um forte atrativo para seu uso recreacional. As correntes de retorno são fluxos perpendiculares à costa, no sentido do continente para o mar, que respondem por grande parte dos afogamentos ocorridos com banhistas. Segundo estudos realizados nas praias de Santa Catarina, a presença de correntes de retorno é o determinante ambiental mais importante relacionado com os acidentes dos banhistas, com estimativas superiores a 90% do total de registros (Hoefel & Klein, 1998).

Os principais fatores de risco para o banho de mar nas praias oceânicas de Salvador, de acordo com Carvalho (2002), são as correntes de retorno, responsáveis por cerca de 70% dos acidentes, seguidas das depressões no fundo e do impacto das ondas. As depressões existentes no fundo, próximo à face da praia, apresentadas por Carvalho (2002) como sendo o segundo mais importante fator de risco nas praias de Salvador, são geralmente produzidas nos períodos de ondas mais altas e vitimam principalmente as crianças e os banhistas sem habilidades para o nado. Da mesma forma, o impacto de fortes ondas também constitui um fator de risco para crianças, idosos ou banhistas menos preparados.

Por outro lado, apesar das praias de Itapagipe serem seguras para o banho, em alguns trechos a sua balneabilidade está comprometida. A poluição das praias compromete o seu uso para a pesca e atividades recreacionais, assim, no manejo de praias é essencial o conhecimento das implicações negativas da poluição e do nível de tolerância por parte dos freqüentadores.

A ausência de escombros e lixos na praia e a qualidade da água para o banho estão entre as exigências prioritárias dos banhistas para o uso recreacional das praias (Williams & Nelson, 1997; Blakemore & Williams, 1998; Morgan, 1999).

Dados publicados pelo Instituto do Meio Ambiente do Estado da Bahia (IMA) em 2010 mostram que a praia da Boa Viagem foi a que apresentou os melhores índices de balneabilidade no período de 2007 a 2009 (Quadro 1). Os piores índices foram encontrados nas praias da Penha e Pedra Furada. Os dados sobre coliformes termotolerantes obtidos no monitoramento semanal feito ao longo do ano de 2009 pelo IMA mostram que a maior incidência desses microorganismos ocorrem nos períodos de junho-julho e setembro-novembro em todas as praias estudadas com exceção de Roma e Canta Galo que só aparecem em setembro-novembro (Fig. 2). Essa maior quantidade de coliformes termotolerantes está diretamente associada ao pós período de maior incidência de chuvas na cidade de Salvador quando as águas de escoamento superficial, através da rede de drenagem, carregam para a Baía de Todos os Santos uma maior quantidade de coliformes e outros microorganismos, notadamente em áreas extremamente antropizadas e sem saneamento básico.

Outro problema está relacionado às construções feitas em regiões impróprias, dentro da faixa natural

de atuação das ondas. Isto gera uma erosão induzida pela ação antrópica e, além da perda de propriedades, ocasiona danos ao ambiente praias devido à presença de escombros e restos de construção, que dificultam as atividades recreacionais e poluem a praia. O aumento dos processos erosivos associados à existência de construções fixas representa um problema ambiental e social na medida em que estas construções impedem o livre recuo da linha de costa, passando a representar assim um risco à infraestrutura costeira e reduzindo a capacidade recreacional da praia (Bird, 1985; Pilkey, 1994; Lizárraga-Arcineiga *et al.*, 2001). Estas construções, além de acelerar o processo erosivo por aumento da reflexão das ondas, diminuem a sua beleza cênica e dificultam o acesso à praia, muitas vezes inviabilizando seu uso recreacional. Estas construções predominam em cerca de 80% da linha de costa do Setor II, especialmente nas praias de Roma e Canta Galo. Algumas destas construções estão abandonadas e pertencem a antigas indústrias que funcionavam na região, como é o caso da Fábrica Barreto de Araújo (Praia da Beira-Mar – Setor I) e da Companhia Empório Industrial do Norte (Praia de Roma – Setor II).

As características geomorfológicas e de ocupação das praias em cada setor estudado serão descritas a seguir:

Quadro 1 Percentual das condições de balneabilidade das praias estudadas a partir da análise semanal de coliformes termotolerantes para os anos de 2007, 2008 e 2009.

Table 1 Percentage of the conditions of bathing beaches studied from the weekly analysis of fecal coliform for the years 2007, 2008 and 2009.

PRAIA	LOCAL DA COLETA	PERCENTUAL PRÓPRIA %		
		JAN A DEZ 2007	JAN A DEZ 2008	JAN A DEZ 2009
PENHA	Em frente a Igreja N. S. da Penha	51%	65%	80%
BOGARI	Em frente ao Colégio João Florêncio Gomes	100%	100%	95%
PEDRA FURADA	Atrás do Hospital Sagrada Família	0%	14%	69%
BOA VIAGEM	Ao lado do Forte	100%	100%	100%
ROMA	Em frente a Rua Professor Roberto Correia	100%	100%	82%
CANTA GALO	Atrás da fábrica de refrigerantes Brabma	100%	89%	100%

Fonte: IMA (2010).

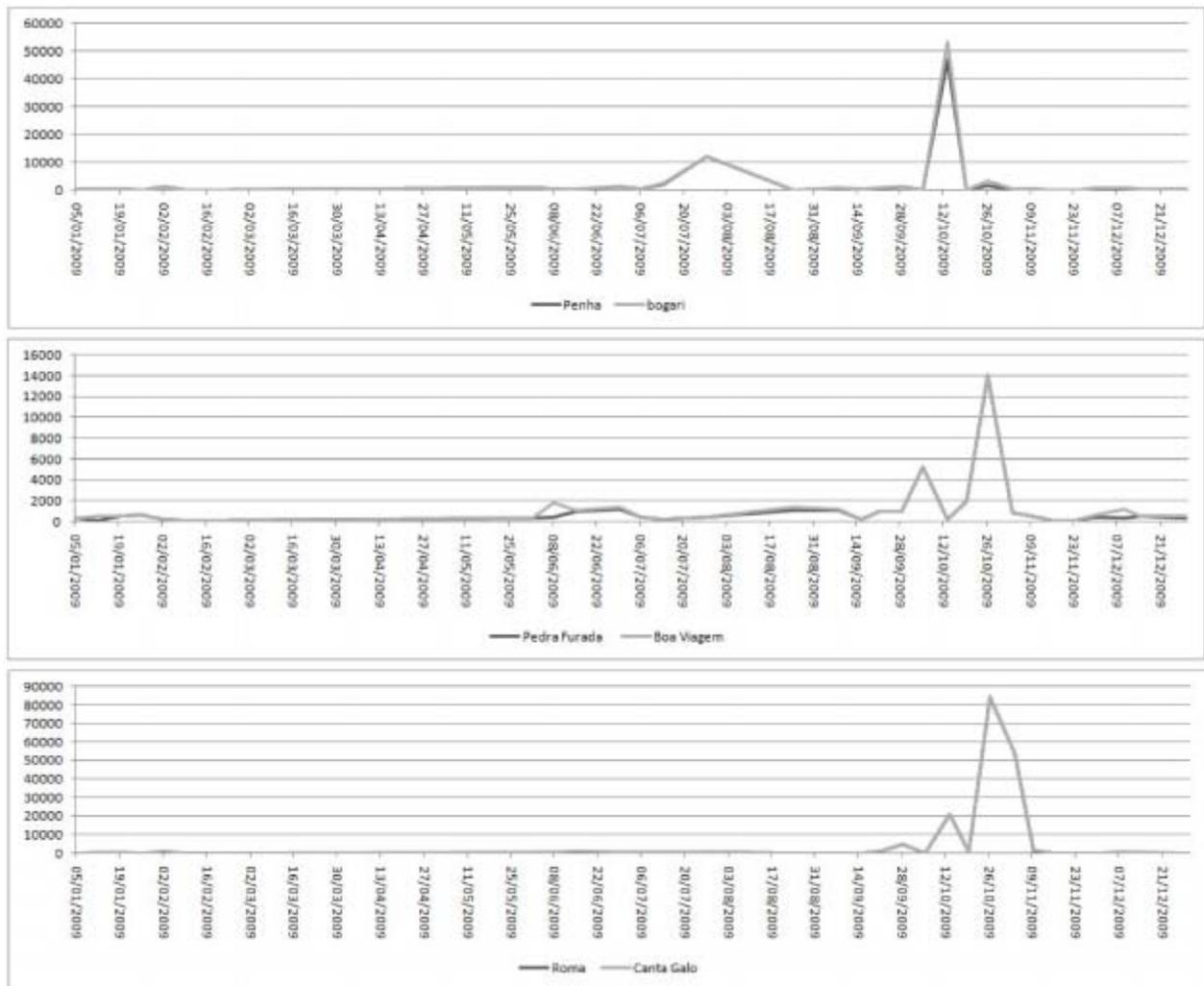


Figura 2 Distribuição dos coliformes termotolerantes na região da península de Itapagipe (janeiro a dezembro/2009) valores em col/100ml.

Figure 2 Distribution of fecal coliform in the Peninsula region Itapagipe (January to December/2009) - col/100ml values.

Setor I – trecho de praia entre a Penha e a fábrica Barreto de Araújo

O setor I é composto pelas praias da Penha, Bogari e Beira-Mar. Neste trecho a linha de costa apresenta uma forma ligeiramente côncava e está inserida em um antigo pontal arenoso, formado entre 3.000 e 3.600 anos antes do presente (Villas-Boas & Nascimento, 1979). Um promontório rochoso marca o final deste trecho e o desaparecimento da praia arenosa, próximo aos restos de construção da antiga fábrica Barreto de Araújo (Fig. 3).

Em geral estas praias apresentam sedimentos de cor branca a ocre, granulometria de areia média,

declividade variando entre 5° e 10° e largura entre 20 e 35 m nos períodos de maré baixa. Na praia da Penha foi feita uma realimentação da faixa de areia (Fig. 4). Esta técnica de engenharia costeira é utilizada para minimizar os efeitos da erosão e ampliar a faixa arenosa, possibilitando o uso recreacional da praia. Na Penha a areia usada apresenta um baixo grau de selecionamento e uma grande quantidade de fragmentos de concha, diferindo das características físicas do sedimento que compõe naturalmente as outras praias da região. Nesta praia é comum a prática da mariscagem no terraço exposto na maré baixa (Fig. 5).



Figura 3 Final da faixa arenosa na antiga fábrica Barreto de Araújo.
Figure 3 Final sandy strip at the old factory Barreto de Araújo.



Figura 4 Realimentação de areia na praia da Penha.
Figure 4 Sand feedback at Penha beach.



Figura 5 Mariscagem no terraço de maré baixa na praia da Penha.

Figure 5 Shellfish at low tide terrace on Penha beach.

As praias deste setor são protegidas, voltadas para a porção interna da Baía de Todos os Santos, portanto, com baixa energia das ondas, que chegam a este trecho com alturas inferiores a 50 cm. Na zona de pós-praia – zona do litoral entre a linha máxima de maré alta e a linha de vegetação permanente – e na zona costeira adjacente à praia, existem barracas, restaurantes, casas e ruas.

Não existe nenhuma descarga de esgoto visível neste trecho. O lixo deixado nas praias em geral é retirado pelos donos das barracas e restaurantes e pelo serviço de limpeza municipal, contudo, principalmente nos finais de semana, é comum a ocorrência de lixo. No setor I foram coletados 790 itens nos quatro transectos distribuídos entre as praias da Penha, Bogari e Beira Mar. Dentre essas, a Penha foi considerada um local crítico de poluição por lixo, com valores superiores a 250 itens nos dois transectos ali amostrados. Beira Mar obteve 52 itens coletados. Já a praia de Bogari, com valores em torno de 70 itens, foi a menos afetada por esse tipo de poluição.

A categorização por material constituinte (Fig. 6) revelou o predomínio do plástico sobre as demais

categorias, uma realidade comum em análise qualitativa de lixo marinho, sendo um padrão global (Santos *et al.*, 2004). Os itens plásticos presentes em maiores quantidades foram copos descartáveis, canudos e tampas de garrafa. Além destes, madeira antropogênica (ex. palitos de picolé e churrasco), material de construção (ex. tijolos e entulho) e ponta de cigarro, também foram categorias frequentes no Setor I.

A maior parte do lixo encontrado relacionou-se a atividades recreacionais e comerciais, possibilitando a indicação de uma origem tipicamente local. Os valores encontrados para itens relacionados ao hábito de fumar (como pontas de cigarro, isqueiros e palitos de fósforo) corroboram com tal indicação, destacando inclusive a relevância dos usuários como fonte poluidora (Santana-Neto, 2009), além das obras mal planejadas e abandonadas na região. As construções abandonadas, gerando resíduos de material de construção, foram consideradas como importante atividade poluidora para este Setor (Fig. 6).

Neste Setor, as praias da Penha e Bogari são as mais procuradas para atividades de recreação e lazer (Fig. 7).

Nestas praias, barracas de pequeno porte oferecem serviços básicos de infraestrutura e lazer (provisão de bebidas, petiscos, refeições, cadeiras e sanitários). Na praia da Beira-Mar, ambulantes e restaurantes localizados do outro lado da avenida vendem bebidas e lanches. Neste trecho existe um muro de arrimo que protege a avenida da ação das ondas (Fig. 8).

Setor II – trecho de praia entre o Forte de Monte Serrat e a Calçada

O setor II é composto pelas praias de Monte Serrat, Boa Viagem, Roma e Canta Galo. Estas praias apresentam sedimentos de cor branca a ocre, granulometria de areia média, larguras inferiores a 20 m e declividades variando entre 5° e 7°. É comum a

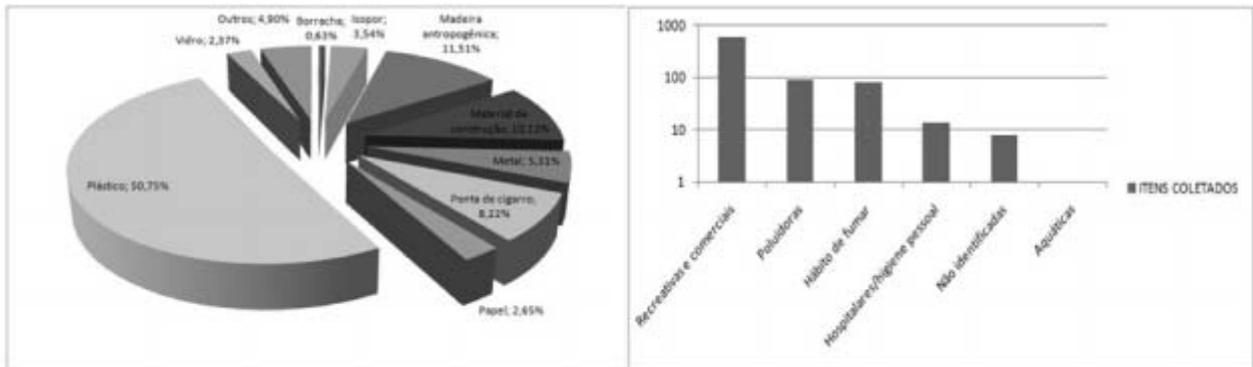


Figura 6 Classificação do lixo coletado nas praias do setor I.
 Figure 6 Classification of garbage collected on the beaches on the sector I.



Figura 7 Barracas na praia do Bogari.
 Figure 7 Vendors at Bogari beach.



Figura 8 Muro de arrimo e construções da praia da Beira-mar.

Figure 8 Concrete wall and edifications at Beira-Mar Beach.

presença de afloramentos de rochas da Bacia do Recôncavo, especialmente arenitos, em todo este trecho.

De forma quase contínua, entre as praias da Boa Viagem e Canta Galo, a zona costeira adjacente à praia é ocupada por casas, muros e construções de antigas indústrias, como a Fratelli Vita – agora em reforma para o funcionamento de uma universidade – e o Empório Industrial do Norte. Ao longo destas praias são encontrados antigos trilhos (Fig. 9), escadas e píer usados para escoamento de mercadorias e produtos. São encontrados também restos de tubulações metálicas por onde eram lançados esgotos e resíduos das indústrias. Essas antigas estruturas muitas vezes criam situações de risco para os banhistas ou as pessoas que caminham nestas praias, dificultam o acesso, diminuem a sua qualidade recreacional e beleza cênica (Fig. 10).

Neste setor foram dispostos sete transectos e coletados um total de 671 itens. As praias de Monte Serrat e Boa Viagem apresentaram uma maior quantidade de lixo, com valores superiores a 110 itens coletados. A partir da categorização por material

constituente (Fig. 11), novamente predominou o plástico, tendo também como os principais itens contribuintes canudos, copos descartáveis e tampas de garrafas. A presença de pontas de cigarro também apareceu como a segunda categoria em termos quantitativos. Tampas metálicas foram itens comuns durante a amostragem, proporcionando um maior destaque quantitativo ao metal.

Assim como no setor I, as praias do setor II (Fig. 11) também se destacaram pela presença de itens relativos a atividades recreativas e comerciais e ao hábito de fumar (principalmente em Monte Serrat e Boa Viagem). Materiais de construção foram mais frequentes em Boa Viagem e Roma (principalmente tijolos e entulho de modo geral).

As praias de Roma e Canta Galo são ocupadas por moradias irregulares e oferecem baixa infraestrutura para recreação e lazer (Fig. 12). Estas praias são usadas principalmente pelos dos moradores locais. As praias de Monte Serrat (Fig. 13) e Boa Viagem são as mais procuradas para atividades de recreação e lazer e apresentam também um valor histórico/cultural associado à presença do Forte de Monte Serrat e à igreja da Boa Viagem.



Figura 9 Restos de trilhos na praia da Boa Viagem
Figure 9 Remains of railroad at Boa Viagem beach.



Figura 10 Construções abandonadas na praia de Roma.
Figure 10 Abandoned buildings at Roma beach.

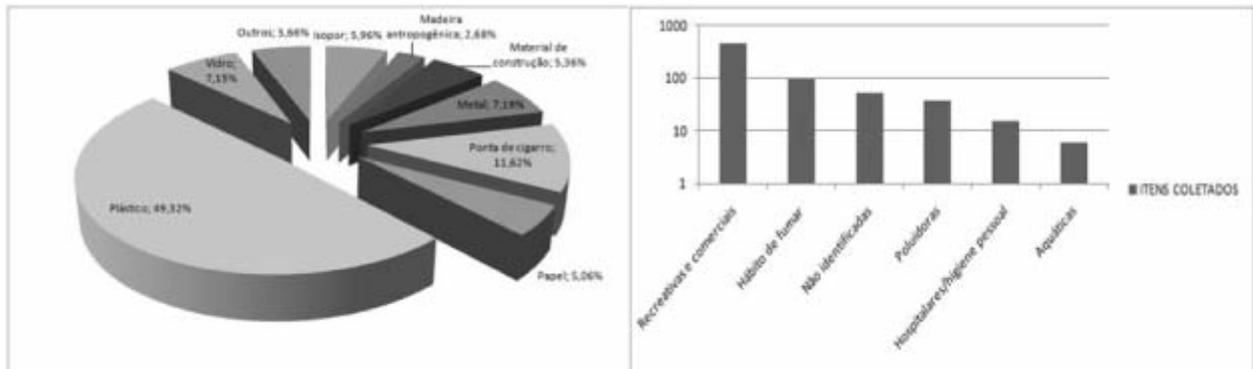


Figura 11 Classificação do lixo coletado nas praias do setor II.
Figure 11 Classification of garbage collected on the beaches on the sector II.



Figura 12 Construções na praia de Santa Galo.
Figure 12 Constructions at Santa Galo Beach.



Figura 13 Barracas na praia de Monte Serrat.

Figure 13 Vendors on Monte Serrat beach.

CONCLUSÕES

As praias da região de Itapagipe, nos trechos entre a Penha e a antiga fábrica Barreto de Araújo e entre o Forte de Monte Serrat e a Calçada, apresentam, na sua maioria, granulometria de areia média, larguras entre 10 e 30m e declividades entre 5 e 10°. São praias protegidas da ação das ondas, principalmente as vindas de Nordeste, e apresentam um transporte litorâneo de Sul para Norte. Foram consideradas como praias com boas condições de segurança para o banho, devido à ausência de correntes de retorno e à baixa energia das ondas durante todo o ano. Contudo, de acordo com a análise de coliformes termotolerantes, para o período entre janeiro de 2007 e dezembro de 2009, realizada semanalmente pelo Instituto de Meio Ambiente do Estado da Bahia, as Praias da Penha e da Pedra Furada apresentaram os piores índices de balneabilidade, especialmente durante os meses de junho a julho e setembro a novembro, comprometendo a qualidade do banho nestas praias.

As atividades recreacionais e de lazer ao longo das praias de Itapagipe tem gerado outro tipo de poluição:

a presença abundante de lixo. As praias com maior ocorrência de lixo foram as de Monte Serrat, Boa Viagem e Penha. Ao longo de 11 transectos (com 50 m de largura e equidistantes 250 m nas zonas da face praial e do pós-praia) foram coletados um total de 1.461 itens, com a presença predominante de plásticos (copos descartáveis, canudos e tampas de garrafa), madeiras (palitos de picolé e de churrasco) e pontas de cigarro. Foi observada também a presença de restos de construção (entulhos), além de tubulações metálicas e antigos trilhos.

Além da poluição associada à presença destes resíduos, a ocorrência de construções abandonadas ou indevidas, ao longo da região costeira adjacente às praias, especialmente no Setor II, alterara a beleza cênica destas praias, dificulta o acesso e acelera o processo erosivo, limitando o uso recreacional destas praias.

Assim, um componente essencial à gestão sócio-ambiental das praias de Itapagipe é o melhor aproveitamento do espaço costeiro adjacente às suas praias, possibilitando uma melhor infraestrutura

recreacional e de lazer, além do monitoramento e controle da poluição associada à qualidade de suas águas e à presença de lixo.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia pelo financiamento da pesquisa. I. R. Silva agradece ao CNPq pela sua Bolsa de Produtividade.

BIBLIOGRAFIA

- Bird, E.C.F. (1985) - *Coastline Changes: A Global Review*. 219p., Chichester J. Wiley, London, England. (ISBN-13: 978-0471906469).
- Bittencourt, A.C.S.P., Dominguez, J.M.L., Martin, L., Silva, I.R. (2000) - Patterns of Sediment Dispersion Coastwise the State of Bahia Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 72(2):271-287. (ISSN 0001-3765). Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/aabc/v72n2/0026.pdf>
- Blakemore, F.B.; Williams, A.T. (1998) - Public Valuation of Beaches in South East Wales, UK. *Shore and Beach*, 66(4):18-23.
- Carvalho, M.P. (2002) - *Fatores Oceanográficos, Meteorológicos, Morfodinâmicos, Geológicos e Urbanos Relacionados à Incidência de Afogamentos nas Praias da Costa Atlântica de Salvador*. 146p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, Brasil. (Não publicado).
- Cin, R.D.; Simeoni, U. (1994) - A Model for Determining the Classification, Vulnerability and Risk in the Southern Coastal Zone of the Marche (Italy). *Journal of Coastal Research*, 10(1):18-29.
- Hoefel, F.G.; Klein, A.H. (1998) - Beach Safety Issue at Oceanic Beaches of Central Northern Coast of Santa Catarina, Brazil: Magnitude and Nature. *Journal of Coastal Research*, SI26:2-6.
- Lizárraga-Arciniega, R.; Appendini-Albretschsen, C.M.; Fischer, D.W. (2001) - Planning for Beach Erosion: A Case Study, Playas de Rosarito, B. C. Mexico. *Journal of Coastal Research*, 17(3):636-644.
- Mac Leod, M.; Silva C.P. da; Cooper, J.A.G. (2002) - A Comparative Study of the Perception and Value of Beaches in Rural Ireland and Portugal: Implications for Coastal Zone Management. *Journal of Coastal Research*, 18(1):14-24.
- Morgan, R. (1999) - Preferences and Priorities of Recreational of Beach Users in Wales, UK. *Journal of Coastal Research*, 15(3):653-667.
- Pilkey Jr, O.H. (1994) - Matematical Modeling of Beach Behavior Doesn't Work. *Journal of Geological Education*, 42: 358-361. (ISSN: 0022-1368).
- Santos, I.R.; Friedrich, A.C.; Fillmann, G.; Wallner-Kersanach, M.; Schiller, R.V.; Costa, R. (2004) - Geração de resíduos sólidos pelos usuários da Praia do Cassino, RS, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 3: 12-14.
- Santana-Neto, S.P. de. (2009) - *Resíduos sólidos em ambiente praias (Porto da Barra Salvador, Bahia) subsídio para práticas de sensibilização na escola*. 125p., Monografia de Graduação, Universidade Católica do Salvador, Salvador, BA, Brasil. (Não publicado).
- Villas Boas, G.S.; Bittencourt, A.C.S.P. (1992) - Variação da energia e sua repercussão nas características composicionais e texturais em sedimentos praias atuais: exemplo da costa Leste da Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 22(3):311-320. (ISSN: 0375-7536).
- Villas Boas, G.S.; Nascimento, M.A.M. (1979) - Evolução paleogeográfica e paleoclimática da região da Enseada dos Tainheiros e dos Cabritos, BA, nos últimos 5.000 anos. *Revista Brasileira de Geociências*, 9:159-168. (ISSN: 0375-7536).
- Wiegel, R.L. (1994) - Beaches Tourism Jobs. *Shore and Beach*, 62(2):4-5.
- Williams, A.T.; Nelson, C. (1997) - The Public Perception of Beach Debris. *Shore and Beach*, 62 (2): 17-20.



Uso de Técnicas de Geoprocessamento para a Análise da Evolução da Linha de Costa em Ambientes Litorâneos do Estado do Ceará, Brasil *

Use of Geoprocessing Techniques for Analysis of the Coast Line Evolution of Ceará State, Brazil

Eduardo Guilherme Gentil de Farias @,¹ Luís Parente Maia ²

RESUMO

A forma intensiva e desordenada com a qual as atividades antrópicas vêm ocupando as regiões costeiras, aliadas as crescentes alterações advindas dos processos oriundos das mudanças climáticas globais, estão afetando a dinâmica natural dos ecossistemas, conforme pode ser evidenciado através de diversos indicadores ambientais, sendo um dos principais a análise da variabilidade temporal e espacial da linha de costa. Nas últimas décadas, pôde ser evidenciado no litoral do estado do Ceará, um retrocesso generalizado da linha de costa, provocando prejuízos econômicos relevantes para a região, por conta da destruição de casas e estruturas em consequência desse fenômeno. Mediante esse fato, a adoção de estudos que visem determinar as taxas de recuo da linha de costa, constituem uma ferramenta essencial para a correta tomada de decisões acerca do uso e gestão adequada da zona costeira. Partindo dessa premissa, o presente trabalho tem como objetivo, calcular as taxas de recuo de linha de costa, associando os resultados obtidos com os processos dinâmicos pontuais, em uma análise multitemporal utilizando imagens de sensoriamento remoto e fotografias aéreas associadas a técnicas de geoprocessamento. Para isso, foi utilizada a extensão *Digital Shoreline Analysis System-DSAS*, para o *software* ArcGIS 9.0, que amplia as funcionalidades do programa, permitindo a automatização de grande parte das tarefas relacionadas com a análise quantitativa da linha de costa, pressupondo como referência uma linha de base. Foram também realizadas campanhas de campo, a fim de obter registros fotográficos das regiões que apresentaram através das análises de laboratório elevados índices de erosão. Os resultados evidenciam um forte caráter erosivo em todas as regiões, apresentando índices críticos para as praias da Caponga, Pacheco e Itarema onde foi constatada uma taxa de recuo médio de linha de costa de -7.3m/ano, -4m/ano e -3.4m/ano, respectivamente. As demais regiões contempladas (Icaraí, Iracema, Iparana e Meireles) apresentaram taxas de recuo inferiores a -1.5m/ano. Foi também analisada a variação morfológica na região da foz do rio Jaguaribe, onde foram evidenciados índices de erosão na margem esquerda na ordem de -0.83m/ano e deposição na

@ - *corresponding author: gentil@dsr.inpe.br*

1 - *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos, SP, Brasil.*

2 - *Universidade Federal do Ceará (UFCE), Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR), CEP 60165-082, Fortaleza, CE, Brasil*

* - *Submissão – 30 Julho 2010; Avaliação – 22 Setembro 2010; Recepção da versão revista – 6 Outubro 2010; Disponibilização on-line – 9 Dezembro 2010*

margem direita de +0.77m/ano. A correlação entre as taxas de recuo obtidas e a análise dos parâmetros ambientais dessas regiões demonstram que o comportamento espacial da linha de costa é diretamente afetado por uma junção de fatores naturais e antrópicos. Desse modo, urge a necessidade de adoção de medidas sustentáveis que visem o ordenamento da ocupação das regiões litorâneas no estado do Ceará com o intuito de mitigar os problemas oriundos da erosão costeira quanto ao uso indevido ou inadequado dessas áreas.

Palavras-chave: Geoprocessamento, sensoriamento remoto e erosão costeira.

ABSTRACT

The intensive and disordered way as coastal regions have been affected by antropic activities, coupled with increasing climatic changes affecting the natural dynamics of ecosystems, is evident through several environmental indicators, such as the temporal and spatial variability of the coastal line. During the last two decades it was possible to verify a general retrogradation of this coastal line, generating important economic damages in the region by destructing houses and other buildings. To study this problem and to obtain the correct solutions and decisions regarding the occupation of the littoral, it was necessary to know the rates of displacement of the coastal line through multi-temporal studies. From this point of view this study has as main objective to calculate the coastal line retreat rates, associating the obtained results to the punctual dynamic processes in a multi-temporal analysis using satellite images and air photos in remote sensing and connected to geoprocessing. To this task, it was necessary to adapt the extension Digital Shoreline Analysis System – DSAS 3.2 to ArcMap 9.0. program in order to understand the coast line evolution during the last two decades. Field trips to make observations and obtain photos, in beaches suffering erosion were performed. The results show strong erosion in whole region, specially on Caponga, Pacheco and Itarema beaches, where the coastal line retreat rates were 7.3 m/y, 4.0 m/y and 3.4 m/y, respectively. In the other places (Icaraí, Iracema, Iparana and Meireles), the rates were lower than 1.5 m/y. The estuary of Jaguaribe river was also studied, and the erosion index on the left bank was 0.83 m/y, and deposition on the right bank 0.77 m/y. The correlation between the retreat rates obtained and the environmental analysis of these regions demonstrate that the coastal line spatial evolution is directly affected by a series of natural and antropic factors. So, it is necessary to adopt measures and strategies that permit occupation in order of the coastal regions in Ceará State to mitigate the ocean action over continent.

Keywords: Geoprocessing, remote sensing and coastal erosion.

1. INTRODUÇÃO

A forma crescente com que o homem vem ocupando a zona costeira e os respectivos investimentos envolvidos no seu processo de fixação nessas regiões, vem se incompatibilizando, numa escala global, com os processos dinâmicos naturais destes ecossistemas, particularmente no que tange à variabilidade temporal e espacial da linha de costa (Farias & Maia, 2007).

Vários fatores vêm contribuindo para que, nas últimas décadas, se agravassem algumas situações de declarada erosão costeira em praticamente todas as regiões litorâneas do planeta. Este retrocesso generalizado da linha de costa tem sido induzido em grande parte, por ações de natureza antrópica, especialmente as que promovem insuficiência no abastecimento sedimentar ao litoral (ex: a construção de barragens, a extração de sedimentos fluviais e dragagens portuárias) e as que conduzem à degradação dos sistemas costeiros naturais (como os campos

dunares eólicos ou as bancos arenosos submarinos). Segundo Yoshikawa & Nemoto, (2010), a erosão costeira é ainda fortemente ampliada pela construção de molhes de entrada em instalações portuárias, ou estruturas rígidas transversais que interrompem ou debilitam fortemente o fluxo de sedimentos.

Atualmente, as alterações espaciais da linha de costa, constituem-se um sério problema em todo o mundo, pois afetam praticamente todos os países com presença de litoral podendo, em alguns casos, alcançar estágios bastante elevados. As repercussões econômicas tais como a perda de infra-estruturas públicas ou privadas, podem ser sumamente sérias, sobretudo nos países em desenvolvimento, devido à falta de recursos para a recuperação dos danos, como é o caso do Brasil. A erosão costeira é um fenômeno freqüente e quanto mais o litoral é ocupado, mais se acentua o problema, que cresce em magnitude e importância, devido ao aumento do valor econômico das regiões costeiras e da forma que assume o desenvolvimento. Este fenômeno, pela complexidade

das interações entre os diversos fatores naturais e antrópicos, tem tido nos últimos tempos um maior relevo nas planificações das atividades de desenvolvimento e principalmente de ordenação da zona costeira, já que a própria obra pode ser afetada por estes fatores ou provocar a intensificação da erosão e gerar perdas para outros setores da costa adjacente (Maia, 2005).

A zona costeira da região nordeste do Brasil se enquadra dentro deste contexto. À exceção das grandes cidades, até muito recentemente, esta região era pontilhada por pequenas vilas e povoados de difícil acesso. A abertura de novas estradas bordejando a linha de costa e facilitando o acesso a estas áreas, a difusão da filosofia de lazer voltada para o mar, os planos estaduais de turismo contemplando empreendimentos vultuosos na zona costeira, associados à ausência de um planejamento adequado que respeite as limitações naturais impostas pelos fenômenos dinâmicos, contribuem para exacerbar o problema de recuo de linha de costa que afeta todo o litoral desta região (Dominguez, 2007).

A gestão e o uso adequado da zona costeira, implicam necessariamente, no conhecimento dos agentes que atuam sobre ela e que determinam os processos dinâmicos que, em último lugar controlam a sua evolução ao longo do tempo, bem como na capacidade de se determinar as taxas de progradação ou recuo a que se encontram submetidas. Este requerimento básico, uma vez logrado, permite prever o comportamento da costa, tanto em condições naturais como sob a influência humana. Este fenômeno, pela complexidade das interações entre os diversos fatores naturais e antrópicos, tem tido, nos últimos tempos, um maior relevo nas planificações das atividades de desenvolvimento e principalmente de ordenação da zona costeira, já que a própria obra pode ser afetada por estes fatores ou provocar a intensificação da erosão ou assoreamento e gerar perdas para outros setores da costa adjacente (Maia, 2005).

Estudos envolvendo a determinação das taxas de recuo de linha de costa vêm sendo realizados desde a segunda metade do século passado, utilizando para tal os mais diversos métodos (comparação cartográfica, medições diretas em fotografia aérea vertical, medições periódicas no terreno, técnicas

fotogramétricas, utilização de imagens de satélite etc.), visando como resultado final, considerando a degradação da zona costeira à obtenção de previsões dinâmicas do comportamento da linha de costa (Short & Trembanis, 2004; Calhaghan *et al.*, 2009). Esta situação vem em grande parte determinada por um lado, pela necessidade de novas infra-estruturas e solo urbano, e por outro, pelo desconhecimento do funcionamento desta zona, dada a ausência de estudos detalhados dos processos que regem a mesma.

Em estudos de monitoramento costeiro, a existência de imagens de sensores remotos de diferentes épocas, converte a análise multitemporal em uma excelente ferramenta para auxiliar estudos geomorfológicos costeiros, ao estender informações pontuais de uma área para um contexto geográfico, possibilitando o entendimento da história evolutiva destes sistemas (Trebossen *et al.*, 2005, Chu *et al.*, 2006).

Partindo dessa premissa, o presente trabalho visa à determinação do comportamento da linha de costa em vários trechos do litoral cearense, a partir da análise multitemporal de imagens de sensoriamento remoto e fotografias aéreas, que se constitui numa valiosa ferramenta para a projeção e antecipação do comportamento desses ecossistemas às respostas do meio físico à introdução de elementos antrópicos e à dinâmica natural. Pretende-se, dessa forma, contribuir com a geração de conhecimentos e informações necessárias do meio físico, auxiliando a produção de metodologias que possam ser aplicadas no planejamento e gestão, o que é fundamental para futuros diagnósticos que visem o aproveitamento sustentável dessas regiões.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada na região Nordeste Setentrional do Brasil, mais precisamente na porção correspondente ao litoral do estado do Ceará.

A precipitação média da área de estudo, é da ordem de 1.141mm. Havendo uma forte incidência de chuvas durante o primeiro semestre de cada ano, seguido por uma intensa estiagem ao longo de todo o segundo semestre (Farias, 2008). Este padrão sazonal está diretamente relacionado com a migração da Zona de

Convergência Intertropical (ZCIT) em direção ao Atlântico Sul, durante o verão austral. Entretanto, além da ZCIT, outros sistemas meteorológicos de menor escala, podem atuar no sentido de contribuir ou inibir a incidência de chuvas na área de estudo (Farias, 2008).

O posicionamento geográfico da região costeira estudada, sofre uma influência marcante dos ventos alísios durante praticamente todo o ano, podendo atingir picos de intensidade, da ordem de 9 ms^{-1} e direção entre os quadrantes NE-SE. A variabilidade eólica da área de estudo, sofre alterações com o início da estação chuvosa, promovendo ocasionalmente, mudanças bruscas na direção dos ventos que convergem em SE (Magalhães, 2000). Os padrões de intensidade eólica apresentam um incremento crescente de Julho a Novembro, atingindo o máximo em Setembro e diminuindo gradativamente até o mês de Março (Farias, 2008).

O clima de ondas definido para o litoral do Ceará, de modo similar aos padrões de variabilidade eólica e pluviométrica, também apresenta uma forte sazonalidade. Entre os meses de Dezembro a Abril, os ventos dominantes são os alísios de nordeste provenientes do hemisfério norte e, devido à extensão do *fetch*, as ondas alcançam a costa do Ceará na forma de *swell*. No restante do ano, com a migração da ZCIT para norte do equador, os ventos dominantes passam a ser os alísios de SE, promovendo um predomínio de ondas *sea* (Maia, 2005). Através de produtos de modelagem matemática, Bensi (2006) concluiu que o clima de ondas incidentes nesta região, possui altura média de 1,15 m e período de 5,70 segundos.

Considerando os dados maregráficos da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (DHN), o regime de marés da região pode ser classificado como de meso-marés com periodicidade semi-diurna.

A geomorfologia regional do litoral do estado do Ceará, possui como uma das principais características as distinções geológicas observadas entre o litoral leste (longitudes $38^{\circ}30'W$ / $37^{\circ}15'W$ e latitudes $4^{\circ}50'S$ / $3^{\circ}42'S$) e oeste (longitudes $41^{\circ}15'W$ / $38^{\circ}30'W$ e latitudes $3^{\circ}42'S$ / $2^{\circ}55'S$). O litoral oeste apresenta uma planície rasa caracterizada pela presença de dunas e vastas áreas de mangue, enquanto a parte leste apresenta uma costa mais rochosa caracterizada por

uma extensa plataforma costeira que chega até a linha de costa com falésias e paleofalésias (Bensi, 2006).

A figura 1, apresenta as regiões contempladas pelo presente estudo. Foram selecionadas oito áreas, sendo estas: a praia do Farol no município de Itarema, as praias do Icaraí, Pacheco e Iparana no município de Caucaia, as praias de Iracema e Meireles em Fortaleza, a praia da Caponga no município de Cascavel e a desembocadura do rio Jaguaribe localizada no município de Fortim.

2.2 Processamento Digital de Imagens

As imagens de satélite em meio digital possuem dados acerca de corpos físicos contidos sobre a superfície terrestre, que podem ser identificados por intermédio do processo de classificação. Esse processo, baseia-se na distinção de diferentes alvos que possuem comportamentos espectrais diferenciados, que permitem a sua identificação. A classificação digital de imagens associa cada *pixel* a uma determinada feição terrestre, obtendo-se como resultado a identificação e extração de informações da área desejada, sendo indispensável em qualquer projeto de classificação e mapeamento envolvendo informações obtidas por meio de sensoriamento remoto (Farias, 2006).

O presente trabalho, utilizou imagens digitais dos satélites LANDSAT 5, LANDSAT 7 ETM+, QUICKBIRD e CBERS 2, georreferenciadas para o datum horizontal SAD 69 zona 24 Sul.

O processamento digital das imagens de sensoriamento remoto, foi realizado com o *software* ENVI 4.2, onde os produtos dos satélites foram integrados, georreferenciados e restaurados.

Em seguida, foram realizados os procedimentos de análise e interpretação das assinaturas espectrais predominantes e foi realizada a seleção das composições coloridas das bandas para a geração de imagens com composição colorida. Do conjunto destas imagens, foram interpretadas aquelas que proporcionaram melhor distinção da linha de costa.

2.3 Delimitação da linha de costa

O conceito de linha de costa é extremamente amplo, embora sob o ponto de vista físico a linha de costa corresponda, essencialmente, à linha de interface entre a terra e a água.

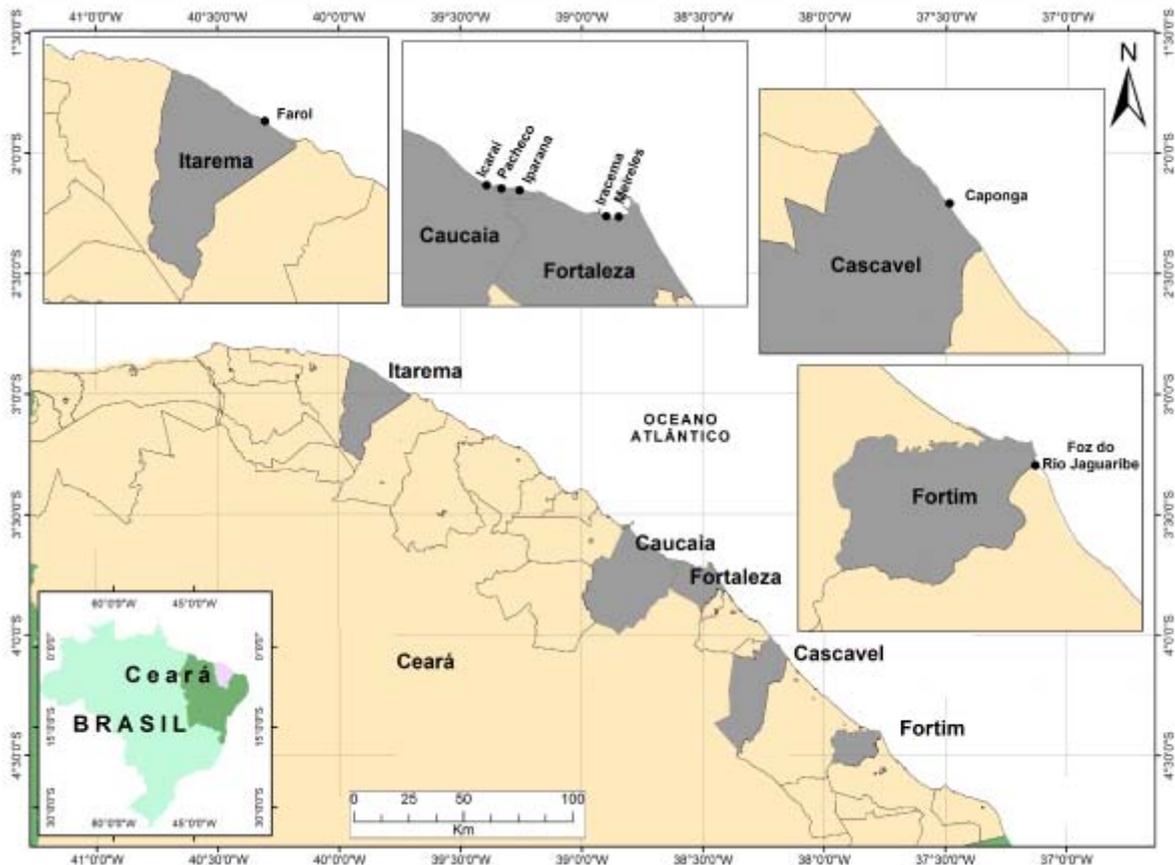


Figura 1 – Mapa de localização.

Figure 1 – Location map.

Devemos entender a linha de costa como um limite móvel, cuja posição espacial é variável a todas as escalas temporais. Os critérios que a definem devem por isso ser rigorosos, de forma a tornar comparáveis os resultados obtidos. Naturalmente que, consoante ao tipo de costa em estudo, podem traduzir-se em recuos de apenas alguns milímetros por ano ou serem da ordem dos vários metros. Deve-se ponderar por isso qual o *proxy* (referência) mais adequado tendo em linha de conta, naturalmente, o rigor posicional pretendido (Oliveira, 2005).

Para o presente trabalho, adotamos a definição sugerida por Crowell *et al.* (1991), que caracteriza a linha de costa como sendo a posição da interface terra-mar em áreas costeiras arenosas, marcada pelo limite atingido durante as preamares de sizígia. Segundo este autor, este limite caracteriza-se por uma mudança nítida de tonalidade nas areias da praia (Figura 2).

Desse modo, as linhas de costa foram delimitadas através de um processo de vetorização, visando quantificar variações dinâmicas e desenvolver uma metodologia de análise, a partir de uma série multitemporal de dados remotos em ambiente SIG.

2.4 Digital Shoreline Analysis System - DSAS

O *Digital Shoreline Analysis System – DSAS 3.2*, é uma extensão que amplia as funcionalidades do *software* ArcGIS 9.0, permitindo a automatização de grande parte das tarefas relacionadas com a análise quantitativa da evolução das tendências de erosão e deposição através de uma série estatística de tempo e posições múltiplas da linha de costa (Thieler *et al.*, 2005).

O DSAS trabalha gerando transectos ortogonais em um espaçamento definido pelo usuário e calcula

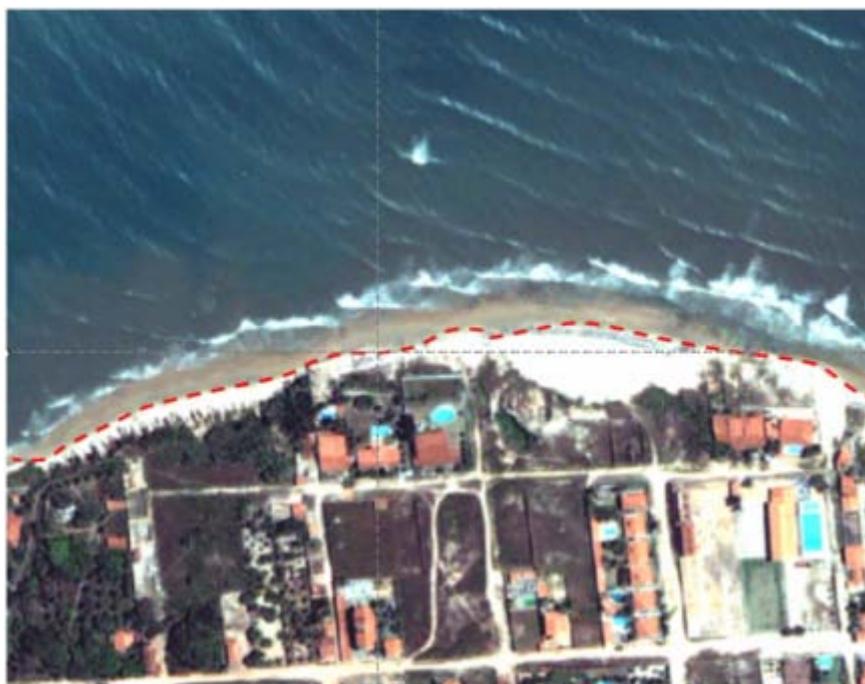


Figura 2 – A linha pontilhada em vermelho na imagem de satélite representa a delimitação de linha de costa.

Figure 2 - The dotted line in red on the satellite image represents the delineation of coast line.

as taxas de mudanças através de métodos estatísticos distintos que são mostrados em uma tabela de atributos e denominados como: the *end point rate* (EPR) ou taxa do ponto de extremidade, método *jackknife* (JKR) e regressão linear (LRR).

O método EPR faz os cálculos de variação dividindo a distância do movimento pelo tempo decorrido entre a linha mais antiga e a mais atual (Thieler *et al.*, 2005). Ou seja, é uma relação espaço e tempo. Para estudos de variação de linha de costa, o menor valor indicado pela primeira linha significa o ponto de partida de análise, e o último valor indicado pela última linha significa o ponto de chegada da migração. Thieler *et al.* (2005), comentam que a maior vantagem do EPR é sua facilidade da computação e exigência mínima de dados, bastando apenas duas linhas para que seja efetuado o cálculo das taxas de variação. A desvantagem principal está onde mais de duas linhas são usadas, pois as informações existentes nas outras linhas não são consideradas.

O método JKR é utilizado no cálculo de regressão linear para dados de pontos da linha de costa,

deixando de fora um ponto em cada interação. As inclinações das linhas de regressão linear são valores médios que fornecem a razão JKR. A vantagem do método JKR é ser similar a uma regressão linear, ou seja, é menos influenciado pelos dados que estão fora da linha de tendência. A principal desvantagem deste método é a ausência de valores estatísticos crescentes, dando tipicamente poucos valores de pontos de linha de costa usados para calcular uma taxa de mudanças da linha. A maioria dos estudos históricos de linha de costa tem menos de dez linhas; a utilidade estatística do método JKR é melhor evidenciada com esta ordem de magnitude (ou mais) de dados de ponto (Thieler *et al.*, 2005). Devido esse fato, o método JKR foi incluído nos resultados com o objetivo de mostrar tendências de erosão e/ou deposição semelhantes aos demais métodos de análise, sendo seus resultados desconsiderados para efeito de discussão, uma vez que não foram vetorizadas mais de dez linhas de costa para nenhuma área.

O método LRR calcula as taxas de recuo de linha de costa através de regressão linear simples,

considerando para tal as inflexões existentes ao longo de cada linha de costa. É um método que utiliza conceitos estatísticos aceitados aonde todos os transectos são considerados para efeito de cálculo.

A intenção de usar os três métodos estatísticos citados, é mostrar que os valores encontrados para as taxas de erosão são aproximados do que seria o real, uma vez que cada método apresentar um valor diferente após o cálculo. Os valores encontrados para os três métodos são relatados nos resultados, para mostrar essa aproximação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente estudo, contemplou 8 áreas para a análise utilizando técnicas de geoprocessamento, considerando na escolha dessas regiões o nível de resolução das imagens e fotografias aéreas disponíveis.

Em alguns casos, foram estudadas regiões que correspondem a uma curta escala temporal, devido à ausência de fotografias aéreas que delimitassem com o nível de acuidade necessária a delimitação da linha de costa.

Todas as áreas foram escolhidas tomando por base o histórico de erosão nessas regiões através de trabalhos anteriores (Morais, 1980; Pitombeira, 1995; Maia, 1998; Magalhães, 2000; Moraes & Pinheiro, 2000; Leal, 2003; Bensi, 2006; Farias & Maia, 2007). Apesar de notadamente todas apresentarem uma forte tendência de recuo de linha de costa, em alguns casos pontuais pôde-se observar tendências deposicionais em consequência da adoção de técnicas de engenharia costeira.

3.1 Análise da desembocadura e estuário inferior do rio Jaguaribe

A utilização de técnicas de geoprocessamento pode fornecer resultados interessantes não só na análise espacial das variações de linha de costa, como também para estudos em regiões da desembocadura de rios. Nesse âmbito, a ferramenta DSAS foi aplicada visando à análise das variações morfológicas das margens da região da desembocadura e estuário inferior do rio Jaguaribe, um dos mais importantes corpos hídricos do estado do Ceará, nordeste do Brasil.

Para esta região, foram utilizadas fotografias aéreas para os anos de 1958, 1975, 1988 e imagem do satélite

LANDSAT 7 ETM+ do ano de 2001 para a região na qual se encontra inserida a área de estudo.

Foram gerados 26 transectos perpendiculares na margem esquerda e 41 transectos perpendiculares para a margem direita, enumerados conforme pode ser observado nas figuras 3 e 4. Estes se encontravam com 100m de espaçamento e 1100m de extensão à linha de costa da desembocadura e estuário do rio Jaguaribe. Para este trabalho, foram geradas duas linhas paralelas a uma distância média de 350m e as taxas de regressão tomaram como base imagens entre os anos de 1958 a 2001.

Podemos constatar através da figura 5, que a variação da morfologia da desembocadura e estuário inferior do rio Jaguaribe para o intervalo de 43 anos (1958 a 2001) indicam uma média geral de recuo da linha de costa da margem esquerda de 0,83m/ano, enquanto a margem direita apresentou uma taxa de deposição média na ordem de 0,77m/ano (Figura 6). Essa tendência erosiva observada para a margem esquerda apresenta-se de forma variada ao longo do trecho. Este resultado, possivelmente está relacionado com a crescente especulação imobiliária na margem esquerda do estuário inferior do rio, podendo também ser um reflexo da abrupta redução das vazões da bacia hidrográfica do Jaguaribe para a região estuarina, em consequência da grande quantidade de barramentos artificiais presentes ao longo do rio (Farias, 2008).

Nessa região, a dinâmica costeira e o transporte eólico em função da direção da deriva litorânea atuam preponderantemente empurrando a foz do rio Jaguaribe para leste provocando erosão na margem esquerda, destruindo casas localizadas próximas às margens do rio.

As maiores tendências de erosão para a margem esquerda ocorreram na desembocadura, onde pode ser constatada uma taxa média de erosão de 0,9m/ano, havendo valores máximos na ordem de 10,7m/ano.

Para o estuário inferior os resultados obtidos mostram uma erosão média de 0,75m/ano, havendo entretanto vários pontos onde podem ser observadas taxas de deposição média de 0,9m/ano.

Entretanto, a margem direita do rio Jaguaribe apresentou uma forte tendência de deposição na região da desembocadura, apresentando índices médios de 1,65m/ano; porém, na medida em que se aproxima do estuário inferior pode-se observar erosão em alguns trechos atingindo valores máximos de 6,1m/ano, ou seja, sem a mesma representatividade da margem esquerda.

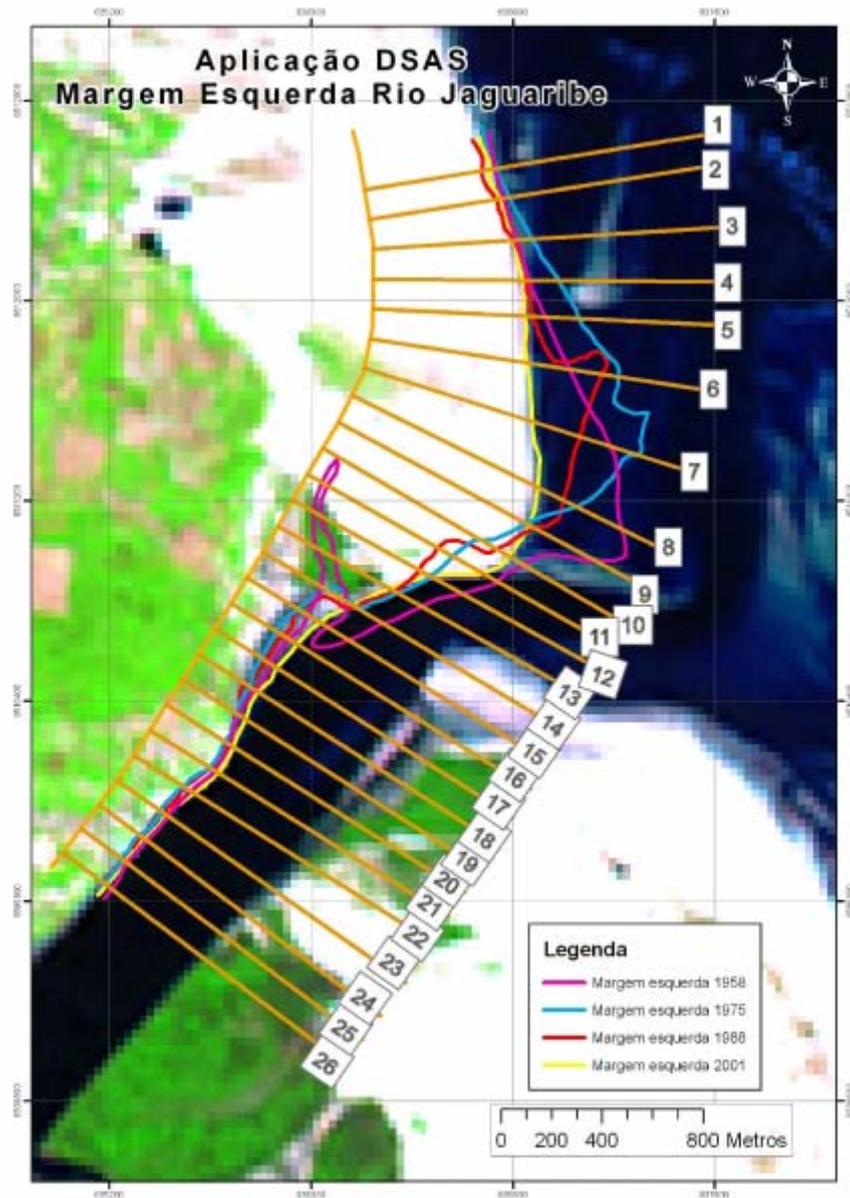


Figura 3 – Aplicação da ferramenta DSAS na margem esquerda do rio Jaguaribe. A numeração indica cada transecto.

Figure 3 – Implementation of DSAS tool on the left margin of Jaguaribe river. The numbering indicates each transect.

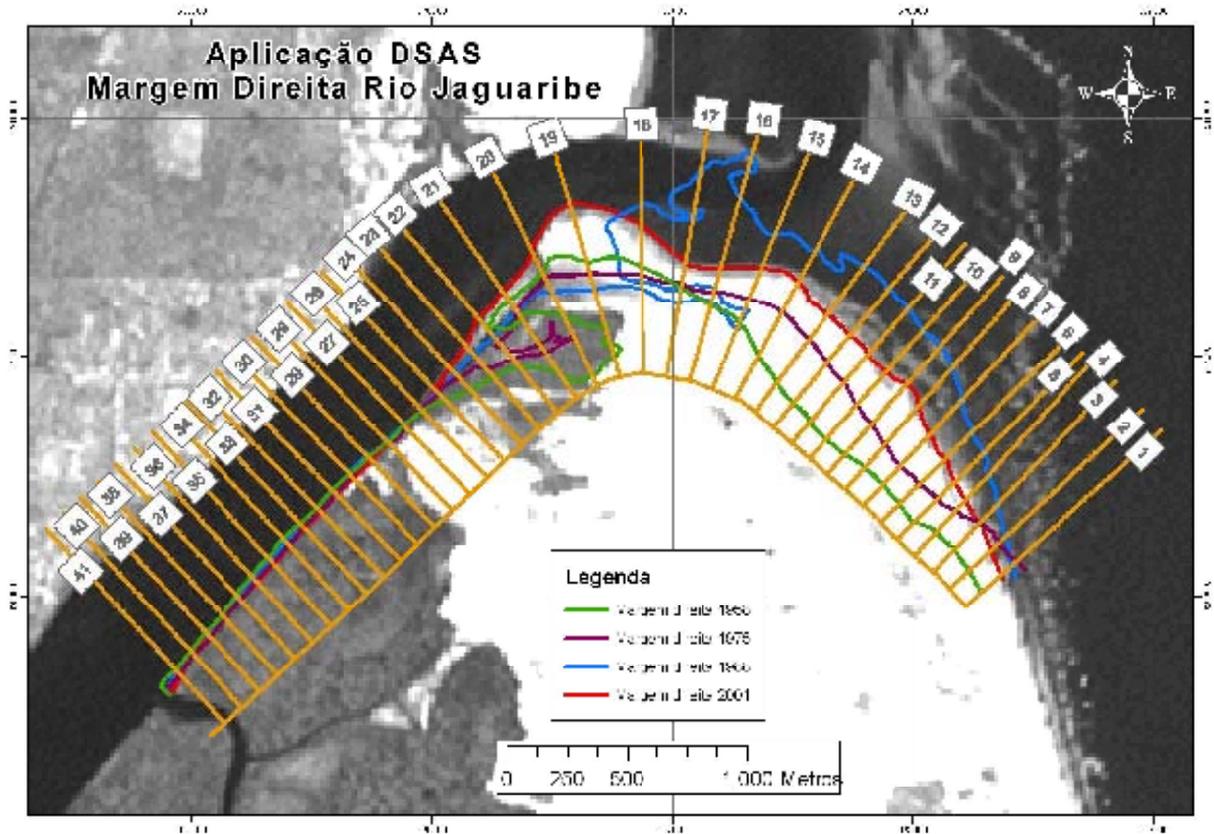


Figura 4 – Aplicação da ferramenta DSAS na margem direita do rio Jaguaribe. A numeração indica cada transecto.

Figure 4 – Implementation of DSAS tool on the right margin of Jaguaribe river. The numbering indicates each transect.

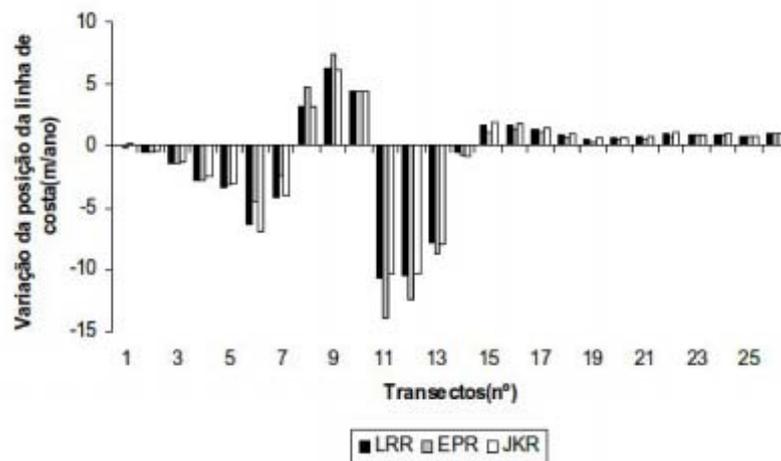


Figura 5 – Taxas de variação da margem esquerda do Jaguaribe, iniciando-se na desembocadura até o estuário inferior (valores negativos indicam erosão).

Figure 5 – Rates of change into the left margin of Jaguaribe river, starting at the mouth to the lower estuary (negative values indicate erosion).

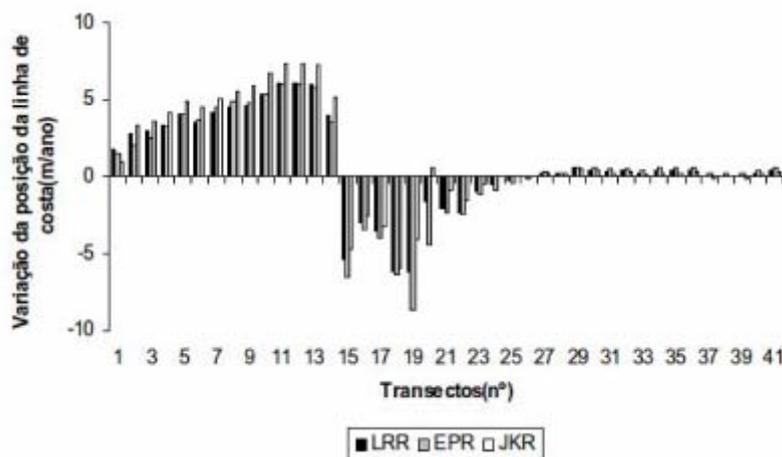


Figura 6 - Taxas de variação para a margem direita do Jaguaribe, iniciando-se na desembocadura até o estuário inferior (valores negativos indicam erosão).

Figure 6 – Rates of change into the right margin of Jaguaribe river, starting at the mouth to the lower estuary (negative values indicate erosion).

3.2 Análise da Praia da Caponga

Para a análise das tendências de erosão nesta região, foram utilizadas uma fotografia aérea para o ano de 1986, a banda 8 da imagem Landsat 7 ETM+ para o ano de 1999 e uma imagem Quickbird para o ano de 2004.

Foram gerados e enumerados 22 transectos perpendiculares com comprimento de 250 metros e espaçados 100 metros paralelamente a partir de uma linha de base *offshore* (Figura 7) para uma região de aproximadamente 2,1 km de comprimento.

Em todos os transectos pôde ser evidenciado um forte caráter erosivo, indicado através de uma média geral de recuo na ordem de 7,30m/ano, com valores máximos de 9,2m/ano segundo o método LRR, 9,6m/ano para o método EPR e 10,4 para o JKR (Figura 8), na região localizada sob as coordenadas UTM 590377 e 9552247. Esta área coincide com os aglomerados urbanos, apresentando os maiores índices de ocupação antrópica para a praia da Caponga.

Para o trecho estudado, foi observado que para um intervalo de 18 anos a linha de costa nesta localidade já recuou, aproximadamente, 160 m em direção ao continente, provocando diversos prejuízos para a

população local e para os proprietários de casas de veraneio que já vêm sendo atingidos por este fenômeno.

A partir dos resultados obtidos, é possível definir o estágio erosivo da praia da Caponga como crítico frente às tendências evolutivas de recuo.

Através das observações de campo, foi possível inferir que uma das principais causas da destruição de obras públicas e estruturas privadas nessa célula costeira são decorrentes de uma falta de planejamento de uso e ocupação da zona praial.

As ocupações desordenadas sobre a região de dunas e, em muitos casos, sobre a área da praia propriamente dita, promoveram um déficit no balanço sedimentar costeiro, uma vez que esses empreendimentos ocupam regiões importantes para a dinâmica destas áreas culminando com processos erosivos em todo o litoral da Caponga (Pinheiro et al, 2006). Assim, não planejar a recuperação dessa região litorânea irá significar o surgimento de inúmeras intervenções realizadas de forma aleatória, sem nenhum dimensionamento técnico, levando, na maioria dos casos, ao aparecimento de falhas nas próprias estruturas de proteção e ao agravamento da erosão em toda a praia.

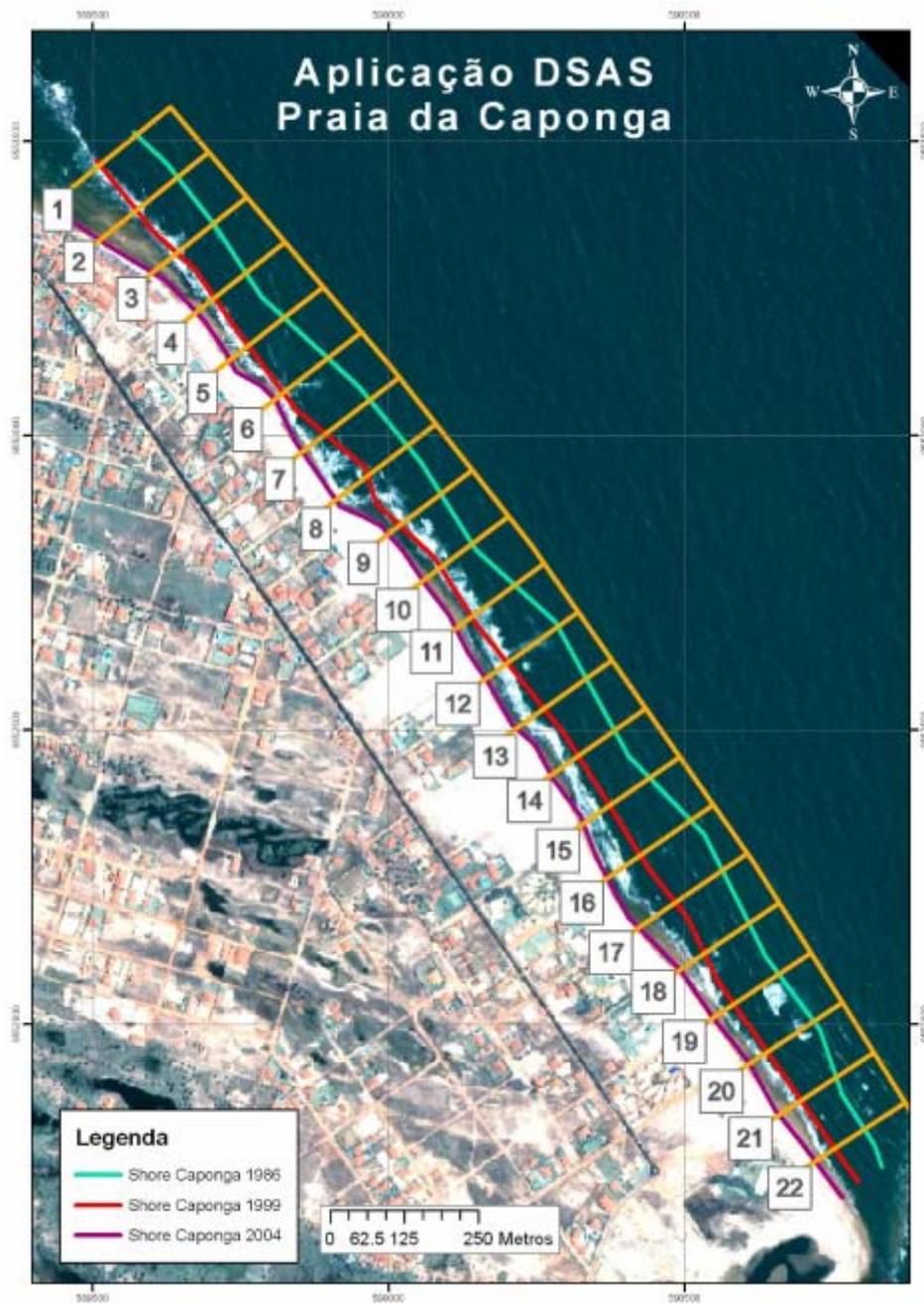


Figura 7 - Aplicação da ferramenta DSAS na praia da Caponga.
Figure 7 – Implementation of DSAS tool on the Caponga beach.

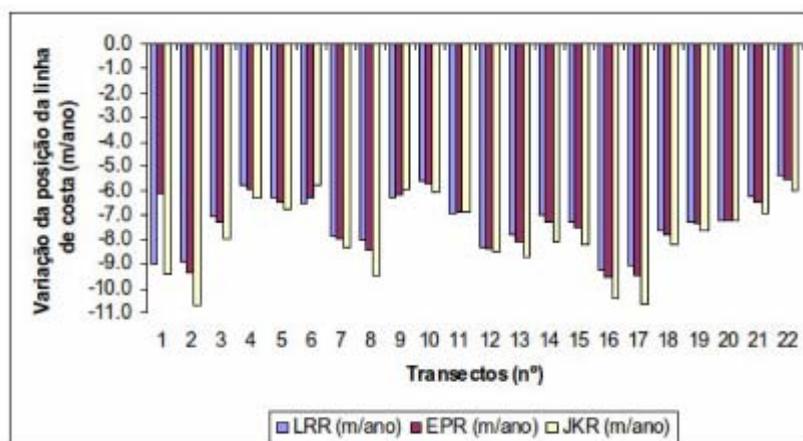


Figura 8 - Taxas de variação da linha de costa – Praia da Caponga (valores negativos indicam erosão).

Figure 8 – Rates of change of the coast line – Caponga beach (negative values indicate erosion).

3.3 Análise da Praia do Farol - Itarema

Para análise das tendências de recuo desta localidade foram utilizadas uma imagem Landsat 5 para o ano de 1991, a banda 8 da imagem Landsat 7 ETM+ para o ano de 2001 e uma imagem CBERS para o ano de 2005.

Após a utilização do DSAS, foram gerados e enumerados 44 transectos perpendiculares com comprimento de 350 metros e espaçados 150 metros paralelamente a partir de uma linha de base *onshore* para uma região de aproximadamente 6,5 km de comprimento (Figura 9).

De um modo geral, toda a região apresenta caráter erosivo, o que pode ser evidenciado através da média geral de recuo obtida que foi de 3,4m/ano, com valores máximos de 8,8m/ano segundo o método LRR, 6,1m/ano para o método EPR e 10,9 para o JKR (Figura 10).

A evolução da linha de costa nessa região, está fortemente associada à migração natural dos cordões litorâneos presentes neste setor do litoral.

A erosão observada no litoral de Itarema é notória, e vem comprometendo uma série de estruturas e equipamentos públicos e privados. Para contornar esta situação a prefeitura implantou uma série de gabiões, de forma inadequada que, posteriormente, foram destruídos pela ação das ondas acelerando de certa forma a erosão em alguns locais.

A área mais crítica denominada Volta do Rio, caso não seja realizada nenhuma intervenção, pode ficar comprometida para qualquer tipo de empreendimento.

3.4 Análise da região costeira da cidade de Fortaleza

Para a análise da evolução da linha de costa nas praias de Meireles e Iracema, foi utilizada uma série temporal entre os anos de 1968 e 2004 (fotografia aérea para o ano de 1968, imagem Landsat 7 ETM+ de 1999 e imagem Quickbird para o ano de 2004). Para as praias de Iparana, Pacheco e Icará foram utilizadas imagens Landsat 5 para o ano de 1991, a banda 8 da imagem Landsat 7 ETM+ para o ano de 1999 e imagem Quickbird para 2004.

Dessa forma, foi possível analisar a evolução da linha de costa entre as praias do Meireles e Iracema para um período de 36 anos e para as praias de Iparana, Pacheco e Icará para um período de 13 anos.

Visando facilitar o entendimento acerca das análises realizadas para a cidade de Fortaleza e das demais praias pertencentes ao litoral oeste, os resultados obtidos para cada célula costeira foram divididos e por fim feita uma análise dos processos aos quais toda a região se encontra submetida.

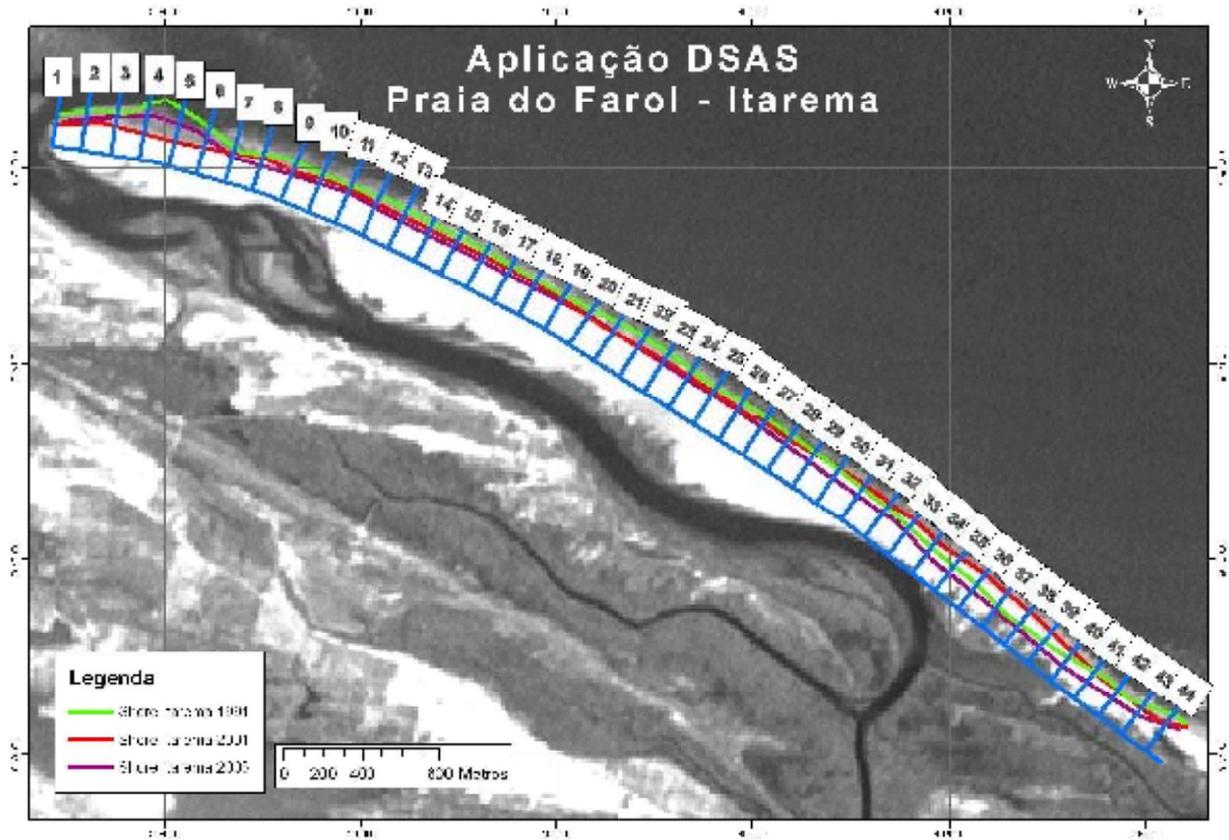


Figura 9 - Aplicação da ferramenta DSAS na praia do Farol.
 Figure 9 – Implementation of DSAS tool on the Farol beach.

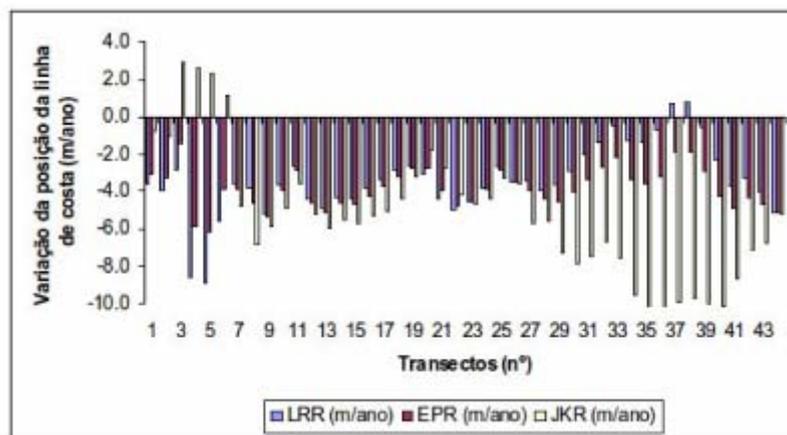


Figura 10 - Taxas de variação da linha de costa – Praia do Farol (valores negativos indicam erosão).
 Figure 10 – Rates of change of the coast line – Farol beach (negative values indicate erosion).

3.4.1 Praia do Meireles

Para esta área, foram gerados e enumerados 22 transectos perpendiculares com comprimento de 150 metros e espaçados 75 metros paralelamente a partir de uma linha de base *offshore* para uma região de, aproximadamente, 1,5 km de comprimento (Figura 11).

A praia do Meireles apresentou uma maior tendência deposicional, conforme indicado através dos resultados obtidos; obteve uma média geral de progradação de linha de costa na ordem de 0,10m/ano, com valores máximos de deposição de 1,1m/ano segundo o método LRR, 1m/ano para o método EPR e 0,5 para o JKR. Entretanto, a região também apresentou sensíveis índices de erosão pontuais ao longo do trecho estudado, obtendo-se média de recuo na ordem de 0,6 m/s (Figura 12).

3.4.2 Praia de Iracema

Para a região da praia de Iracema, a utilização do DSAS resultou na geração e enumeração de 26 transectos perpendiculares espaçados 70 m e com comprimento de 300 m dispostos paralelamente a partir de uma linha de base *offshore* para uma região de aproximadamente 1,8 km de comprimento (Figura 13).

Os resultados apresentados, mostram uma tendência erosiva ao longo de toda a praia de Iracema, com exceção da área aonde se localiza o aterro em frente ao Ideal Clube, que apresentou elevadas taxas de deposição.

Esses resultados de progradação de linha de costa para essa região, só ocorreram por conta da engorda artificial realizada no ano de 2001. No entanto, a praia de Iracema, apresentou uma média geral de recuo de linha de costa na ordem de 0,5m/ano.

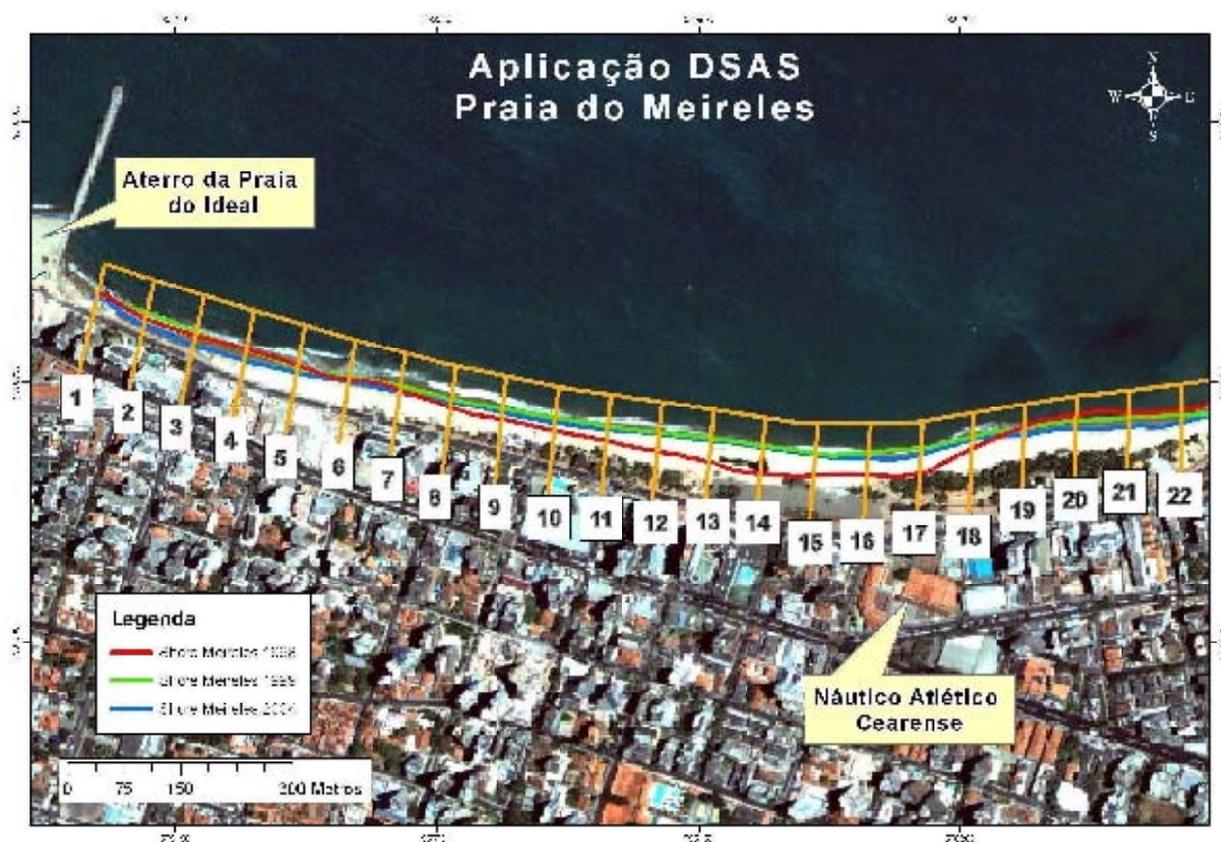


Figura 11 - Aplicação da ferramenta DSAS na praia do Meireles.

Figure 11 – Implementation of DSAS tool on the Meireles beach.

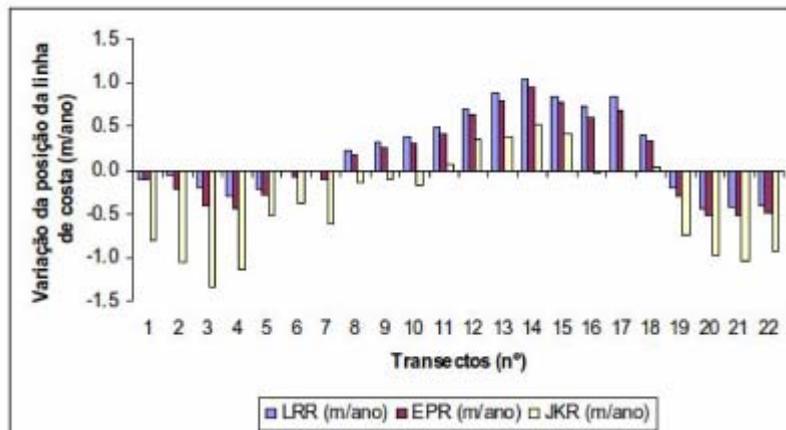


Figura 12 - Taxas de variação da linha de costa – Praia do Meireles (valores negativos indicam erosão).

Figure 12 – Rates of change of the coast line – Meireles beach (negative values indicate erosion).

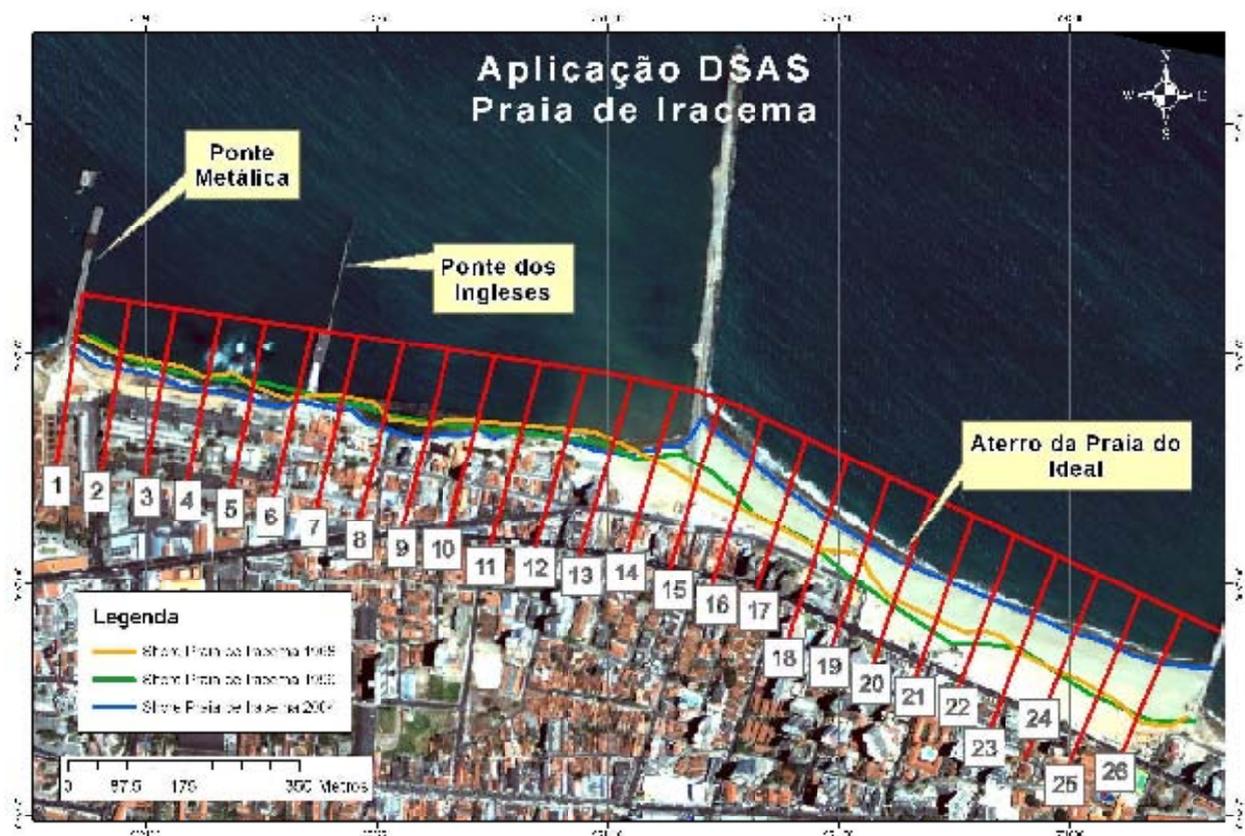


Figura 13 - Aplicação da ferramenta DSAS na praia de Iracema.

Figure 13 – Implementation of DSAS tool on the Iracema beach.

De acordo com os métodos LRR, EPR e JKR os valores máximos de erosão de linha de costa foram 0,5m/ano, 0,7m/ano e 2m/ano, respectivamente (Figura 14).

Devido aos altos índices de ocupação em toda a região da praia de Iracema, costumeiramente os efeitos da erosão costeira podem ser observados ao longo de toda a orla, principalmente nos períodos de “ressaca” onde estruturas e obras inteiras são destruídas. Em decorrência disto, várias obras de proteção foram construídas nas proximidades da ponte dos Ingleses, visando proteger o calçadão e as casas adjacentes mas afetando a estética natural da região.

3.4.3 Praia de Iparana

A praia de Iparana, encontra-se inserida a oeste da desembocadura do rio Ceará, entre falésias da formação Barreiras, vem sendo historicamente juntamente com a praia de Pacheco localizada a oeste atingida por severos processos erosivos desde a década de 80.

Para a análise dessa região, foram utilizadas imagens Landsat 5 para o ano de 1991, a banda 8 da imagem Landsat 7 ETM+ para o ano de 1999 e imagem Quickbird para 2004.

O uso de ferramentas de geoprocessamento gerou 24 transectos perpendiculares, espaçados 100 metros e com comprimento de 750 m, dispostos paralelamente a

partir de uma linha de referência defronte à praia, para uma região de aproximadamente 2,0 km de comprimento (Figura 15).

Os resultados obtidos evidenciam que, apesar das tentativas de sanar as tendências de erosão através de estruturas de defesa litorânea na região costeira de Iparana, o recuo de linha de costa ainda é evidente em grande parte da orla, atingindo valores máximos de 9,4m/ano e média de 1,25m/ano, valor este considerado alarmante para o comportamento dinâmico do litoral cearense (Figura 16).

3.4.4 Praia do Pacheco

Para a realização do estudo na praia do Pacheco, foram utilizadas imagens Landsat 5 para o ano de 1991, a banda 8 da imagem Landsat 7 ETM+ para o ano de 1999 e imagem Quickbird para 2004.

Segundo Maia (2005), a área estudada é considerada como moderadamente perigosa com riscos predominantemente associados às mudanças bruscas de profundidade e arrebentação em decorrência dos efeitos da erosão costeira.

A utilização do DSAS, resultou na obtenção e enumeração de 31 transectos perpendiculares espaçados 100 m e com comprimento de 750 m dispostos paralelamente a partir de uma baseline *offshore* para uma região de aproximadamente 2,5 km de comprimento (Figura 17).

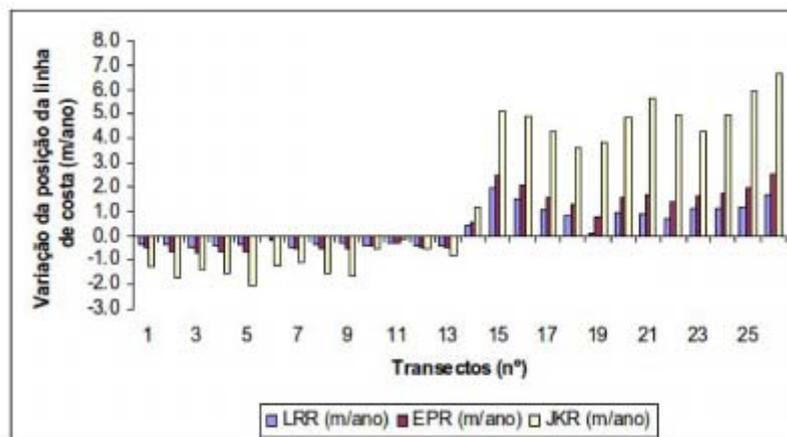


Figura 14 - Taxas de variação da linha de costa – Praia de Iracema (valores negativos indicam erosão).

Figure 14 – Rates of change of the coast line – Iracema beach (negative values indicate erosion).



Figura 15 - Aplicação da ferramenta DSAS na praia de Iparana.
 Figure 15 – Implementation of DSAS tool on the Iparana beach.

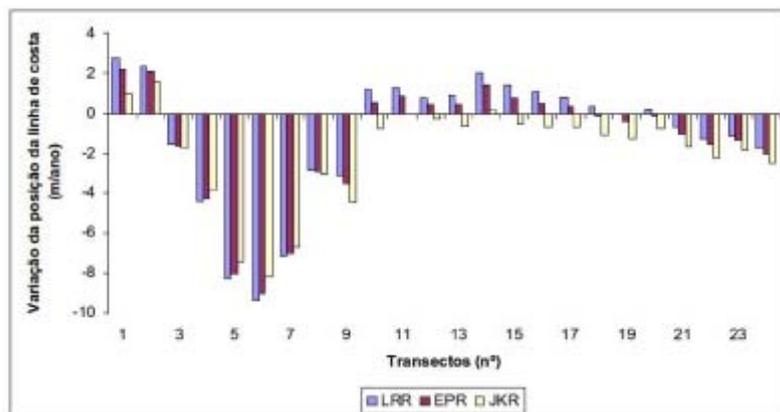


Figura 16 - Taxas de variação da linha de costa – Praia de Iparana (valores negativos indicam erosão).
 Figure 16 – Rates of change of the coast line – Iparana beach (negative values indicate erosion).

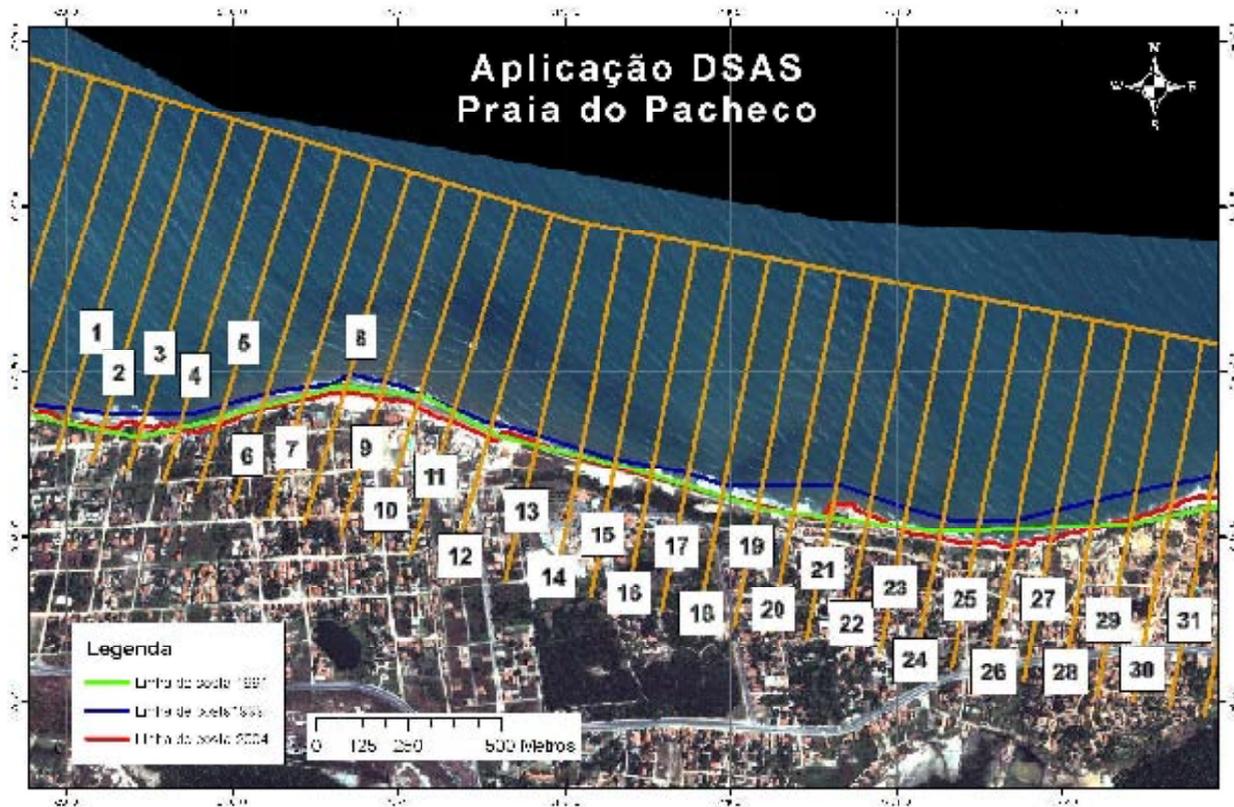


Figura 17 - Aplicação da ferramenta DSAS na praia de Pacheco.

Figure 17 – Implementation of DSAS tool on the Pacheco beach.

A figura 18, mostra que a região apresenta expressivos índices de erosão ao longo do trecho estudado, com valores máximos de 4m/ano com tendências pontuais de deposição.

De acordo com o método LRR, EPR e JKR, foram encontradas médias de 1,25m/ano, 1,38m/ano e 2,7m/ano respectivamente. As tendências de acreção de linha de costa obtiveram média de 1,11m/ano.

De forma similar à praia de Iparana, a região costeira da praia do Pacheco vem sofrendo com a problemática da erosão há aproximadamente duas décadas, fato este que vem comprometendo a estética do litoral bem como as casas de veraneio e as estruturas de contenção do recuo contínuo da linha de costa.

3.4.5 - Praia do Icaraí

De modo similar às praias de Iparana e Pacheco, foram utilizadas para a realização do estudo na praia do Icaraí, imagens Landsat 5 para o ano de 1991, a banda 8 da imagem Landsat 7 ETM+ para o ano de 1999 e

imagem Quickbird para 2004.

Foram obtidos 46 transectos enumerados (Figura 19) transversais à linha de costa, espaçados 100 m e com comprimento de 750 m dispostos paralelamente a partir de uma linha de base *offshore* ao longo de aproximadamente 5,7 km de litoral, onde pode ser evidenciado uma tendência generalizada de recuo de linha de costa com média de 0,95m/ano para toda a região estudada segundo as taxas de regressão linear simples (LRR).

Para o presente estudo, também foram calculados as taxas de erosão média segundo os métodos EPR e JKR que foram respectivamente 0,84 e 0,88m/ano, o que demonstra a tendência uniforme de resultados para a praia do Icaraí.

Os maiores índices de erosão para o trecho estudado foram de 3,3m/ano, obtido através do método JKR, seguido de 2,4m/ano para o método EPR e 2m/ano para o método LRR, o que evidencia um forte caráter erosivo em todos os métodos adotados (Figura 20).

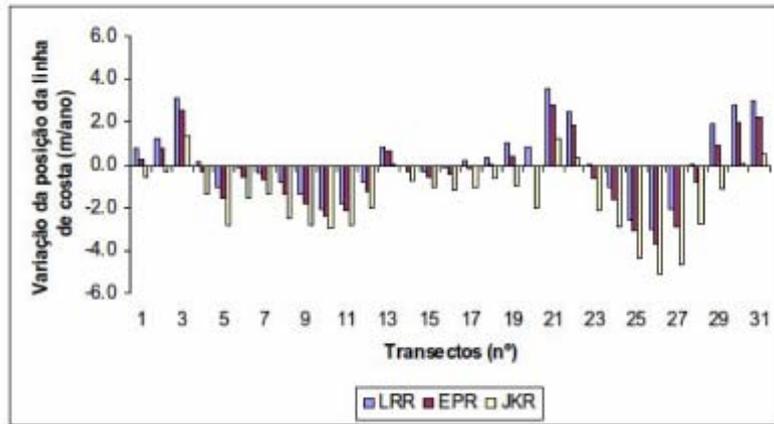


Figura 18 - Taxas de variação da linha de costa – Praia de Pacheco (valores negativos indicam erosão).

Figure 18 – Rates of change of the coast line – Pacheco beach (negative values indicate erosion).

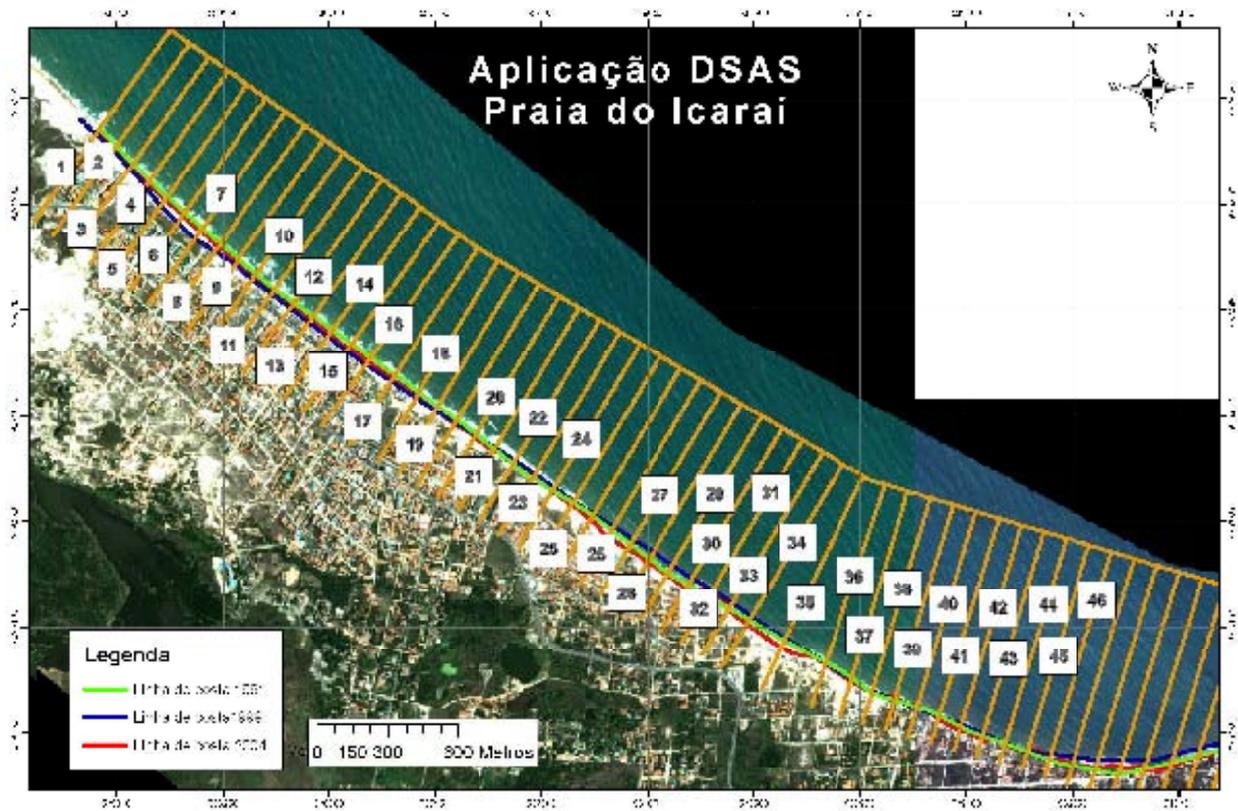


Figura 19 - Aplicação da ferramenta DSAS na praia de Icarai.

Figure 19 – Implementation of DSAS tool on the Icarai beach.

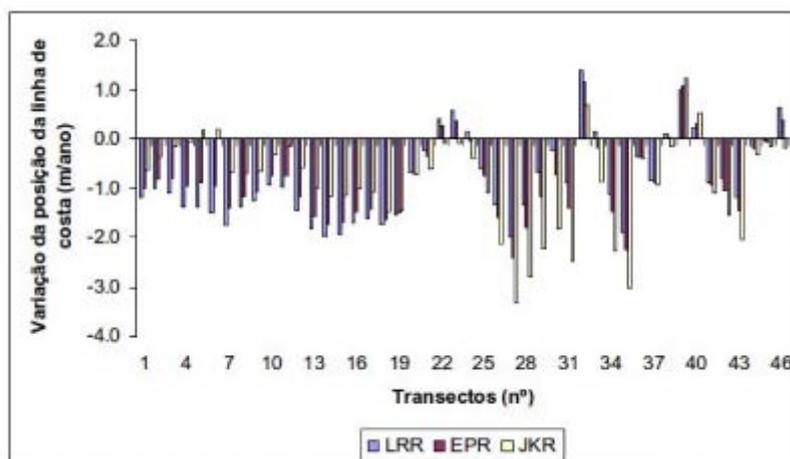


Figura 20 - Taxas de variação da linha de costa – Praia de Icarai (valores negativos indicam erosão).

Figure 20 – Rates of change of the coast line – Icarai beach (negative values indicate erosion).

3.4.6 Discussões acerca da região costeira de Fortaleza

Os processos erosivos que ocorrem ao longo de todo o litoral de Fortaleza, bem como da região metropolitana do litoral oeste, principalmente entre as praias de Iparana e Icarai, tiveram início após a implantação definitiva do porto do Mucuripe em 1945, que alterou o fluxo sedimentar e motivando o litoral a atingir uma nova posição de equilíbrio.

Devido à importância sócio-econômica da região, desde a década de 70 vários autores vêm estudando as causas e os impactos provenientes da instalação inadequada do porto na capital cearense (Morais, 1980; Maia, 1998; Magalhães, 2000; Meireles *et al.*, 2006), desencadeada com a implantação do molhe do Titã, na ponta do Mucuripe, visando a conclusão das obras do novo porto de Fortaleza.

Para esta região, o transporte de sedimentos litorâneos na zona de arrebanção é dominado pelos ventos alísios de sudeste e nordeste, produzindo um transporte resultante negativo (da direita para a esquerda do observador que olha o mar a partir da costa). Segundo Alfredini (2005), as taxas desse transporte são da ordem de 600.000 m³/ano, ao qual se soma um significativo transporte eólico de areias da ordem de 150.000 m³/ano.

A implantação do molhe do Titã no porto do Mucuripe, provocou uma mudança na direção das ondas incidentes, o que resultou num desvio das areias oriundas de leste da ponta do Mucuripe, que ao invés de contornarem a ponta do Mucuripe e alimentarem as praias de Iracema e as seguintes para sotamar, foram sedimentando na porção interna do molhe, cessando o fluxo natural de sedimentos (Figura 21). Em decorrência desse fenômeno, o canal de acesso ao porto tem que ser submetido a dragagens periódicas cujos despejos são efetuados ao largo das praias, para assim evitar possíveis encalhes de embarcações dentro da região portuária.

Segundo Meireles *et al.* (2006), outro fator preponderante no déficit de sedimentos para região foi o desenvolvimento da cidade de Fortaleza, que alterou o transporte eólico reduzindo a carga sedimentar outrora recebida pelas praias a sotamar do porto em decorrência de uma série de intervenções antrópicas relacionadas, principalmente, com a especulação imobiliária e a urbanização.

Na tentativa de mitigar os problemas oriundos da erosão costeira, várias obras de defesa vêm sendo construídas entre as praias de Iracema e a foz do rio Ceará.

Entretanto, em virtude da construção dessas estruturas, o abastecimento sedimentar a oeste da foz do rio Ceará passou a ser alterado, uma vez que os

espigões atuam como armadilhas para aprisionar o fluxo de areias e o rio Ceará, mesmo em períodos de chuva não possui competência para exportar sedimentos em quantidade necessária para abastecer as praias de Iparana, Pacheco e Icarai.

Pitombeira (1995), considera a costa de Fortaleza um modelo natural dos efeitos da intervenção humana no meio físico. O barramento do transporte litorâneo, inicialmente pelo molhe da ponta do Mucuripe e posteriormente pelo espigão de aprisionamento construído na praia do Futuro, representa o que há de mais grave em termos de agressão a uma região de praia. A construção do molhe, sem um estudo profundo dos efeitos desta intervenção, representou por si só um ato de desconhecimento de causas e efeitos. As praias foram destruídas, a proteção executada inviabilizou o uso das mesmas para recreação. O meio ambiente panorâmico foi agredido pelo lançamento das paredes disformes de pedras amontoadas longitudinalmente às praias de Iracema e Formosa e por espigões construídos ao longo do trecho de costa do Pirambú à Barra do Ceará.

Numa tentativa de reduzir os impactos provenientes da ação do avanço da linha de costa sobre os empreendimentos turísticos e casas, foi realizado no ano de 2001 um aterro com material dragado do porto do Mucuripe na região da praia de Iracema, visando recuperar a área degradada pela erosão.

Segundo Pinheiro *et al* (2005), os efeitos provenientes da instalação inadequada do porto, pôde ser claramente evidenciado nas duas últimas décadas nas praias de Iparana e Pacheco, que sofreram prejuízos não só com a perda de estruturas em virtude da erosão costeira, como também em decorrência da redução da atividade turística na região em detrimento da redução da faixa de praia e perda do potencial paisagístico em consequência dos processos erosivos.

Mais recentemente, a praia do Icarai também vem sendo submetida aos efeitos sazonais dos processos erosivos, problema este que vem se agravando continuamente uma vez que a região não possui estruturas de defesa apropriadas para solucionar o problema.

4. RESUMO DOS RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos (Figura 22), pode-se inferir que dentre as 8 áreas selecionadas para a realização do presente trabalho, a praia da Caponga é

atualmente a que apresenta os índices de recuo de costa mais críticos, com média de 7,3m/ano, seguido da praia de Pacheco que obteve taxa de recuo médio de 4m/ano e da praia do Farol, localizada no município de Itarema que apresentou taxas de erosão na ordem de 3,4m/ano. As demais áreas contempladas apresentaram índices de erosão inferiores a 1,5m/ano, sendo a praia de Iracema a área que apresentou maior estabilidade da linha de costa, com índices de erosão de 0,5m/ano.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho, comprovou que há uma tendência quase geral de avanço do mar no litoral do estado do Ceará que vem promovendo a destruição de casas e estruturas de defesa do litoral.

Apesar da utilização de imagens de alta resolução Quickbird terem se mostrado preferencialmente melhores na identificação e vetorização da linha de costa, a adoção de imagens pancromáticas LANDSAT e produtos restaurados com moderada resolução espacial, podem ser utilizados com alguma acurácia, uma vez que a relação custo x benefício favorece a utilização dos últimos.

A elaboração de uma base multitemporal de imagens de satélite e fotografias aéreas em ambiente SIG, favoreceram a identificação e compreensão da dinâmica natural e ambiental das áreas investigadas, sendo essenciais como subsídio às tomadas de decisões acerca do uso e gestão sustentável dessas áreas. Trata-se de uma importante ferramenta no planejamento e intervenção ambiental, sobretudo por indicar facilmente as tendências de recuo e/ou progradação de uma região ao longo dos anos.

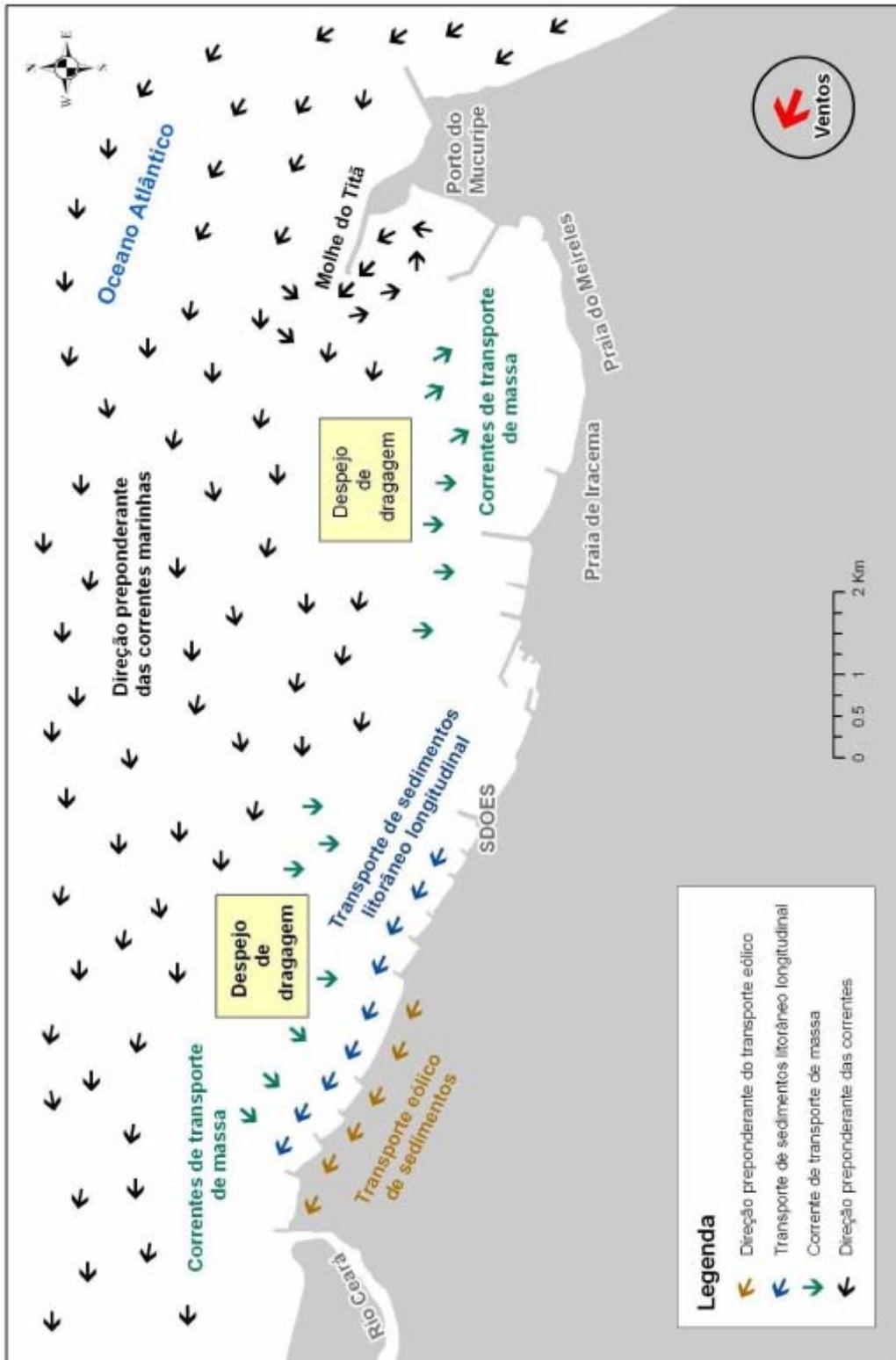


Figura 21 – Dinâmica da região litorânea do município de Fortaleza.

Figure 21 - Dynamics of the coastal zone of the Fortaleza city.

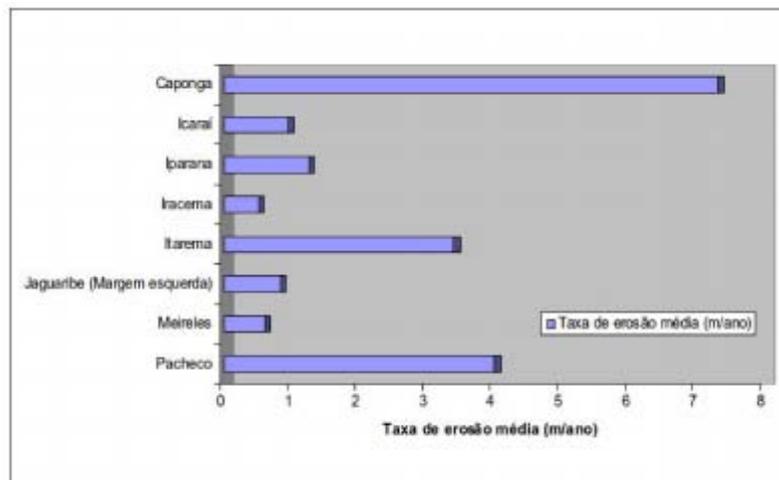


Figura 22 – Resumo dos resultados obtidos.

Figure 22 – Summary of results.

BIBLIOGRAFIA

- Alfredini, P. (2005) - Obras e gestão de portos e costas. 1ºed. 687p., Edgard Blunchen, São Paulo, SP, Brasil. ISBN: 9788521204862.
- Bensi, M. (2006) - *Aplicação do correntometro acústico ADCP em ambientes marinhos e estuarinos do Ceará e Paraíba – Nordeste do Brasil*. 128p., Dissertação de Mestrado, Instituto de Ciências do Mar - LABOMAR, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.
- Callaghan, D.; Ranasinghe, R.; Short, A. (2009) – Quantifying the storm erosion hazard for coastal planning. *Coastal Engineering*, 56: 90 – 93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coastaleng.2008.10.003>
- Chu, Z.X.; Sun, X.G.; Zhai, S.K.; Xu, K.H. (2006) - Changing pattern of accretion/erosion of the modern Yellow River (Huanghe) subaerial delta, China: Based on remote sensing images. *Marine Geology*, 227(1/2):13-30. <http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2005.11.013>.
- Crowell, M.; Leatherman, S.P.; Buckley, M.K. (1991) - Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy. *Journal of Coastal Research*, 7:839-852.
- DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegação (s/d) – Marés. *Portal da Diretoria de Hidrografia e Navegação*, Niterói, RJ, Brasil. Disponível em <https://www.mar.mil.br/dhn/chm/mares.html> (Acessado em: 2 de Janeiro de 2010).
- Dominguez, J.M.L.(2007) - *Avaliação regional do problema da erosão na região nordeste do Brasil*. <http://www.cpgg.ufba.br/lec/eros.htm>. (Acessado em: 21 de Novembro de 2007).
- Farias, E.G.G de; Maia, L.P.(2007) - Aplicação de técnicas de geoprocessamento para a análise de mudanças morfológicas na desembocadura e estuário inferior do rio Jaguaribe – CE. *Anais do XII Congresso Latino Americano de Ciências do Mar - COLACMAR*, Florianópolis, SC, Brasil.
- Farias, E.G.G. (2006) - *Caracterização ambiental do estuário do rio Coreati - CE*. 49p., Monografia de Graduação, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE, Brasil. (não publicado)
- Farias, E.G.G.(2008) - Aplicação de técnicas de geoprocessamento para a análise da evolução da linha de costa em ambientes litorâneos do estado do Ceará. 125 p., Dissertação de Mestrado, Instituto de Ciências do Mar - LABOMAR, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil. Disponível em http://www.institutomilenioestuarios.com.br/pdfs/Monografias/10_dissertacao_eduardo.pdf
- Leal, J.R.L.V. (2003) - *Zoneamento geoambiental da área de proteção ambiental de Canoa Quebrada – Aracati – Ceará*. 210p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil. (não publicado)
- Magalhães, S. H. O. (2000) - *Caracterização morfodinâmica e evolução a médio e curto prazo das praias dos municípios de*

- São Gonçalo do Amarante e Caucaia- CE. 123p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil. (não publicado)
- Maia, L.P. (1998) - *Processos costeiros y balance sedimentário a lo largo de Fortaleza (NE-Brasil): Implicationes para uma gestão adecuada de la zona litoral*. 269p., Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona, Facultat de Geologia, Departament d'Estratigrafia i Paleontologia, Barcelona, Espanha. (não publicado)
- Maia, L.P. (2005) - Projeto Nordeste – Definição e Quantificação dos Processos Costeiros no Litoral do Estado do Ceará: Implicações para a Gestão Adequada da Zona Litorânea. (não publicado)
- Meireles, A.J.A.; Silva, E.V. da; Thiers, P.R.L. (2006) - Os campos de dunas móveis: Fundamentos dinâmicos para um modelo integrado de planejamento e gestão da zona costeira. *GEOSP - Espaço e Tempo*, 20:101-119. São Paulo, SP, Brasil. ISSN:1414-7416.
- Morais, J.O. (1980) - *Aspectos da geologia ambiental costeira do município de Fortaleza (Estado do Ceará)*. Tese para seleção de professor titular, 143p., Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil. (não publicado)
- Morais, J.O.; Pinheiro, L.S. (2000) - Evolução a curto e médio prazo da zona costeira adjacente à foz do rio Jaguaribe – Ceará. *Ciências e Tecnologia (UECE)* (ISSN: 1516-9758), 2(2):69-77, Fortaleza, CE, Brasil.
- Oliveira, S.M.C. (2005) - *Evolução recente da linha de costa no Troço Costeiro Forte Novo*. 137p., Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa, Portugal.
- Pinheiro L.S.; Moraes, J.O.; Oliveira, G.G.; Moura, M.R. (2005) - Impactos da erosão nas atividades turísticas das praias de Iparana e Pacheco. Caucaia – CE. *Anais do II Congresso Brasileiro de Oceanografia - CBO*, Vitória, ES, Brasil. Disponível em <http://www.uece.br/lgco/publicacoes/81.pdf>.
- Pinheiro, L.S.; Moraes, J.O.; Medeiros, C.; Pitombeira, E. S. (2006) - The gabions for the protection of Caponga Beach, Ceará/Brazil: Hazards and Management. *Journal of Coastal Research*, Itajaí, 39: 848-851.
- Pitombeira, E. S. (1995) - Litoral de Fortaleza – Ceará – Brasil, um exemplo de degradação. *Anais do 1º Simpósio sobre Processos Sedimentares e Problemas Ambientais na Zona Costeira do Nordeste do Brasil* p. 59-62. Recife, PE, Brasil.
- Short, A.D.; Trembanis, A.C. (2004) - Decadal scale patterns in beach oscillation and rotation Narrabeen Beach, Australia—time series, PCA and wavelet analysis. *Journal of Coastal Research*, 20 (2): 523–532. Disponível em <http://www.jstor.org/stable/4299308>.
- Thieller, E. R.; Martin, D.; Ergul, A. (2005) - The Digital Shoreline Analysis System, version 2.3. Shoreline change measurement software extension ArcMap 9.0. USGS Open-File. Disponível em <http://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/dsas/>
- Trebossen, H.; Deffontaine, B.; Classeau, N.; Kouame, J.; Rudant, J.P. (2005) - Monitoring coastal evolution and associated littoral hazards of French Guiana shoreline with radar images. *Comptes Rendus Geosciences*, 337(13):1140–1153. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crite.2005.05.013>
- Yoshikawa, S.; Nemoto, K. (2010) – Seasonal variations of sediment transport to a canyon and coastal erosion along the Shimizu coast, Suruga Bay, Japan. *Marine Geology*, 271: 165-176. <http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2010.02.010>



Geomorfologia de uma área com alta sensibilidade ambiental na Bacia Potiguar (NE do Brasil) *

Geomorfology of a High Sensitive Area on Potiguar Basin (NE Brazil)

Dalton Rosemberg Valentim da Silva ^{@, 1}, Venerando Eustáquio Amaro ¹,
Michael Vandestein Silva Souto ¹, Miriam Cunha do Nascimento ¹,
Bruno Rafael de Barros Pereira ¹

RESUMO

A zona costeira setentrional do Rio Grande do Norte, NE do Brasil, está inserida na Bacia Potiguar, com rochas e sedimentos cujas idades variam do Cretáceo ao Neógeno. Esta área tem alta sensibilidade ambiental e conflitos socioeconômico-ambientais devido à ocupação pelas indústrias petrolífera, salineira e de carcinicultura, além de estar sob atuação de processos hidrodinâmicos que causam a erosão da linha de costa em áreas ocupadas por estas atividades industriais. Diante deste quadro, é importante conhecer informações sobre a morfologia do terreno, uma vez que este é um dos fatores a ser considerado para um melhor desenvolvimento de planos de gestão costeira integrada. A metodologia utilizada neste trabalho tem o objetivo de utilizar produtos de sensoriamento remoto, em conjunto com dados disponíveis na literatura e levantamentos de campo para gerar produtos cartográficos que auxiliem na caracterização geológica e geomorfológica da região. Imagens orbitais óticas dos satélites LANDSAT e CBERS foram submetidas a técnicas de processamento que incluem razões de banda e principais componentes para gerar imagens coloridas no sistema de cores RGB. Estas imagens coloridas foram integradas com imagens de radar do tipo SRTM e Radarsat, gerando produtos híbridos 2D e 3D. A vantagem desta metodologia em comparação com a análise individual de cada tipo de imagem (ótica e de radar) consiste na integração entre o aspecto textural das imagens de radar e o aspecto espectral das imagens óticas. Os produtos híbridos realçam as formas de relevo, facilitando a interpretação das feições morfológicas na superfície do terreno. A partir da interpretação das imagens híbridas em conjunto com dados obtidos em campo e em trabalhos prévios, foram desenvolvidos os mapas de geologia e geomorfologia. Informações de altimetria em metros, declividade em graus, aspecto (sentido de mergulho das superfícies no terreno) e sombreamento (simulação da iluminação) foram obtidos a partir dos dados SRTM. Lineamentos foram mapeados a partir de produtos de filtragem direcional aplicada sobre os dados SRTM e sobre imagem CBERS, evidenciando a influenciados Sistemas de Falhas de Afonso Bezerra (NW) e Carnaubais (NE)

@ autor correspondente: daltonroseberg@yahoo.com.br

1 - UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, Natal-RN, Brasil.

* Submissão – 30 Junho 2010; Avaliação – 7 Setembro 2010; Recepção da versão revista – 22 Outubro 2010; Disponibilização on-line – 7 Dezembro 2010

na geomorfologia costeira, confirmando estudos prévios que reconhecem a reativação holocênica destas estruturas como fator relevante na compartimentação e sedimentação litorânea. Esta estratégia metodológica criou uma base de dados que pode ser utilizada em planos de contenção no caso de derramamentos de óleo e outros poluentes, além de auxiliar no planejamento da instalação de novas áreas de exploração. A geomorfologia da área está intimamente relacionada com a natureza do material geológico, atuação tectônica e hidrodinâmica costeira.

Palavras-chave: Zona costeira, Bacia Potiguar, Imagens orbitais, radar, Geomorfologia.

ABSTRACT

The study area is located on northern coast of Rio Grande do Norte state, NE-Brazil, inserted on the geological context of Potiguar Basin. This sedimentary basin is filled with rocks and sediments which ages range from Cretaceous to Quaternary. According to previous studies, the environmental sensitivity on this coastal zone is very high due to the industrial occupation of the natural environment. These industrial activities consist in hydrocarbon's exploration, salt industries and shrimp farms. The constant activities of coastal hydrodynamic processes causing erosion on shoreline are also a strong contribution to classify such area as a very high environmental sensitivity coast. Such situation demands a constant environmental monitoring which can create a database of useful information for a better development of integrated coastal zone management. One of the most important knowledge to be achieved is the morphology of surface. This paper aims to apply a methodology of digital image processing to extract geological and geomorphological information about the study area. Optical images from satellites Landsat and CBERS were georeferenced using control points acquired on field with DGPS, using UTM-Zone 24 South coordinate system. The statistics were calculated and the images were processed using techniques like bands ratios and principal components analysis to create RGB color images. For the LANDSAT image the most efficient RGB compositions were 541, 531, 751 and the RGB composition between the ratios $7/3 - 5/3$ and $4/3$. CBERS color images used consist in RGB 431, 421, 432 and RGB with the principal components PC1-PC4-PC3. The selected RGB images were integrated with radar data from SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) and Radarsat, to create 2D and 3D hybrid images. The gain that this methodology provides in comparison to the individual analysis of each kind of image (optical and radar) consist on the joining of textural aspect of radar and the spectral information of optical images. Such hybrid images enhance the relief, aiding the interpretation of morphological features on surface. Geologic and geomorphologic maps were developed from the interpretation of hybrid images together with field data and information from previous studies. Lithostratigraphy involves Jandaíra Formation (carbonaceous rocks), Tibau Formation (fine to conglomeratic calciferous sandstones), Macau Formation (basalts and gabbros), Barreiras Formation (conglomerates and coarse sandstones) and quaternary deposits. Geomorphological units are: tabular relief zones composed mainly by Barreiras Formation, described at Brazilian technical literature as "Tabuleiros Costeiros", fluvial-marine flood plains, mangrove, fixed and mobile dunes and shoreline. Coastal tabular zones are composed by carbonatic, siliciclastics and magmatic rocks, with altimetry ranging from 7 to 119 m. Dunes are composed by sand and sandy soil (fixed ones), their altimetry reaches until 4 m. The fluvial-marine flood plain is under influence of tides and river floods, being composed by fine sandy and silty sediments together with clay and organic matter and occur between 0 and 6 m above sea level. SRTM data was also used individually to obtain information about altimetry in meters, creating 2D digital elevation model and topographic profile. The altimetry ranges from 0 to 230 m, such values correspond to the elevation above relative sea level. The central part of the area consists on the Assu-Assu river valley with elevation below 15 meters, placed between higher zones to west and to east. The western portion of the area correspond to Serra do Mel region, with elevation up to 30 meters and on the eastern region there's a dome high known as Mangue Seco Dome, with the highest values of elevation (230 meters). Slope information was also extracted from SRTM, separating areas with very low slope ($0 - 1^\circ$), low slope ($1 - 1,5^\circ$), medium slope ($1,5 - 2^\circ$), high slope ($2 - 3,5^\circ$) and very high slope ($3,5 - 7,7^\circ$). The area is generally very flat, but the highest slope zones consist in limits between features with higher elevation and lower zones. Aspect map was also created from SRTM data, this map displays the dip direction of surfaces, indicating the behavior of surface flow. Directional filters were applied on SRTM data and CBERS image aiming to enhance topographic lineaments on surface. Such lineaments were mapped and their orientation is parallel to regional fault systems of Afonso Bezerra (NW trend) and Carnaubais (NE trend), confirming the influence of such geological fault systems on coastal landscape which were already known from previous studies as being reactivated during the Holocene, so controlling coastal morphology and sedimentation. Comparing lineaments mapped from SRTM with those mapped from CBERS's images is possible to note a decrease in lengths, however in both cases most lineaments are smaller than 5 km and some few are bigger than 10 km. Some outcrops have evidence of brittle deformation like faults, joints and silex formation, such structures are parallel to lineaments. This methodology created a cartographic database which can be used as some of the parameters to be considered during the development of coastal zone management plans. Such knowledge around morphology is important to the monitoring of industrial activities already installed on the coast, for the planning of new human occupation, and for a better development of emergency plans in cases of oil spills. Since, surface morphology influences directly on the interaction between coastal processes and human occupation. The geomorphology on the study area is deeply related to the nature of the geological units, tectonic factors and coastal processes. Forthcoming studies should apply the methodology used on this paper in detailed scales, using high resolution images and high resolution digital elevation models to provide the level of accuracy demanded by a so complex and sensitive region.

Keywords: Coastal zone, Potiguar Basin, orbital images, radar, Geomorphology.

1. INTRODUÇÃO

A área de estudo está situada no Estado do Rio Grande do Norte, extremo nordeste do Brasil. O litoral setentrional deste estado apresenta uma intensa instabilidade morfológica, evidenciada por processos de erosão e de acreção da linha de costa. Ecossistemas frágeis coexistem com algumas das principais atividades socioeconômicas do Estado, como a exploração petrolífera, produção de sal marinho, carcinicultura, agricultura, pesca e turismo. Tais condições trazem a necessidade do monitoramento ambiental que vem sendo desenvolvido, utilizando técnicas de geoprocessamento e geofísica marinha, e aplicação de conhecimentos na área de geologia costeira.

Com a finalidade de obter informações geológicas e geomorfológicas (relevo, altimetria, padrão de drenagens, lineamentos), imagens óticas dos satélites Landsat e CBERS foram integradas com imagens de radar SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) e Radarsat para gerar mapas temáticos do ambiente costeiro, como subsídio a análise integrada dos diversos aspectos atuantes na modificação costeira da região em alguns cenários. O conhecimento dos aspectos morfológicos da superfície é importante para o prognóstico do comportamento do óleo em caso de derramamentos acidentais na área de estudo que é de alta sensibilidade ambiental. As unidades geomorfológicas mapeadas na área são dunas móveis e fixas, planície flúvio-marinha, planície flúvio-marinha vegetada (manguezal) e tabuleiros costeiros. O termo tabuleiros costeiros corresponde a platôs de origem sedimentar, com altitude média entre 50 e 150 m, relevo plano a suavemente ondulado, frequentemente interrompido por drenagens e ravinamentos (Prates *et al.* 1981).

2. LOCALIZAÇÃO, ASPECTOS FISIAGRÁFICOS E PROCESSOS COSTEIROS

A área é delimitada pelos meridianos 9421349 m N e 9447082 m N e pelos paralelos 739474 m E e 792185 m E (Figura 1).

Em escala global esta zona costeira tem as características do que Inman & Nordstrom (1971) definiram como uma costa de afastamento antiga, ou

seja, decorrente do movimento divergente entre placas litosféricas em estágios avançados de desenvolvimento. Este tipo de costa apresenta planícies costeiras extensas, de baixo relevo e sistemas de drenagem bem desenvolvidos (Silva *et al.* 2004).

O modelamento das formas de relevo nesta área é resultante da ação constante dos processos do meio físico, das condições climáticas, das variações do nível do mar, da natureza das seqüências geológicas, das atividades neotectônicas e do suprimento de sedimentos carreados pelos rios e oceano, que controlam o desenvolvimento de feições erosivas e construtivas na faixa litorânea (Souto *et al.* 2006).

Segundo Nimer (1989), o clima na área é semi-árido seco, sendo influenciado pela zona de convergência intertropical, com período seco de junho a janeiro e úmido de fevereiro a maio. A precipitação máxima é, em média, 600mm/ano e a temperatura média é de 26,8°C (Vital 2009). Os principais canais fluviais na área são os rios Piranhas-Assu, Casqueiras, Conceição, Cavalos e Conchas. As classes de vegetação consistem em manguezal, cobertura das paleodunas e vegetação de caatinga (arbórea e arbustiva), além das áreas de cultivo (Souto *et al.* 2006). As principais atividades industriais são de salinas, tanques de carcinicultura, agricultura, pesca, turismo e principalmente exploração de óleo e gás.

Os processos hidrodinâmicos que atuam na área são descritos por Chaves *et al.* 2006, Rocha *et al.* 2009 e Vital 2009, sendo caracterizados pela energia de ondas moderada, junto a costa, com alturas de 10 a 80 cm e período entre 4 e 8 segundos, ventos provenientes de direção NE, e regime de mesomare semi-diurno, com máxima de 3,3m durante maré de sizígia e mínima de 1,2m durante maré de quadratura.

3. SENSIBILIDADE AMBIENTAL

As Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo (Cartas SAO) contêm informações indispensáveis para o planejamento de contingência e para a implementação de ações mitigadoras aos incidentes com poluição por óleo. As cartas SAO apresentam informações de recursos biológicos, atividades econômicas e dos Índices de Sensibilidade do Litoral (ISL) ao derramamento de óleo, que são definidos com base em informações geomorfológicas, tipo de substrato geológico,

declividade, atuação de ondas e marés e indicações de trafegabilidade, variando de 1 a 10, obedecendo as diretrizes do Ministério do Meio Ambiente (MMA).

Silveira *et al.* (2003) elaboraram uma carta SAO para a costa entre os municípios de Guararé e Macau, no Rio Grande do Norte, com ISL's 2 (tabuleiros costeiros), 3 (campos de dunas fixas e móveis), 7 (zona de praia e planície de inundação), 9 (planície de maré) e 10 (manguezal e lagoas). Souto *et al.* (2006) desenvolveram cartas SAO em Escala Operacional para a região da Ponta do Tubarão (parte leste da área de estudo). Estes mapas em escala de 1:10.000 oferecem maior detalhe do que os precedentes, tendo sido desenvolvidos com base em imagens IKONOS de alta resolução e levantamentos de campo em duas fases de maré. Na baixamar foram caracterizados cinco ISL's, 3 (praias dissipativas e campo de dunas móveis), 4 (praias intermediárias expostas e praias abrigadas), 7 (planície de maré arenosa exposta), 9

(planície de maré arenosa/lamosa abrigada) e 10 (deltas e barras de rio vegetadas, apicum e manguezal), enquanto que na preamar foram acrescentados os índices 5 (praias mistas de areia, cascalho e conchas) e 8 (escarpa/encosta de rocha não lisa e estruturas artificiais, abrigados). As áreas de influência da indústria petrolífera foram também consideradas por este autor com ISL 10, devido ao risco que estas atividades oferecem ao meio ambiente e populações que vivem nas adjacências de suas instalações. É importante a elaboração periódica deste tipo de cartas devido às constantes mudanças na paisagem costeira.

4. CONTEXTO GEOLÓGICO

A área de estudo está inserida no contexto geológico da Bacia Potiguar, uma bacia sedimentar meso-cenozóica, situada no extremo leste da Margem Equatorial Brasileira. A bacia abrange parte dos estados do Rio Grande do Norte e Ceará (Figura 2),

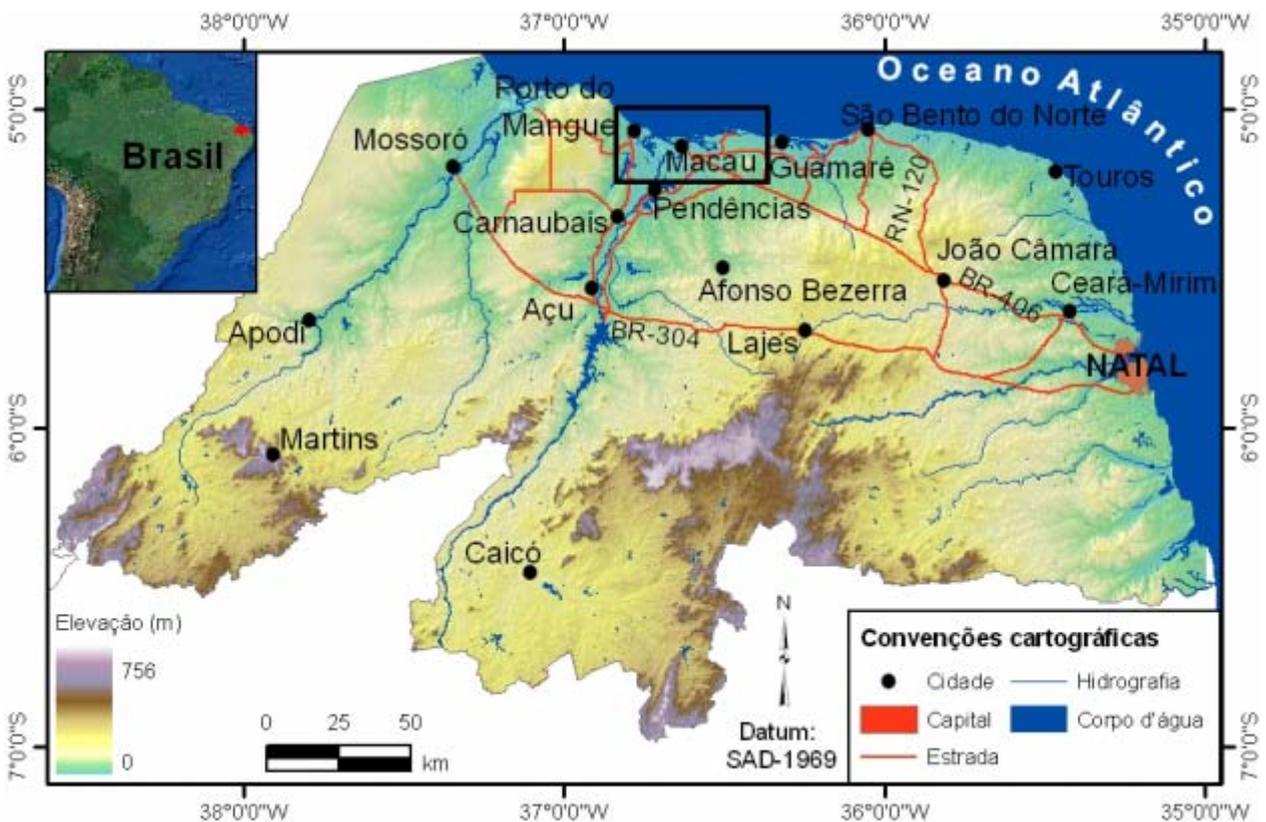


Figura 1 – Localização da área estudada no Estado do Rio Grande do Norte, nordeste do Brasil.

Figure 1 – Location of study area on Rio Grande do Norte state, northeast Brazil.

ao longo de aproximadamente 48.000 km², sendo 21.500 km² emersos e 26.500 km² submersos (Neto *et al.*, 2007).

As unidades litoestratigráficas estão distribuídas em três superseqüências: Rifte (Cretáceo Inferior); Pós-rifte (Aptiano); e Drifte (Albiano até o recente). A evolução cenozóica é marcada pela reativação dos sistemas de falhas de Afonso Bezerra (NW) e Carnaubais (NE), que influenciou na evolução do litoral entre Aracati/CE e Touros/RN (Srivastava & Corsino, 1984). Fonseca (1996) afirmou que este par de sistemas conjugados de falhas é responsável pela compartimentação do litoral entre a Ponta do Mel/RN e a Ponta dos Três Irmãos/RN, reativando parte da estruturação pré-existente e modelando a superfície atual e sedimentação costeira (Figura 3). Caldas *et al.* (1997) argumentou a existência de uma relação geométrica entre a linha de costa e a orientação do Sistema de Falhas de Carnaubais (Figura 3), concordando com Bezerra *et al.* (1998) que propõem

um soerguimento nos últimos 5.000 anos para a porção leste da falha nesta área. A influência destas estruturas na geomorfologia foi constatada em outras porções da bacia: Moura-Lima *et al.* (2005) analisou o controle tectônico na Chapada do Apodi, Dantas *et al.* (2004) reconheceu esta relação na porção central e SE da Falha de Afonso Bezerra, e Aquino *et al.* (2006) verificou-a na análise morfotectônica da região de Carnaubais/RN. Estudos estão sendo atualmente desenvolvidos com o intuito de melhor caracterizar a relação entre a neotectônica e modificações recentes da paisagem costeira no litoral setentrional do Rio Grande do Norte.

A Bacia Potiguar foi considerada a maior produtora *onshore* de hidrocarbonetos do Brasil com uma produção diária de 100.000 barris de óleo e 4 milhões de m³ de gás natural, segundo dados da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Bio-combustíveis (ANP). Na área de estudo existem 140 poços exploratórios e 350 poços explotatórios.

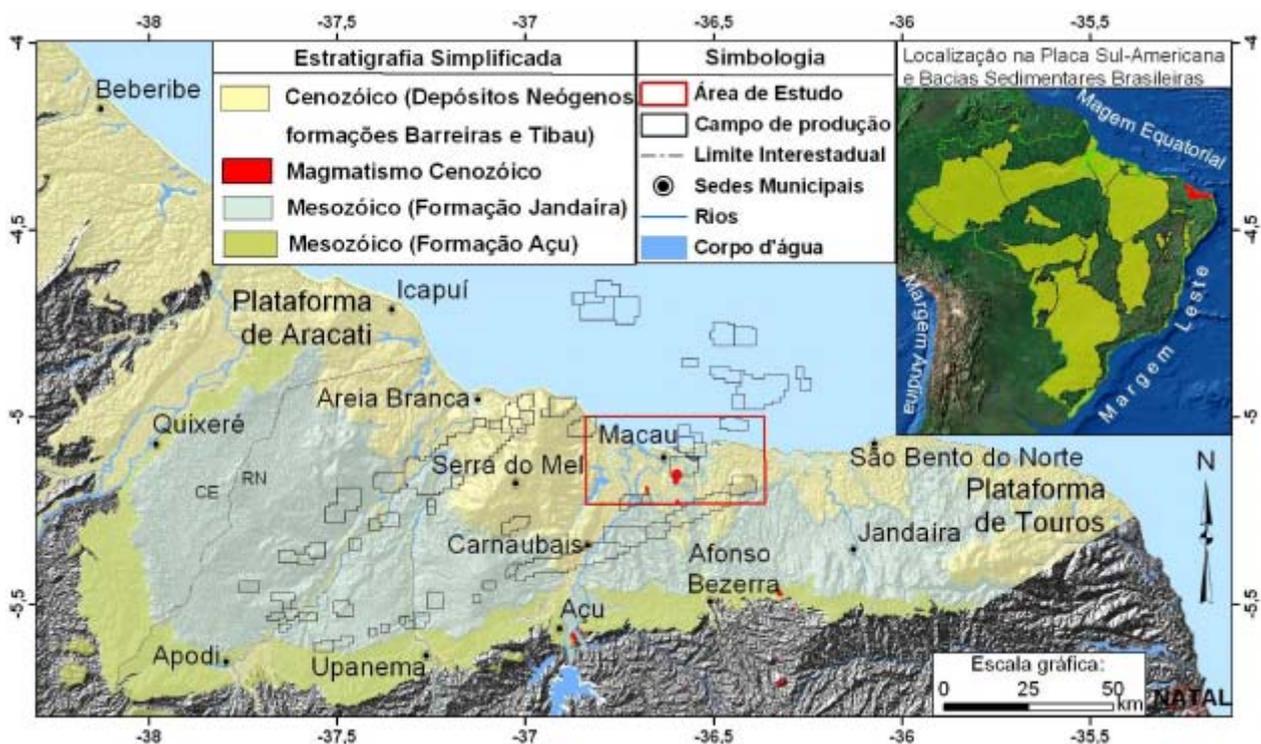


Figura 2 – Distribuição de campos petrolíferos na Bacia Potiguar e localização desta bacia meso-cenozóica na Placa Sul-Americana, com base em dados disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e pela Agência Nacional do Petróleo – (ANP).

Figure 2 – Oil fields on Potiguar Basin and location of this Meso-Cenozoic basin on South American Plate, based on data provided by Brazilian geological service (CPRM) and national agency of oil (ANP).

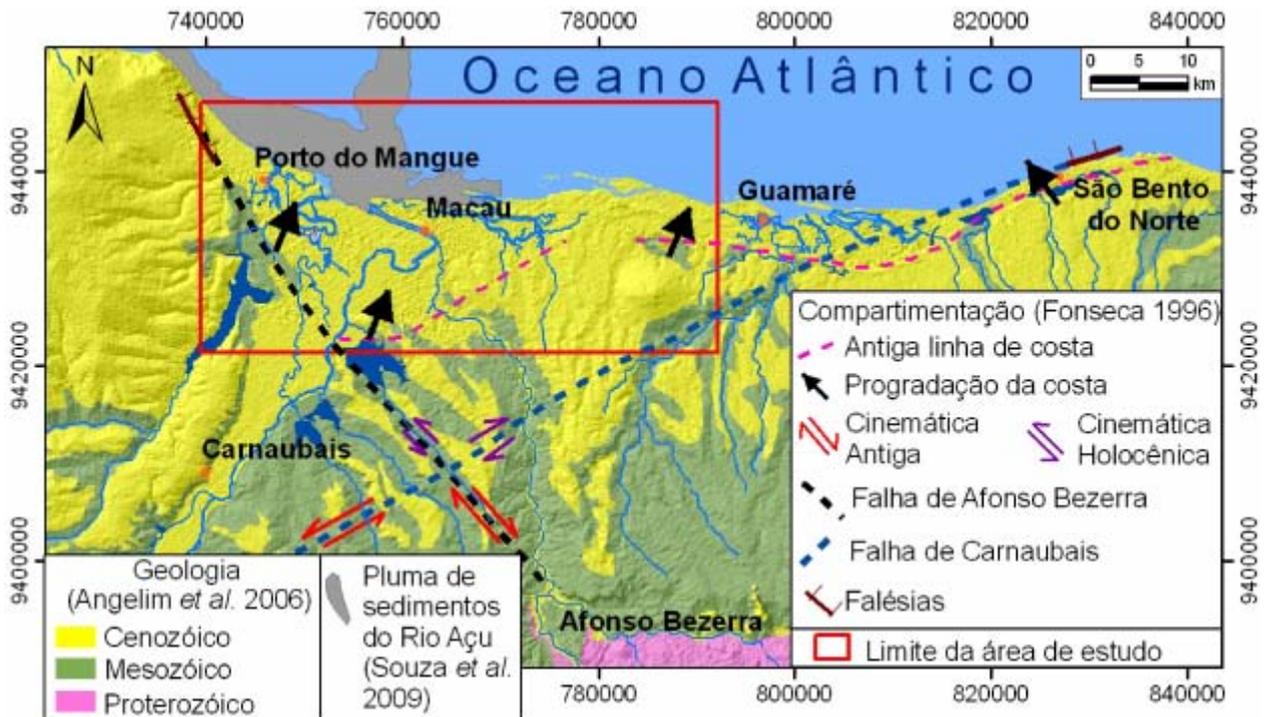


Figura 3 – Posicionamento dos sistemas regionais de falhas de Afonso Bezerra e Carnaubais, cuja reativação holocênica de cinemática oposta à antiga controlou a morfologia do litoral setentrional do Rio Grande do Norte, NE-Brasil.

Figure 3 – Afonso Bezerra and Carnaubais Regional Fault Systems, which Holocene reactivation controlled the coastal morphology of northern Rio Grande do Norte state, NE-Brazil.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

As imagens orbitais óticas utilizadas foram obtidas pelos satélites Landsat 7 ETM+ (11/06/2002), CBERS-2/CCD (19/04/2004) e CBERS-2B/CCD (23/08/2008) e disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). As bandas espectrais foram unificadas em um arquivo multicamadas, que em seguida foi submetido ao georreferenciamento utilizando pontos de controle coletados em campo com DGPS Topcon L₁/L₂, na projeção UTM Zona 24S e datum SAD-1969. A estatística das imagens Landsat 7 ETM+ e CBERS-2B/CCD foi calculada com o objetivo de permitir a análise dos parâmetros estatísticos, correlação entre bandas e a aplicação das técnicas de processamento que levam em consideração estes parâmetros.

O número C de possibilidades de combinações entre as bandas no sistema RGB foi calculado

utilizando a Fórmula 1 (Noyola-Medrano *et al.* 2005). Para a imagem Landsat, C = 20 possibilidades de combinações, sendo que para cada uma é possível fazer seis trocas de banda entre os canais vermelho, verde e azul, por exemplo, 123, 132, 213, 231, 312 e 321. Já para a imagem CBERS o valor de C = 4. A análise estatística dos dados espectrais permite selecionar quais composições apresentariam melhor resultado, através do cálculo do Fator de Índice Ótimo – FIO (Fórmula 2), que considera o desvio padrão de cada banda e os coeficientes de correlação entre elas. Quanto maior o valor de FIO, maior serão as variações de cor, gerando composições mais informativas (Chavez *et al.*, 1982).

As combinações RGB 541, 531 e 751 obtiveram maiores valores de FIO para a imagem Landsat 7 ETM+, optou-se por utilizar também a combinação RGB entre as razões de bandas 7/3 5/3 4/3 (Souto *et al.* 2006). No caso da imagem CBERS-2B/CCD os três maiores valores de FIO foram os das composições

RGB 431, 421 e 432, porém a aplicação da Análise por Principal Componente (APC) obteve melhores resultados na diferenciação de unidades de paisagem. A APC separa ao máximo o contraste das n bandas e através de transformação matemática gera n novas imagens. A maior variabilidade dos dados está na primeira PC e vai diminuindo nas PCs seguintes. Assim como as bandas originais, as PCs foram combinadas no sistema de cores RGB e as combinações geradas foram submetidas à aplicação de realce de contraste por equalização do histograma.

$$C = \frac{m(m-1)(m-2)\dots(m-n+1)}{n!} \quad (1)$$

$$FIO = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{|r_{(1,2)}| + |r_{(1,3)}| + |r_{(2,3)}|} \quad (2)$$

Os dados SRTM são produto da aquisição de dados topográficos para 80% da superfície terrestre, realizada pelas agências espaciais americana (NASA), italiana (ASI) e alemã (DLR) nos primeiros onze dias do mês de fevereiro do ano 2000. Os dados aqui utilizados têm 90m de resolução, foram adquiridos via *ftp* pelo endereço eletrônico *ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov* e convertidos para a projeção UTM Zona 24S, *Datum* SAD-1969. A partir dos dados SRTM foram extraídas informações de altimetria, declividade, aspecto e sombreamento (por filtragem direcional), além da integração com imagens RGB gerando produtos híbridos 2D e 3D. A imagem RADARSAT foi primeiramente submetida a uma correção geométrica do seu posicionamento espacial, em seguida foi efetuado o reescalonamento de 16 bits (nível digital de 0 a 65535) para 8 bits (0 a 255), georreferenciamento com base nos pontos de controle obtidos com DGPS Topcon L₁/L₂, e aplicação do filtro *Enhanced Frost* 3X3 para reduzir o ruído *speckle* (textura granular).

A integração de dados ópticos e de radar é uma metodologia que vem sendo utilizada em estudos de geociências, com o objetivo de associar as informações espectrais das imagens óticas com informações espaciais das imagens de radar (Boulhosa & Souza-Filho 2009). A metodologia de integração aplicada

neste trabalho consiste no desenvolvimento de composições RGBI, onde os canais vermelho, verde e azul contem bandas espectrais e no canal Intensity é adicionada a imagem Radarsat ou os sombreamentos SRTM. Os filtros sobel 5X5 e laplaciano 5X5 foram aplicados sobre a PC1 da imagem CBERS-2/CCD de 02/10/2007, destacando feições lineares no terreno devido à simulação da iluminação solar em quatro sentidos (N-S, NE, E-W, NW). A Tabela 1 relaciona sucintamente as informações das imagens utilizadas e o tipo de processamento nelas aplicado.

6. RESULTADOS

6.1 Geologia

A caracterização geológica da área de estudo teve como base as informações obtidas em Souto *et al.* (2006), Angelim *et al.* (2006) e Bezerra *et al.* (2006), juntamente com a interpretação de imagens híbridas (RGB+SRTM) e (RGB+Radarsat), além de informações disponíveis via *web* no GEOBANK do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e levantamentos de campo realizados nos meses de fevereiro, março, maio e junho de 2007 e março de 2008. As unidades estratigráficas presentes na área de estudo (Figura 6) variam de idade cretácea a holocênica, em uma coluna que da base para o topo é composta pela Formação Jandaíra (carbonatos fossilíferos), Formação Tibau (arenitos calcíferos finos a conglomeráticos), Formação Macau (basaltos e gabros), Formação Barreiras (conglomerados e arenitos grossos, com intercalações de siltitos) e Depósitos Quaternários. Os Depósitos Quaternários consistem em Depósitos Aluvionares Antigos (conglomerados e arenitos grossos, relacionados à antigos terraços fluviais), Depósitos Aluvionares Recentes (areias quartzosas de canal e sedimentos finos em planícies de inundação), Depósitos Flúvio-Lacustrinos (sedimentos finos relacionados com transbordamento), Depósitos Flúvio-Marinhos (sedimentos finos ricos em carbonato e matéria orgânica, sob influência de marés), Depósitos de Mangue (silte, argila e matéria orgânica), Depósitos Eólicos Vegetados (areias quartzosas avermelhadas, com matéria orgânica), Depósitos Eólicos Não-vegetados (areias quartzosas bem selecionadas com grãos arredondados) e Depósitos Litorâneos de Praia

(areia fina a grossa com bioclastos e minerais pesados).

Nas rochas carbonáticas da Formação Jandaíra ocorrem evidências de deformação frágil como falhas e juntas extensionais de atitude $330^{\circ}\text{Az}/85\text{NE}$ e processos de silicificação resultante da reativação da Falha de Afonso Bezerra similar a outros setores da bacia (Damascena *et al.*, 2008; Nogueira *et al.* 2008). Na porção central da área ocorrem falha $105^{\circ}\text{Az}/58\text{SW}$, juntas extensionais $78^{\circ}\text{Az}/55\text{NW}$, $35^{\circ}\text{Az}/84\text{SE}$ e $0^{\circ}\text{Az}/79\text{W}$ em arenito lítico da Formação Tibau (Bezerra *et al.* 2006).

6.2 Unidades geomorfológicas

Com base na interpretação dos produtos gerados a partir dos dados SRTM e produtos híbridos (Landsat+SRTM, CBERS+SRTM, Landsat+Radarsat e CBERS+Radarsat), juntamente com as informações disponíveis na literatura (Souto *et al.*, 2006, Souza *et al.*, 2009, Pereira *et al.*, 2009) foi possível o mapeamento das unidades geomorfológicas, representado na Figura 5, que consistem em tabuleiros costeiros, planície flúvio-marinha, planície flúvio-marinha vegetada, dunas fixas, dunas móveis e zona de praia.

Tabela 1 – Resumo das técnicas de processamento digital realizadas sobre as imagens de sensoriamento remoto.
Table 1 – Summary of digital remote sensing image processing.

Satélite/ Sensor	Ponto/ Órbita	Data	Tipo de Processamento Aplicado
Landsat 7 ETM+	215/064	11/06/2002	Georreferenciamento. Correção atmosférica. Composição RGB entre bandas e razões de bandas. Realce de contraste por equalização do histograma. Integração com dados SRTM e Radarsat.
CBERS 2/CCD	148/106	19/04/2004 02/10/2007	Georreferenciamento. Integração com dados SRTM gerando modelos 3D (2004). Filtragem direcional da PC1 (2007).
CBERS 2B/CCD	148/106	23/08/2008	Georreferenciamento. Composições RGB entre as bandas e PCs. Realce de contraste por equalização do histograma. Integração com dados SRTM e Radarsat.
SRTM	Não se aplica	Fev/2000	Georreferenciamento. Extração de elevação, declividade, aspecto e sombreamento. Integração com composições RGB Landsat e CBERS gerando produtos 2D e 3D.
Radarsat	Não se aplica	29/06/2006	Georreferenciamento. Re-escalamento espectral. Redução de ruído. Integração com composições RGB.

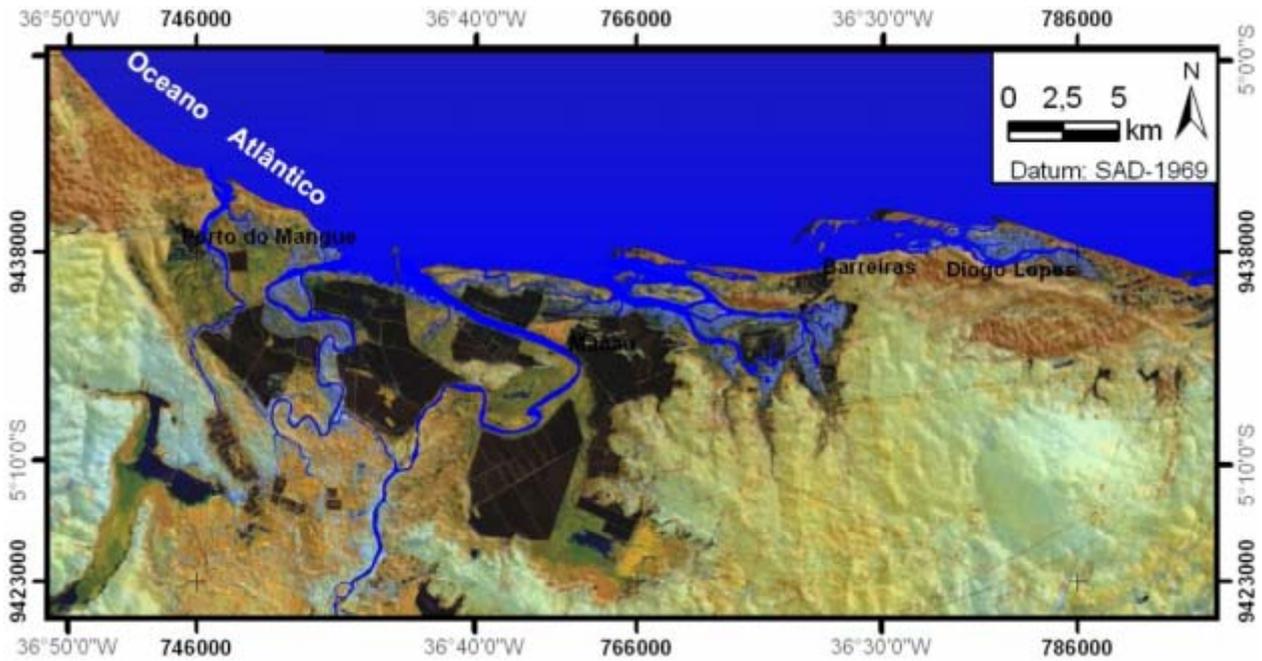


Figura 4 – Imagem colorida integrando a composição RGB entre as razões de banda 7/3 - 5/3 - 4/3 (Landsat 7) e sombreamento SRTM.

Figure 4 – Color image integrating RGB composition between band's ratios 7/3 - 5/3 - 4/3 (Landsat 7) and SRTM shading.

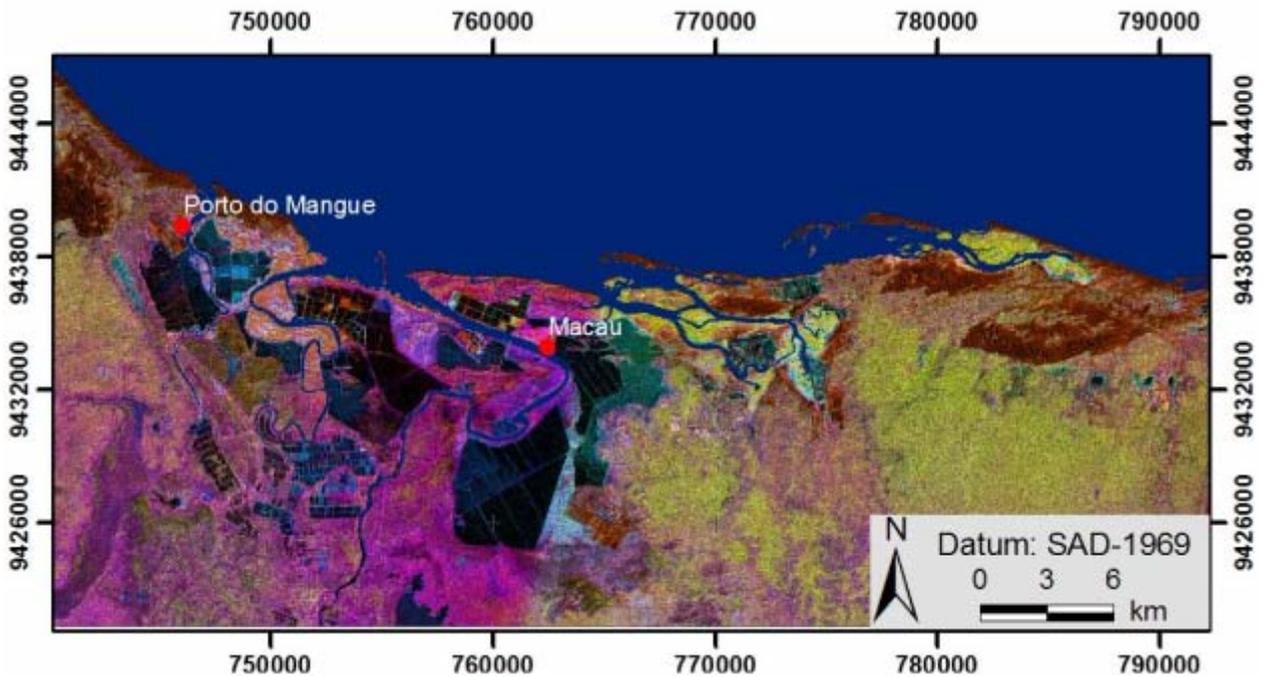


Figura 5 – Imagem colorida integrando a composição RGB PC1 PC4 e PC3 (CBERS-2B) com imagem Radarsat.

Figure 5 - Color image integrating RGB PC1 PC4 PC3 (CBERS-2B, 2008) and Radarsat images.

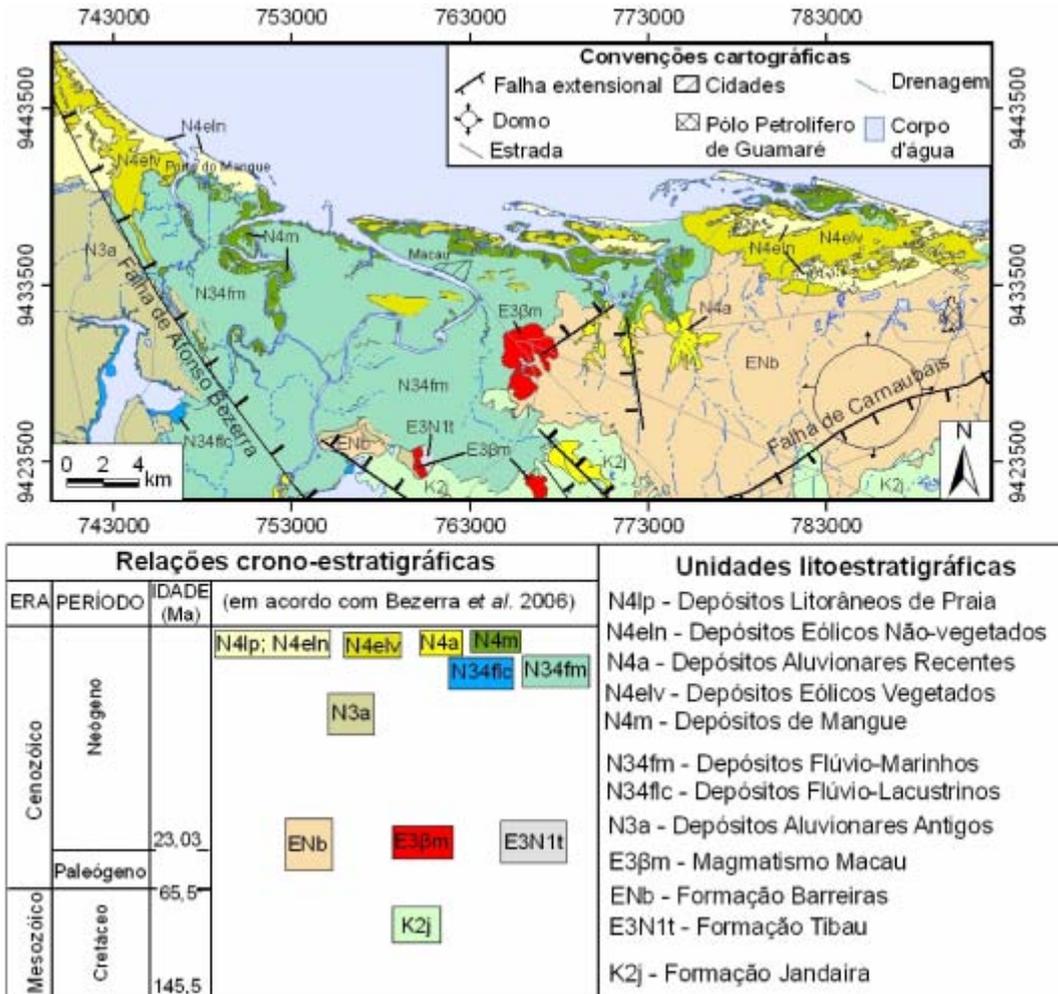


Figura 6 – Mapa geológico da área de estudo.

Figure 6 – Geology of study area.

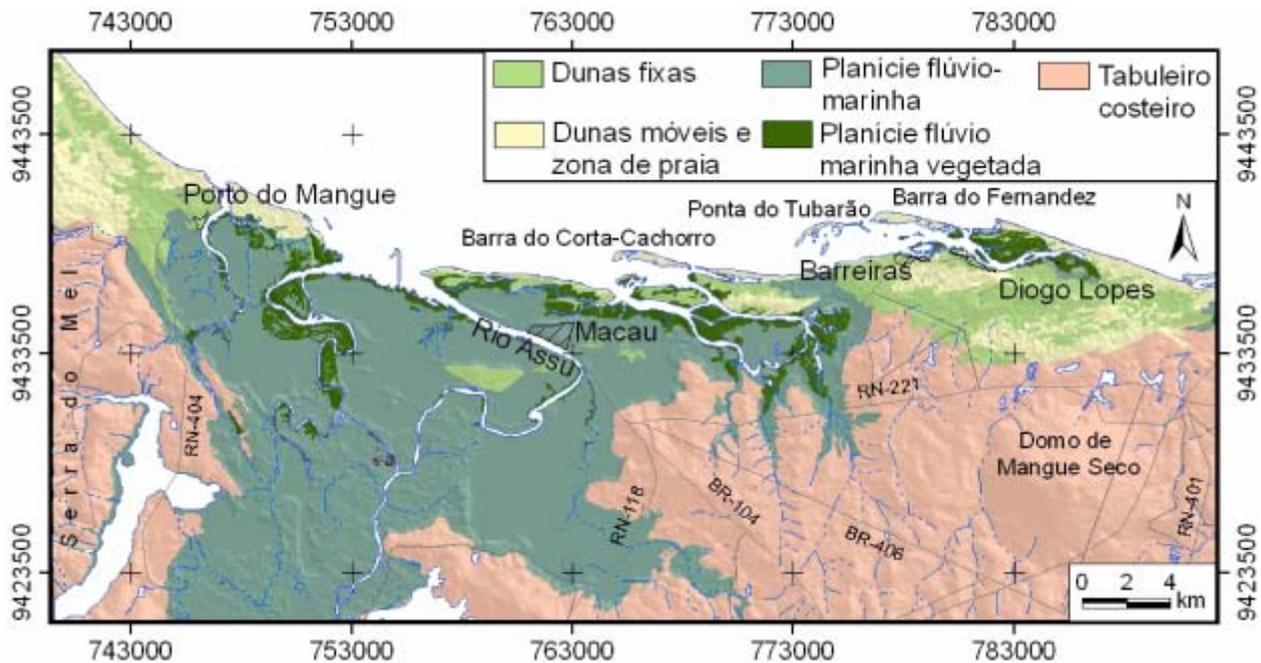


Figura 7 – Mapa geomorfológico da área de estudo.

Figure 7 – Geomorphology of study area.

6.3 Lineamentos

Apesar dos processos hidrodinâmicos (ondas, marés, correntes, ventos, pluviosidade, escoamento superficial e ação antrópica) serem mais eficientes nas modificações da paisagem costeira em curto espaço de tempo, existe evidências de estruturas deformacionais, até mesmo em registros holocênicos, que justificam a aplicação de análise morfotectônica em estudos de evolução costeira (Fonseca 2006). Desde os abalos sísmicos de 1986 na região de João Câmara/RN se intensificaram os estudos em neotectônica na Bacia Potiguar, comprovando que o tectonismo está atuante até o recente na região (Fonseca, 1996; Caldas *et al.*, 1997; Bezerra, 2000; Amaral *et al.*, 2000; Coriolano *et al.*, 2000; Bezerra *et al.*, 2001; Dantas *et al.*, 2004; Moura-Lima *et al.*, 2005; Aquino *et al.*, 2006; Nogueira *et al.*, 2008).

Os lineamentos topográficos negativos foram extraídos a partir dos dados SRTM e da imagem CBERS-2/CCD, além do auxílio de imagens híbridas e modelos 3D, aplicando técnicas de filtragem direcional e realce de bordas. A classificação em função da orientação (N-S, NE, E-W, NW) e o traçado

dos lineamentos foram realizados em ambiente SIG com vetorização no aplicativo ArcGIS 9.3. Informações de localização geográfica (ponto central), direção azimutal e comprimento foram extraídas automaticamente. As orientações dos lineamentos foram integradas em diagramas de rosetas no Stereonet v. 2.46 e histogramas (comprimento *versus* azimute), obtendo informações diretamente nas tabelas de atributos dos arquivos SHP, otimizando a análise do comportamento e distribuição espacial dos lineamentos.

A interpretação dos dados SRTM mostra orientações gerais médias 310° Az, 45° Az, 179° Az e 92° Az. Os maiores valores de comprimento medidos para cada direção foram 27,7 km (NW) na porção oeste da área, 17 km (NE) na região de Diogo Lopes, 13,2 km (N-S) nas proximidades da Lagoa de Alagamar, e 5,7 km (EW) na linha de costa nas proximidades de Macau e da Foz do Rio Piranhas-Assu (Figura 8). Apesar de o número de lineamentos NE ter sido 59 e os NW serem 38, o comprimento dos lineamentos NW é em geral maior, fazendo com que ao observar o mapa se tenha a impressão de que foram mapeados mais lineamentos NW do que NE.

No diagrama de rosetas cada pétala representa um intervalo de 10° Az, as pétalas NW são mais expressivas devido ao fato de que a orientação dos lineamentos foi mais homogênea, ou seja, diferentes lineamentos NW têm o mesmo valor de direção ou valores próximos, o que resulta em pétalas maiores.

A análise do histograma que relaciona os azimutes com os comprimentos permite uma classificação dos lineamentos em três grupos: o primeiro com 88 lineamentos de comprimentos menores que 5 km, outro com 26 lineamentos entre 5 e 10 km e o último com 7 lineamentos maiores que 10 km. Neste último grupo três lineamentos têm mais de 15 km, sendo um de direção NE na região de Diogo Lopes, um com direção NW na porção leste da área e o outro com direção NW e aproximadamente 28 km separando os tabuleiros costeiros da planície flúvio-marinha na porção oeste da área, correspondendo a Falha de Afonso Bezerra.

Os lineamentos mapeados com a imagem CBERS têm orientações gerais médias de 316° Az, 45° Az, 175° Az e 89° Az. Os maiores valores de comprimento medidos para cada direção foram 17,3 km (NE) na porção centro leste da área, 13,3 km (NW) na porção oeste da área, 4,5 km (NS) nas proximidades da Lagoa de Alagamar, e 4,7 km (EW) nas proximidades de Macau e da Foz do Rio Piranhas-Assu. A identificação da continuidade de alguns lineamentos é dificultada pela presença de salinas e campos de dunas móveis, o que explica uma diferença relativa entre os comprimentos dos lineamentos em comparação com aqueles obtidos com a filtragem dos dados SRTM. Porém, os dados CBERS-2/CCD oferecem uma melhor apresentação de feições lineares naturais na zona costeira que não é bem representada nos dados SRTM, devido a sua baixa resolução espacial. As imagens filtradas CBERS-2/CCD revelaram alguns lineamentos NE na porção leste da área que não podiam ser observados com os dados SRTM e por outro lado alguns lineamentos NW não aparecem com tanta expressividade devido à natureza espectral da imagem. A análise do histograma mostra que 152 lineamentos têm comprimentos entre 0,34 e 5 km, outro grupo de 15 lineamentos varia entre 5 e 10 km e por fim um grupo de 3 lineamentos com comprimento entre 10 e 17,3 km.

6.4 Rede de drenagem

Informações pré-existentes, composições RGB da imagem CBERS-2B de 23/08/2008 e a filtragem direcional dos dados SRTM garantiram o mapeamento das drenagens presentes atualmente na área. Os canais fluviais e as bordas das lagoas apresentam freqüentemente orientações lineares paralelas aos sistemas regionais de falhas. O Rio Piranhas-Assu tem orientação principal NE (entre 30° e 60°) subparalela aos diversos lineamentos mapeados por toda a área, inclusive nas regiões litorâneas da Barra do Corta Cachorro, ilha barreira da Ponta do Tubarão e foz do Rio dos Cavalos. O segmento estuarino do Rio Piranhas-Assu nas proximidades da cidade de Macau tem orientação NW (300° Az), subparalela aos segmentos mais alongados de alguns *spits* costeiros distribuídos pela linha de costa, além de outros canais de drenagem (como os rios Olho d'água e Amargoso) e de outros segmentos lineares do próprio Rio Assu.

6.5 Altimetria, declividade e aspecto

A altimetria foi extraída dos dados SRTM como linhas de contorno e na forma de um modelo digital de elevação 2D. Os valores em metros (m) apresentados neste trabalho representam a topografia com relação ao nível médio do mar, portanto a informação de que um campo de dunas tem cotas de 4 m, significa que a porção mais alta está posicionada 4 m acima do nível do mar e não que a espessura do depósito sedimentar é de 4 m. Os tabuleiros costeiros ocorrem em intervalos altimétricos de 7 a 119 m, sendo os valores mais altos correspondentes a Serra do Mel (porção oeste da área) e ao Domo de Mangue Seco (Porção leste da área). As dunas localizadas em ilhas barreiras ou *spits* arenosos e faixa litorânea têm cotas de até 4 m, porém na porção leste da área nas proximidades das localidades de Barreiras e Diogo Lopes as cotas têm valores entre 15 e 25 m. Já na porção oeste da área, as dunas móveis depositadas sobre a Serra do Mel chegam até 50 m de elevação, enquanto que o mesmo tipo de depósito nas proximidades da faixa litorânea da mesma área tem cerca de 5 m de altitude. A planície flúvio-marinha tem cotas entre 2 e 6 m e foi subdividida em função da presença ou ausência de cobertura vegetal, as áreas onde ocorre a presença da vegetação de manguezal foram denominadas de planície flúvio-marinha vegetada.

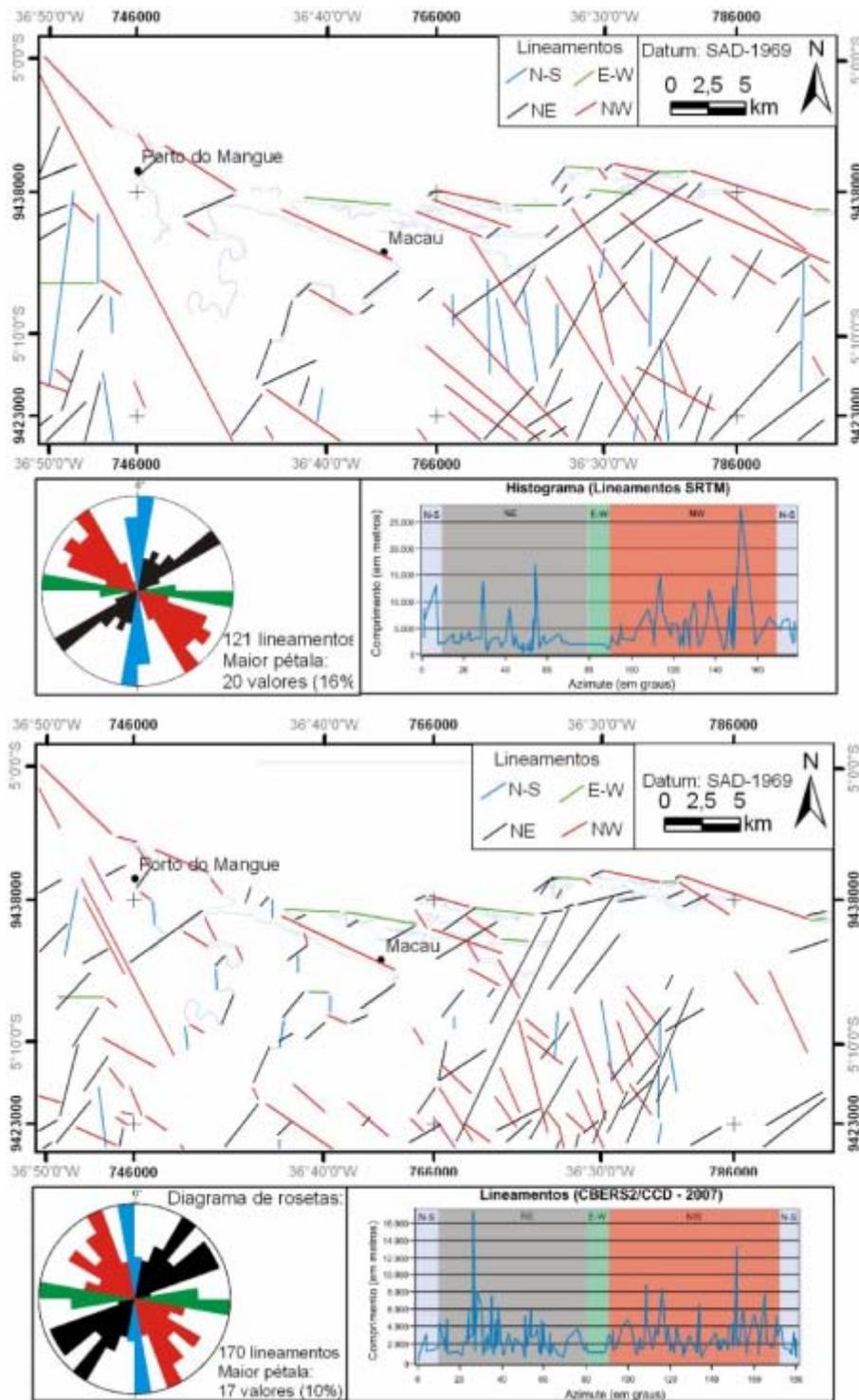


Figura 8 – Lineamentos mapeados a partir de dados SRTM e CBERS-2 representados em mapa, diagrama de rosetas e histograma (comprimento versus azimute).
 Figure 8 – Lineaments mapped from SRTM and CBERS-2 data, represented in map, rose diagram and histogram (length versus azimuth).

O perfil topográfico A-A', de orientação E-W, localizado na parte sul da área (Fig. 9), representa o vale do Rio Piranhas-Assu encaixado na região de tabuleiros costeiros. Esta variação topográfica de 25 e até 50 m é consequência da natureza das unidades geológicas que compõem a planície flúvio-marinha do vale do Assu e das unidades que compõem a superfície de tabuleiros, bem como devido à atuação de elementos tectônicos na própria estruturação da Bacia Potiguar e reativação neotectônica de estruturas geológicas. Uma variação pode ser observada nos tabuleiros, na porção leste do perfil, próximo a região do Domo de Mangue Seco, onde as cotas altimétricas atingem valor de 50 m, formando vales que coincidem com canais de drenagem, evidenciando a influência do escoamento superficial no modelamento da paisagem.

Os valores de declividade em graus foram classificados em cinco intervalos variando de muito baixa a muito alta. As áreas com declividade muito alta foram identificadas nas regiões de borda do vale do Rio Piranhas-Assu, sobretudo com direções gerais N, NW, NE e EW, realçando contatos já observados no modelo digital de elevação entre o tabuleiro costeiro e a planície flúvio-marinha. Zonas lineares contínuas de declividade muito alta são também observadas sob campos de dunas móveis, mais uma vez coincidindo com diferenças notadas no modelo digital de elevação. No Domo de Mangue Seco a declividade também varia de alta a muito alta.

A classificação em graus azimute (0 a 360°) permite identificar os oito sentidos de mergulho para N, NE, E, SE, S, SW, W e NW, realçando altos e baixos topográficos, permitindo assim constatar a presença de serras, vales de drenagens, escarpas e encostas. Esta informação apresentada em mapa facilita o planejamento de levantamentos de campo e instalação de novas áreas de ocupação, uma vez que é possível estimar quais porções da superfície são mais ou menos adequadas ao acesso por parte antrópica. O sentido de fluxo do escoamento superficial de água ou outros fluídos, como no caso de derramamento acidental de poluentes ou petróleo, pode ser identificado. Em casos de acidentes ambientais, esta informação é importante, uma vez que permite prever o comportamento do fluído poluente, colaborando assim com a eficiência das medidas mitigadoras.

6.6 Modelagem 3D

A integração em três dimensões dos dados de altimetria (SRTM) com combinações coloridas entre as bandas de imagens óticas permite a geração de modelos que facilitam a identificação das feições morfológicas, uma vez que apresentam as variações topográficas associadas com as informações espectrais. A Figura 12a integra a composição RGB entre as razões de banda 7/3-5/3-4/3 da imagem Landsat 7 ETM+ de 11/06/2002 com os dados SRTM, destacando a atuação de lineamentos de direção geral NE, EW e NW na morfologia da paisagem costeira cenozóica. O vale do Rio Piranhas-Assu aparece encaixado em lineamentos NNE, que controlam a planície flúvio-marinha, com o considerável rebaixamento do trecho extremo norte da região. O sistema de drenagens acompanha as principais direções de lineamentos, em sua maioria no sentido do vale do Rio Piranhas-Assu. A relação entre a geometria do litoral e a Falha de Carnaubais na região de Caiçara do Norte e São Bento do Norte, argumentada por Caldas *et al.* (1997) fica bastante evidente neste modelo, assim como o alinhamento da Falha de Afonso Bezerra entre Porto do Mangue e Carnaubais.

Na Figura 12b está representada em três dimensões a paisagem costeira na região à oeste do Rio Piranhas-Assu, no município de Porto do Mangue, integrando os dados SRTM com composição RGB PC1 PC4 PC3 da imagem CBERS2B/CCD de 23/08/2008. São observados os campos de dunas móveis em cor laranja, a Serra do Mel em tons amarrozados a verde escuro a ocupação da área estuarina por salinas e tanques de carcinicultura, além do Rio das Conchas e Rio dos Cavalos. Neste modelo as variações altimétricas entre a Serra do Mel e a planície flúvio-marinha ficam bastante evidentes, com uma feição linear de relevo negativo de orientação NW, paralela à orientação do Sistema de Falhas de Afonso Bezerra. As bordas da Lagoa de Alagamar têm orientação NE, subparalela ao Sistema de Falhas de Carnaubais, enquanto que na Lagoa do Queimado as bordas são controladas pelo sistema de falhas de Afonso Bezerra. Os canais flúvio-estuarinos do Rio dos Cavalos e Rio das Conchas têm trechos com orientação NE e outros com orientação NW, sugerindo também um possível controle da atuação tectônica.

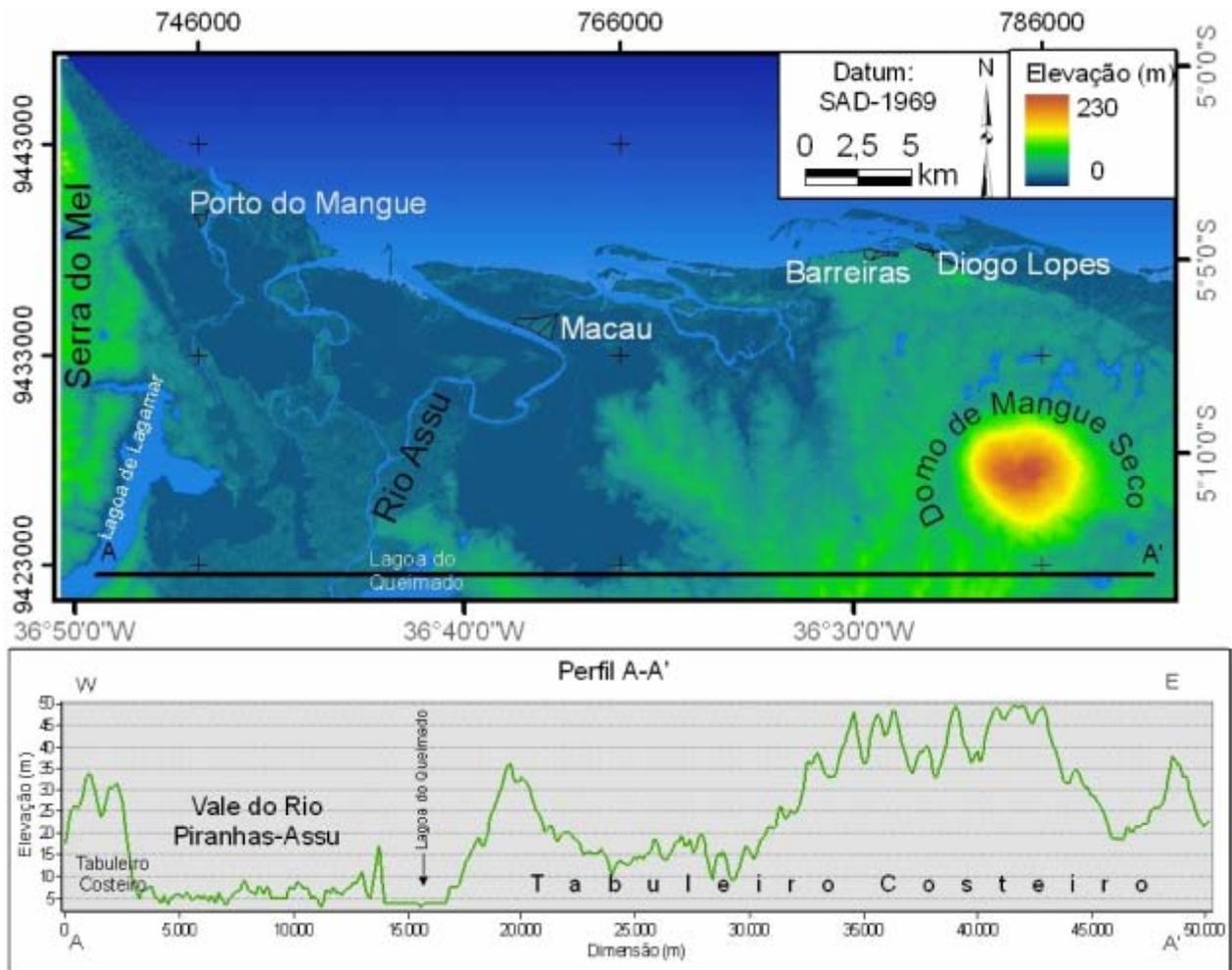


Figura 9 – Elevação da área estudada, destacando feições topográficas como o vale do Rio Assu, o Domo de Mangue Seco e a Serra do Mel.

Figure 9 – Elevation of study area, showing Assu Assu River's fluvial valley and higher surfaces like Mangue Seco Dome and Serra do Mel regions.

A porção da Serra do Mel mais próxima do litoral está representada na Figura 12c pelo modelo híbrido que integra os dados SRTM com composição RGB 321 da imagem CBERS2/CCD de 19/07/2004. Os extensos campos de dunas móveis (tons esbranquiçados) podem ser observados em cotas topográficas mais baixas nas proximidades da faixa litorânea e recobrimdo superfícies mais elevadas na Serra do Mel. As feições poligonais maiores na Figura 12c representam as atividades de agricultura e as menores correspondem às áreas de exploração petrolífera, ambas as formas de atividade antrópica

aparecem com cor bege e estão instaladas em área com vegetação de caatinga (em tons marrons).

O Domo de Mangue Seco, feição presente na porção leste da área com cotas entre 20 e 119 m, está representado na Figura 12d, coberto por vegetação de caatinga em tons amarronzados. Canais de drenagem superficial escoam das áreas mais elevadas desta feição, alimentando lagoas situadas na sua base. Sobre ele encontra-se o Campo de Guimarães, um dos importantes campos de exploração petrolífera na área.

A Figura 12e destaca a região leste da foz do Rio Piranhas-Assu, onde *spits* arenosos e ilhas barreiras

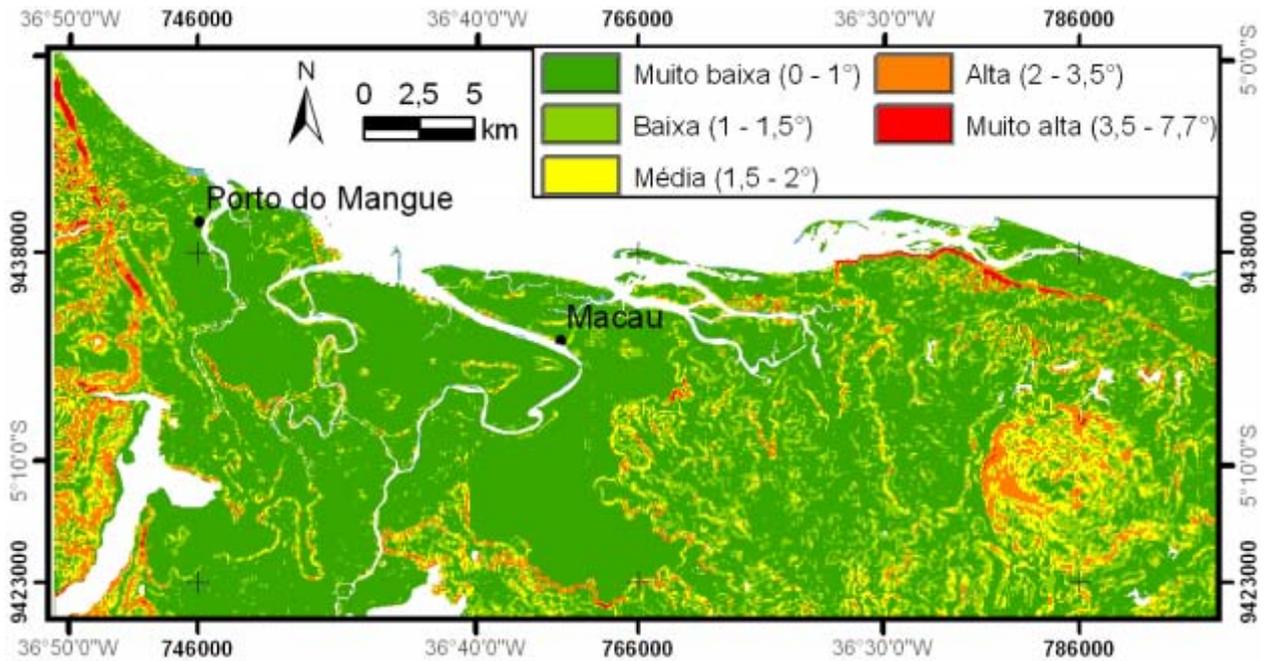


Figura 10 – Declividade alta em encostas de vales fluviais e altos topográficos.
 Figure 10 – Higher slope degrees on fluvial valleys limits and topographic highs

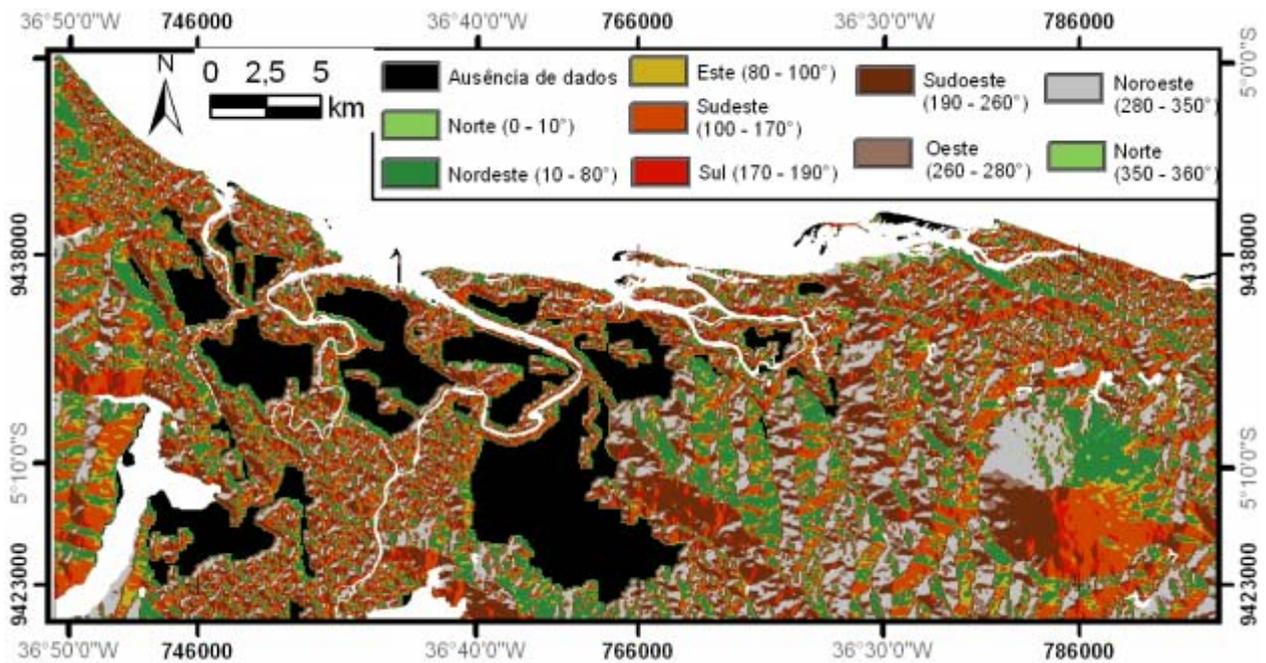


Figura 11 – Mapa de aspecto com oito sentidos de mergulho de feições morfológicas, indicando o comportamento do escoamento superficial e auxiliando na identificação de altos e baixos topográficos.
 Figure 11 – Aspect map with eight dip directions for morphological features, indicating the behavior of surface flow and aiding the identification of topographic high and low areas.

presentes na zona costeira mostram orientações W-NW em seus segmentos mais alongados e NE nos mais curtos, evidenciando mais uma vez a influência das estruturas tectônicas regionais na geometria das feições morfológicas quaternárias. A semelhança geométrica é também observada no canal estuarino do Rio Piranhas-Assu, rios Conceição e Casqueiras, na área lagunar de Diogo Lopes e no alto topográfico observado sobre campos de dunas móveis e fixas.

7. DISCUSSÕES

7.1 Lineamentos e morfologia do terreno

Apesar das freqüentes mudanças na morfologia costeira, os lineamentos mapeados estão sempre presentes, como por exemplo, no caso da Ponta do Tubarão, que ao contrário de outros corpos arenosos presentes na área que migram em direção ao W ou NW, apresenta sempre comportamento típico de uma feição que apresenta controle tectônico, com uma inflexão para SW que pode variar em grau azimute dependendo do ano. Na imagem CBERS-2/CCD de 2007 a Ponta do Tubarão inflexiona para 213° Az, uma direção subparalela a lineamentos mapeados na porção mais continental da área, incluindo segmentos do Rio Piranhas-Assu, limite entre os tabuleiros e a planície flúvio-marinha e outros trechos da linha de costa, o que indica uma possível continuidade de lineamentos continentais em direção ao litoral. Segundo Fonseca (2006), a permanência de uma feição linear frente ao rejuvenescimento do relevo com a atuação contínua dos agentes costeiros externos é um indicativo do controle da costa por macroestruturas endógenas.

A influência de processos sub-superficiais na morfologia do terreno pôde mais uma vez ser constatada, visto que a orientação azimutal da maioria dos lineamentos mapeados, tanto a partir de dados óticos quanto de radar, é semelhante à orientação de sistemas regionais de falhas antigas reativadas no Holoceno, Afonso Bezerra (NW) e Carnaubais (NE).

Esta semelhança pode ser observada em canais fluviais e estuarinos de orientação linear prolongada, falésias, vales e altos topográficos e até mesmo em segmentos da linha de costa. A presença de lineamentos de orientação NW nas bordas da Lagoa do Queimado, corrobora com a idéia de que as rochas

silificadas que ali ocorrem estão relacionadas à reativação do Sistema de Falhas de Afonso Bezerra.

Devido às características peculiares da área de estudo como baixo relevo e intensa ocupação antrópica é extremamente relevante o uso combinado de imagens óticas e de radar para o mapeamento dos lineamentos e da rede de drenagens. O fato de a imagem CBERS-2/CCD ter resolução de 20 m favorece o mapeamento de lineamentos nas porções da área com menor variação de relevo e baixas cotas altimétricas que não são bem observadas nos dados SRTM, porém estes dados oferecem a vantagem de não representar as feições lineares antrópicas da superfície como estradas, cercas, canais artificiais, barragens, áreas de cultivo e industriais. Sendo assim, alguns lineamentos são mascarados nos dados SRTM pela sua baixa resolução espacial e pela relação entre o imageamento de radar e a própria natureza das áreas litorâneas, enquanto que na imagem CBERS-2/CCD outros lineamentos são mascarados pelas instalações antrópicas. Nota-se que além da diminuição no tamanho geral dos lineamentos há uma inversão com relação ao lineamento mais extenso; dentre aqueles mapeados a partir dos dados SRTM o maior tem orientação NW e comprimento de 27,7 km enquanto que dentre os mapeados com dados CBERS-2/CCD o maior tem orientação NE e comprimento de 17,3 km.

7.2 Caracterização geomorfológica

Durante as várias etapas de trabalho foi possível confirmar a forte relação entre as unidades litoestratigráficas, a erosão e o comportamento do relevo. Os principais agentes erosivos modificadores da paisagem atuando nos tabuleiros costeiros e planície flúvio-marinha são o escoamento superficial, a desagregação mecânica e o intemperismo químico, enquanto que na zona litorânea ocorre ação intensa de ventos, ondas, correntes e variações de maré.

Os tabuleiros costeiros têm relevo plano a levemente ondulado formando uma geometria tabular com cotas altimétricas que variam de até 119 m na área do Domo de Mangue Seco. Esta unidade é composta por carbonatos da Formação Jandaíra, basaltos e lateritas da Formação Macau, arenitos e conglomerados da Formação Barreiras, conglomerados e arenitos dos Depósitos Aluvionares

Antigos e os sedimentos arenosos recentes situados às margens de canais de drenagem. A rede de drenagem superficial tem uma densidade fraca e influencia na disposição do relevo, uma vez que ocorrem vales encaixados com paredes íngremes ao longo dos canais fluviais, gerando ondulação no relevo. Nas áreas onde a Formação Jandaíra aflora o relevo é cárstico com ausência de rede de drenagem organizada e erosão superficial e com presença de feições de relevo geradas por dissolução. Segundo Xavier-Neto *et al.* (2008), a carstificação na Formação Jandaíra tem um controle estrutural, estando assim relacionada com a atuação de tensores tectônicos após sua deposição, ao final do Campaniano.

As rochas presentes na área oferecem maior resistência à erosão por escoamento superficial do que os sedimentos inconsolidados, uma vez que possuem cimento entre seus grãos, o que aumenta o

seu grau de coesão. As rochas com cimento carbonático são mais facilmente afetadas do que os arenitos que têm cimento silicoso e quanto maior a homogeneidade da rocha maior é sua resistência, uma vez que não possui elementos com solubilidade diferente. Outro fator que diminui a ação do escoamento superficial é a alta permeabilidade dos arenitos, calcários e basaltos presentes na superfície de tabuleiros costeiros. Os calcários são coerentes, pouco plásticos, homogêneos, e distinguem-se pela sua permeabilidade devido a presença de fissuramento e sua alta solubilidade, resistindo a erosão superficial, mas estando sujeitos à decomposição química. Os planos de descontinuidades, sejam sedimentares ou tectônicos, facilitam a desagregação mecânica, uma vez que permitem a percolação de fluidos que influenciam também na decomposição química.

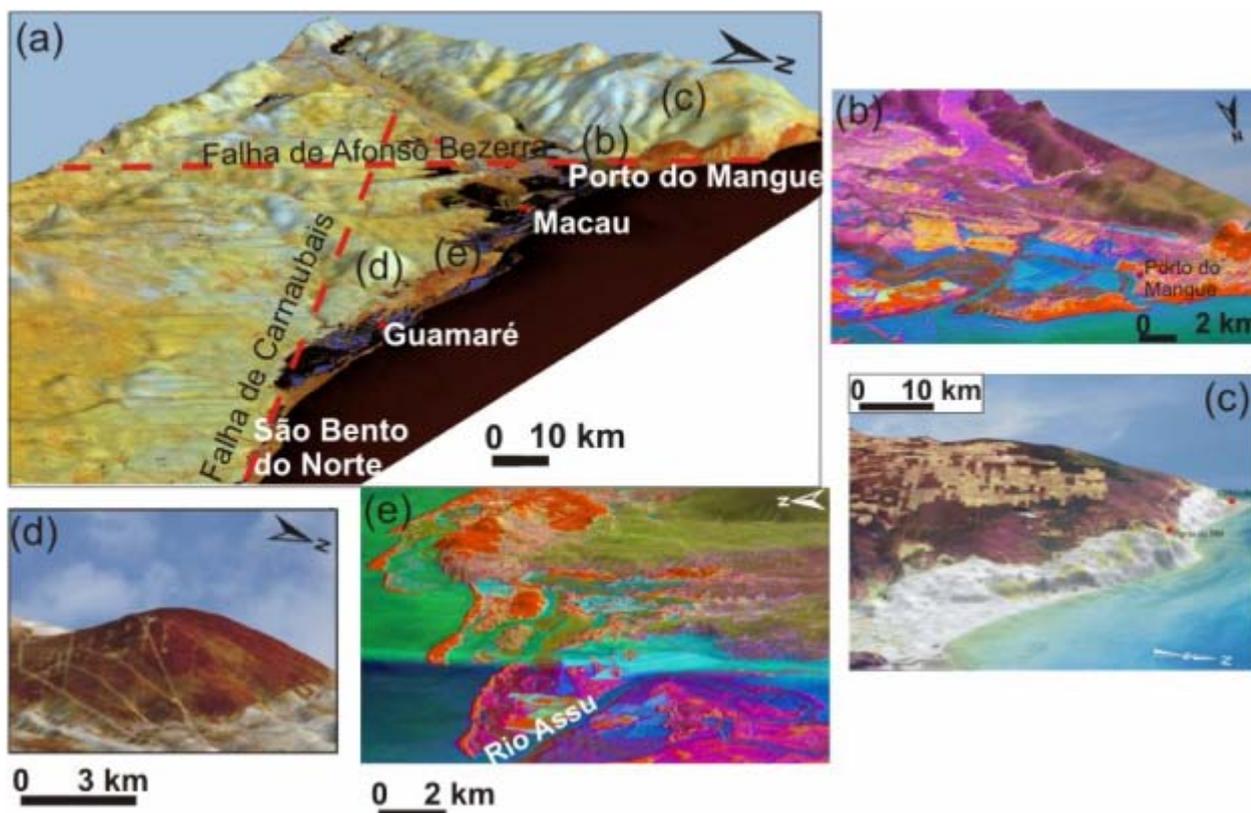


Figura 12 – Morfologia da superfície em modelos digitais 3D integrando SRTM e imagens multiespectrais.

Figure 12 – Surface morphology on 3D elevation models joining SRTM and multispectral data.

A planície flúvio-marinha corresponde às áreas inundáveis que recebem o volume de água acrescido durante momentos de transbordamento, seja por influência pluviométrica (Depósitos Aluvionares Recentes) ou por variação de maré (Depósitos Flúvio-Marinhos e de Manguê), e nela ficam depositados os sedimentos de granulação silte e argila. Após o transbordamento, não há energia suficiente para levar de volta os sedimentos de granulação grossa, antes transportados com a alta energia durante a enchente, gerando assim os depósitos de areias nas bordas dos canais, denominados de Depósitos Aluvionares Recentes de Canal. Esta unidade ocorre nas margens de canais fluviais de diferentes capacidades e competências e nas áreas sob influência das variações de maré, com relevo plano e baixas cotas altimétricas. Alguns autores preferem incluir os manguezais presentes na área como parte da planície flúvio-marinha, porém a presença da vegetação de manguê atribui características específicas (fauna e flora típicos) a este tipo de depósito. A cartografia deste ecossistema como unidade específica, aqui chamada de planície flúvio-marinha vegetada, é importante para o monitoramento ambiental realizado na área, uma vez que as áreas de manguê foram classificadas em estudos prévios como sendo de sensibilidade ambiental muito alta e contribuem de forma natural para a redução da erosão na costa. Na planície flúvio-marinha ocorre deposição de sedimentos argilosos de composição química homogênea a base de silicatos de alumina pouco solúveis, com alta plasticidade e baixa permeabilidade, fator que dificulta a infiltração e aumenta o escoamento superficial, atribuindo as argilas uma maior resistência à decomposição química em comparação com as areias inconsolidadas. Sendo assim, o material argiloso é sensível à erosão mecânica e não a química.

As dunas foram diferenciadas em fixas e móveis, apesar de ambos serem depósitos eólicos, as dunas fixas são cobertas por vegetação que impede sua migração, atribuindo às mesmas uma estabilidade e acúmulo de matéria orgânica derivada das plantas e formação de solo. Já as dunas móveis são compostas por areias inconsolidadas e estão em processo contínuo de migração.

8. CONCLUSÕES

A metodologia empregada permitiu ampliar o conhecimento dos aspectos morfológicos da região, utilizando produtos de sensoriamento remoto, distribuídos gratuitamente, para gerar de maneira rápida e eficiente uma base cartográfica georreferenciada que poderá ser acessada durante a evolução de estudos atualmente em andamento, aplicados à gestão costeira integrada. morfodinâmico.

Os dados de interferometria de radar SRTM permitiram a análise de parâmetros relevantes para o monitoramento ambiental da área, como altimetria, declividade e aspecto, uma vez que em casos de acidentes que ofereçam riscos ambientais, o conhecimento destes fatores influencia diretamente a eficiência das medidas mitigadoras.

A aplicação de técnicas de Análise por Principal Componente, razões de banda e filtragem espacial é importante, porém, a integração dos sombreamentos dos dados SRTM com combinações RGB das imagens Landsat e CBERS previamente submetidas a tais processamentos oferece um ganho relevante para a análise morfológica das unidades de paisagem, uma vez que integra os fatores relacionados ao relevo com o aspecto geológico das unidades realçadas pela análise multiespectral das imagens óticas. Da mesma forma, é relevante a integração dos dados óticos com a imagem Radarsat, realçando os limites entre as unidades de paisagem em produtos híbridos com 12,5 m de resolução, ampliando a escala de trabalho.

Os modelos 3D geralmente representam a topografia em escalas de cores distribuídas do menor ao maior valor altimétrico, porém a integração dos dados SRTM com composições RGB oferece uma maior eficiência para a caracterização geomorfológica e geológica da área, uma vez que a superfície representada em três dimensões apresenta o aspecto visual das imagens multiespectrais obtidas pelos sensores óticos orbitais.

A orientação da maioria dos lineamentos mapeados é paralela aos sistemas regionais de Falhas de Afonso Bezerra (NW) e Carnaubais (NE), cuja reativação holocênica vem influenciando o escoamento superficial e a sedimentação costeira proveniente do continente até os dias atuais. Esta influência é refletida na geomorfologia por intermédio da inclinação da faixa litorânea, disposição do padrão

de drenagem, alinhamento de encostas de vales e falésias costeiras, além dos *spits* e ilhas barreiras com orientações E-NW em seus segmentos mais alongados e NE nos mais curtos. Ao comparar os lineamentos mapeados a partir dos dados SRTM com aqueles mapeados com dados CBERS é possível notar uma diminuição no comprimento de uma maneira geral, porém nos dois mapas a maioria dos lineamentos mapeados é menor que 5 km, um grupo menor têm entre 5 e 10 km e poucos têm mais de 10 km. Alguns dos afloramentos que constam no banco de dados do Serviço Geológico do Brasil apresentam evidências de atividade tectônica frágil como falhas, juntas e processo de silicificação e a sua localização e direção dos planos de falha coincidiu com os lineamentos mapeados. Alguns lineamentos coincidem também com a cartografia prévia do arcabouço estrutural de sub-superfície como no caso do lineamento de 28 km que separa os tabuleiros costeiros da planície flúvio-marinha na porção oeste da área que corresponde a representação da Falha de Afonso Bezerra em mapas estruturais pré-existentes.

Os dados cartográficos gerados neste trabalho contribuem para a caracterização das diferentes unidades de paisagem e para estimar comportamentos futuros de determinadas feições do terreno diante do quadro de risco ambiental de derramamento de óleo, decorrente da intensa dinâmica costeira da região. Sendo, portanto, uma fonte de informações relevante para estudos de gestão costeira integrada, uma vez que fornecem alguns dos conhecimentos necessários para a determinação da melhor forma de intervenção antrópica no meio físico. Nascimento (2009) realizou um levantamento histórico sobre a interação entre a ocupação antrópica e os processos naturais na área. Esta autora concluiu que as intervenções do tipo *hard* realizadas em trechos deste litoral ocupados pela indústria petrolífera foram realizadas sem um estudo geoambiental prévio, resultando na ineficiência em conter a erosão.

É importante a continuidade de estudos que apliquem as metodologias utilizadas neste trabalho em escala de detalhe, permitindo assim a definição de áreas adequadas para ocupação com o nível de precisão exigido para a região.

BIBLIOGRAFIA

- Amaral, C.A.; Bezerra, F.H.R.; Amaro, V.E. (2000) - Evidências geológicas e morfotectônicas das falhas sísmicas de Samambaia e São Rafael, RN. *Simpósio de Geologia do Nordeste*, p.122, Editora Universitária UFPE, Recife, PE, Brasil.
- Angelim, L.A.A.; Nesi, J.R.; Torres, H.H.F.; Medeiros, V.C.; Santos, C.A.; Veiga Junior, J.P.; Mendes, V.A. (2006) - *Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte - Escala 1:500.000*. 119p., CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Recife, PE, Brasil. (disponível em http://www.cprm.gov.br/publique/media/rel_rio_grande_norte.pdf).
- Aquino, M.R.; Fonseca, V.P.; Lima, E.N.M.; Sousa, M.O.L.; Lima Filho, F.P.; Bezerra, F.H.R. (2006) - Geologia e análise morfotectônica da porção sul da Folha Macau, RN. *XLIII Congresso Brasileiro de Geologia, Anais*, p.291, Sociedade Brasileira de Geologia (SBG), Aracaju, SE, Brasil.
- Bezerra, F.H.R. (2000) - Neotectonics in Northeastern Brazil: implications for a preliminary seismic-hazard assessment. *Revista Brasileira de Geociências*, 30:558-560. (ISSN/ISBN: 03757536).
- Bezerra, F.H.R.; Lima Filho, F.P.; Amaral, R.F.; Caldas, L.H.O.; Costa Neto, L.X. (1998) - Holocene coastal tectonics. In: Stewart, I.S. & Vita-Finzi, C. (eds.), *Coastal Tectonics*, pp.279-293, Geological Society, London, Special Publications, 146, Londres, U.K. (ISBN:186239024x).
- Bezerra, F.H.R.; Amaro, V.E.; Vitafinzi, C.; Saadi, A. (2001) - Pliocene-Quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 14(1):61-75. ([http://dx.doi.org/10.1016/S0895-9811\(01\)00009-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0895-9811(01)00009-8))
- Bezerra, F.H.R.; Amaral, R.F.; Silva, F.O.; Sousa, M.O.L.; Fonseca, V.P.; Vieira, M.M.; Lima, E.N.M.; Aquino, M.R. (2006) - Folha Macau SB.24-X-D-II e SB.24-X-V. Escala 1:100.000. Contrato CPRM 069/PR/2005-UFRN. CPRM/FINEP/UFRN, Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Recife, PE, Brasil. Mapa disponível em <http://geobank.sa.cprm.gov.br/>.
- Bezerra, F.H.R., Amaral, R.F., Silva, F.O., Sousa, M.O.L., Fonseca, V.P., Vieira, M.M., Lima, E.N.M., Aquino, M.R. (2006) - Folha Macau SB.24-X-D-II e SB.24-X-V. Escala 1:100.000. Contrato

- CPRM/069/PR/2005-UFRN. CPRM/FINEP/UFRN. Mapa disponível em <http://geobank.sa.cprm.gov.br/>.
- Boulhosa, M.B.M.; Souza-Filho, P.W.M. (2009) - Reconhecimento e mapeamento dos ambientes costeiros para geração de mapas de ISA ao derramamento de óleo, Amazônia Oriental. *Revista Brasileira de Geofísica*, 27, supl. 1, pp.23-27. (ISSN 0102-261x. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-261X2009000500003>).
- Caldas, L.H.O.; Dantas, E.P.; Castro, D.L.; Jardim de Sá, E.F. (1997) - Gravimetria e sensoriamento remoto aplicados na caracterização do lineamento de Afonso Bezerra e Sistema de Falhas de Carnaubais (RN). *XXVII Simpósio de Geologia do Nordeste, Anais*, p. 343-347, Sociedade Brasileira de Geologia (SBG), Fortaleza, CE, Brasil.
- Chaves, M.S.; Vital, H.; Silveira, I.M. (2006) - Beach morphodynamics of the Serra oil field, northeastern Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI39:594-597. (ISSN 0749-0208).
- Chavez Jr., P.S.; Berlin, G.L.; Bowel, J.A. (1982) - Statistical method for selecting Landsat MSS Ratios. *Journal of Applied Photogrammetry and Engineering*, 8(1):23-31. (ISSN: 0098-7298).
- Coriolano, A.C.F.; Jardim de Sá, E.F.; Amaro, V.E. (2000) - Integração de dados de sensoriamento remoto e geologia estrutural no estudo de aquíferos fraturados na porção leste do estado do Rio Grande do Norte. *XVIII Simpósio de Geologia do Nordeste*, Recife. Boletim 16:154-154, Sociedade Brasileira de Geologia (SBG), Recife, PE, Brasil.
- Damascena, R.V.C.; Lima, E.M.; Vieira, M.M.; Bezerra, F.H.R. (2008) - Petrografia de rochas do Sistema de Falhas de Afonso Bezerra, Bacia Potiguar-RN: Dados preliminares. *44º Congresso Brasileiro de Geologia, Anais*, p. 954, Sociedade Brasileira de Geologia (SBG), Curitiba, PR, Brasil.
- Dantas, A.R.; Sousa, M.O.L.; Bezerra, F.H.R. (2004) - Sensoriamento remoto e modelagem digital de terreno aplicados ao estudo do Sistema de Falhas de Afonso Bezerra, Bacia Potiguar, RN. *XLII Congresso Brasileiro de Geologia, Anais*, v.1:391-392, Sociedade Brasileira de Geologia (SBG), Araxá, MG, Brasil.
- Pereira, B.R.B.; Amaro, V.E.; Valentim da Silva, D.R. (2009) - Métodos de fusão de imagens multisensores (óticos e radar) na melhoria do mapeamento de unidades de uso e ocupação do solo na região de Macau e Porto do Mangue, Estado do Rio Grande do Norte. *XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais*. p. 7055-7062, Sociedade Brasileira de Geologia (SBG), Natal, RN, Brasil (ISBN: 9788517000447)
- Fonseca, V.P. (1996) - *Estudos Morfo-tectônicos na área do baixo curso do Rio Assu-Assu (Assu-Assu-Macau) Rio Grande do Norte*. 103p., Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, Brasil. (Não Publicado).
- Fonseca, V.P. (2006) - *Estudos morfotectônicos aplicados à Planície Costeira do Rio Grande do Sul e adjacências*. Tese de doutorado, 324p., Programa de Pós-graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (Não Publicado). Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/6173>.
- Inman, D.L.; Nordstrom, C.E. (1971) - On the tectonic and morphologic classification of coasts. *Journal of Geology*, 79: 121. (<http://dx.doi.org/10.1086/627583>).
- Moura-Lima, E.N.; Sousa, M.O.L.; Aquino, M.R.; Bezerra, F.H.R. (2005) - Paleotensões na região de Felipe Guerra-RN, Bacia Potiguar. *XXI Simpósio de Geologia do Nordeste*, Boletim v. 19, 292-295, Sociedade Brasileira de Geologia (SBG), Recife, PE, Brasil.
- Nascimento, M.C. (2009) *A erosão costeira e sua influência sobre a atividade petrolífera: alternativas sustentáveis na mitigação de impactos ambientais*. 229p, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, Natal, RN, Brasil. (Não Publicado). Disponível em http://bdtd.bczm.ufrn.br/tesesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=3388 e http://bdtd.bczm.ufrn.br/tesesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=3389
- Nimer, E. (1989) - *Climatologia do Brasil*. 421p., IBGE, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. (ISBN: 8524002824).
- Nogueira, F.C.; Bezerra, F.H.; Silva, A.M.; Castro, D.L.; Sousa, M.O.; Ferreira, J.M.; Nascimento, A.F. (2008) - Evidências de reativação cosísmica de estruturas da crosta superior em regime intraplaca: A Falha de Samambaia, Nordeste do Brasil.

- 44° Congresso Brasileiro de Geologia, Anais, p.251, Sociedade Brasileira de Geologia (SBG), Curitiba, PR, Brasil.
- Noyola-Medrano, M.C.; Hinojosa-Corona, A.; Martin-Barajas, A. (2005). - Caracterización litológica de regiones desérticas mediante técnicas de percepción remota: Un ejemplo en la franja costera central de Baja California, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22(2):229-245. (ISSN: 1026-8774) (disponível em [http://rmcg.unam.mx/22-2/\(7\)Noyola.pdf](http://rmcg.unam.mx/22-2/(7)Noyola.pdf)).
- Neto, O.C. Pessoa; Soares, U.M.; Silva, J.G.F.; Roesner, E.H.; Florêncio, C.P.; Souza, C.A.V., (2007) - Bacia Potiguar. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15(2):357-369, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. (ISSN: 0102-9304).
- Prates, M.; Gatto, L.C.S.; Costa, M.I.P. (1981) - Geomorfologia. In: *Projeto RADAMBRASIL. Levantamento de Recursos Naturais*. Volume 23, 744p., folhas SB.24/25 Jaguaribe, Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Rocha, A.K.R.; Vital, H.; Gomes, M.P.; Rocha, G.R. (2009) - Bedforms characterization of the AssuAssu Estuary (NE Brazil). *Journal of Coastal Research*, SI56:1410-1413. (ISSN: 0749-0258).
- Silva, C.G.; Patchineelam, S.M.; Baptista Neto, J.A.; Ponzi, V.R.A. (2004) - Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de costa. In: Baptista Neto, J.A., Ponzi, V.R.A. & Sichel, S.E. (eds.), *Introdução à geologia marinha*, p.175-218, Interciência, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. (ISBN: 8571930988).
- Silveira, I.M.; Vital, H.; Amaro, V.E.; Grigio, A.M. (2003) - Carta de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo para a Área entre Gamará e Macau. In: *2° Congresso Brasileiro de Pesquisa & Desenvolvimento em Petróleo e Gás*, Anais (CD-ROM), Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás (ABPG). Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Souto, M.V.S.; Castro, A.F.; Grigio, A.M.; Amaro, V.E.; Vital, H. (2006) - Multitemporal analysis of geoenvironmental elements of the coastal dynamics of the region of the Ponta do Tubarão, City of Macau/RN, on the basis of remote sensing products and integration in GIS. *Journal of Coastal Research*, SI39:1618-1621. (ISSN: 0749-0208).
- Souza, A.S.; Amaro, V.E.; Duarte, C.R. (2009) - Aplicação de técnicas de geoprocessamento na caracterização da pluma de sedimentos em suspensão na foz do Rio Piranhas/AssuAssu, Macau/RN. *XXIII Simpósio de Geologia do Nordeste, Anais*. p. 258. Sociedade Brasileira de Geologia (SBG), Natal, RN, Brasil.
- Srivastava, N.K.; Corsino, S.R. (1984) - Os carbonatos de Touros: petrografia e estratigrafia. *SBG - Simpósio de Geologia do Nordeste, Atas*, p. 165-176. Sociedade Brasileira de Geologia (SBG), Natal, RN, Brasil.
- Vital, H. (2009) - The mesotidal barriers of Rio Grande do Norte. In: Dillemburg, S. & Hesp, P. (eds.), *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*, p.289-324, Springer-Verlag, Heidelberg, Alemanha. (ISBN:9783540250081).
- Xavier-Neto, P.; Bezerra, F.H.R.; Nascimento, C.C.; Cruz, J.B. (2008) - O condicionamento estrutural do Carste Jandaíra e da espeleogênese associada pela tectônica pós-campaniana da Bacia Potiguar. *44° Congresso Brasileiro de Geologia, Anais*, p.998, Sociedade Brasileira de Geologia (SBG), Curitiba, PR, Brasil.



Capacitação e Mobilização: a Perspectiva da Participação Cidadã no Plano Diretor de Balneário Camboriú (SC), Brasil*

Capacity Building and Mobilization: a Citizens' Participation Perspective on The Master Plan of Balneário Camboriú (SC), Brazil

Sérgio Moraes^{@,1}, Renato Saboya², Stavros Abib¹, Maria José Reis¹

RESUMO

Na atualidade, tornou-se de fundamental importância a participação cidadã nos espaços públicos de decisão, implementação e controle das políticas públicas, em seus mais diversos campos de atuação. No campo do planejamento urbano brasileiro, essa participação ganhou visibilidade após a regulamentação do Estatuto da Cidade. Entretanto, como nas demais políticas setoriais, várias têm sido as dificuldades e os desafios a serem enfrentados para colocar em prática a referida participação. Dentre eles, destaca-se a necessidade de capacitação para a chamada participação cidadã. Afinado com essa problemática, o presente texto tem como foco a apresentação e discussão dos resultados parciais de um projeto de extensão, voltado para a capacitação e mobilização dos líderes comunitários de três setores urbanos do município catarinense de Balneário Camboriú, com vistas a sua participação na implementação, revisão e controle da gestão do Plano Diretor de Balneário Camboriú (PDBC) e da lei de uso e ocupação do solo desse município. Para isso, foi elaborada uma metodologia composta por três grandes momentos, em que 1) as demandas por conhecimentos sobre o PDBC foram identificadas através de questionários aplicados às lideranças comunitárias; 2) foi desenvolvido material didático com vistas à facilitação do entendimento de tais conhecimentos por parte da população e 3) foram realizados seminários de capacitação em cada uma das comunidades abrangidas pelo projeto, com vistas a expor o material e coletar dúvidas sobre o tema. A avaliação parcial desses resultados mostrou a importância da “motivação” para a participação e levou-nos à conclusão de que ela faz parte intrínseca da capacitação. Além disso, mostrou que o plano diretor e seus instrumentos de controle do uso e ocupação ainda permanecem, em grande medida, desconhecidos da população, o que dificulta o processo de controle social da política urbana e justifica a adoção de programas de capacitação como o executado por este projeto. Por fim, identificamos uma carência de espaços de discussão sobre esses aspectos, o que também contribui para essa dificuldade de controle.

@ stmoraes@univali.br

1 Universidade do Vale do Itajaí, PMGPP/Laeg

2 Universidade do Vale do Itajaí. Filiação científica actual: Universidade Federal de Santa Catarina, Curso de Arquitetura e Urbanismo

* Submissão – 21 Março 2010; Análise – 14 Abril 2010; Recepção da versão revista – 13 Julho 2010; Disponibilização on-line – 23 Novembro 2010

ABSTRACT

Nowadays the citizen participation in the public decision realm became of fundamental importance for implementation and control of every public policy. In Brazilian urban planning sphere, such participation acquired strong visibility after the implementation of the Federal Law known as "Statute of the City". However, as in other sectorial policies, several difficulties and challenges have been posed to effective community participation. Among them, we can highlight the necessary knowledge and motivation for a proper and informed participation process. Within this context, the purpose of this paper is to present and analyze the results of an "extension" project directed to the capacity building and mobilization of the community leaders of two neighborhoods and one environmental preservation area, located in the municipality of Balneário Camboriú, on the north coast of Santa Catarina State, Brazil. This capacity building process aims to facilitate leadership participation in the implementation, revision and control of the city's Master Plan. The paper first discusses some of the problems faced by citizen's participation and presents the objectives of the project. Then it presents the execution process, which was structured in three general phases: 1) mapping the demands for knowledge of the community's leaders about the Master Plan in each community; 2) developing instructional material aiming at explaining and fostering debate about the Master Plan and its development regulations; 3) executing training seminars in all three communities selected by the project. The partial results discuss the progress and difficulties for the project implementation. The first insight refers to the importance of the motivation for the participation and drove us to the conclusion that it is an intrinsic part of the capacity building process. In addition to that, it was clear that the Master Plan and its development regulations are still largely unknown for the general public, which is a complicating factor for the control of public policies and justifies capacity building initiatives like this one. Finally, we identified a severe shortcoming regarding opportunities for public debates about urban policies.

1. INTRODUÇÃO

Participar coletivamente nos processos decisórios que afetam a vida cotidiana e futura, individual e coletiva, pode parecer uma expressão trivial ou mesmo redundante quando se trata de sistemas de governo democrático. No entanto, é fato que, mesmo nas democracias ocidentais contemporâneas, a participação popular só ganha visibilidade concreta no último quarto do século passado, quando eclodem as grandes manifestações populares por direitos pessoais e coletivos.

Essa redescoberta de uma democracia participativa mais direta não tarda a ser incorporada, na atualidade, nos debates e na prática de diversas áreas do conhecimento e em diferentes contextos nacionais. Como ato contínuo e indissociável desse processo, a participação popular passa a integrar o conjunto de prioridades do planejamento urbano nos referidos contextos, ao menos entre setores mais progressistas da sociedade.

No caso brasileiro, a participação da sociedade civil transformou-se em um tema com grande visibilidade no campo do planejamento urbano, após a regulamentação da nova lei federal de desenvolvimento urbano, em outubro de 2001 (Lei 10.257, o "Estatuto da Cidade"). Pela primeira vez no País a gestão democrática foi reconhecida

oficialmente em todas as escalas do planejamento territorial. Essa gestão democrática chegou ao planejamento urbano através de um vasto processo de revisão e elaboração de planos diretores participativos.

Segundo estimativas do Ministério das Cidades (Praxedes, 2007), cerca de 1680 dos 5564 municípios brasileiros deveriam rever seus planos diretores até outubro de 2006, a fim de cumprir as exigências do Estatuto da Cidade e da orientação específica sobre planos diretores participativos, constante nas resoluções do Conselho das Cidades, especialmente as de número 25 e 34. Desses municípios, um total de 562 havia concluído a tarefa em março de 2008 e 773 ainda estavam em processo de aprovação ou finalização. Ainda que esses dados quantitativos sejam significativos para dimensionar o tamanho do esforço empreendido, não há como afirmar que o tema esteja esgotado, nem que os dados forneçam uma idéia acurada do modo como ocorreu a participação popular nos planos diretores participativos elaborados.

O Plano Diretor é o instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbanos, segundo o artigo 182 da Constituição Federal, e o artigo 40 do Estatuto da Cidade. Um plano diretor deve ser um instrumento que oriente as ações concretas de intervenção sobre o território. Portanto, no presente

projeto um plano diretor é um documento que sintetiza e torna explícitos os objetivos negociados para o Município e estabelece princípios, diretrizes e normas a serem utilizadas como base para que as decisões dos atores envolvidos no processo de desenvolvimento urbano convirjam, tanto quanto possível, na direção desses objetivos (Saboya, 2007).

Através do estabelecimento de princípios, diretrizes e normas, o plano deve fornecer orientações para as ações que, de alguma maneira, influenciam no desenvolvimento urbano. Essas ações podem ser desde a abertura de uma nova avenida, até a construção de uma nova residência, ou a implantação de uma estação de tratamento de esgoto, ou ainda a reurbanização de uma favela. Portanto, o plano diretor influencia diretamente na qualidade de vida de todos os cidadãos.

O Estatuto da Cidade veio regulamentar os capítulos 182 e 183 da Constituição Federal, que tratam da política urbana, e trouxe alguns princípios e diretrizes a serem obedecidos pelo plano diretor. Entre eles, está o da Gestão Democrática, ou seja, a necessidade e obrigatoriedade da participação da população em todas as etapas da elaboração e implementação da política urbana. Mais especificamente, a Gestão Democrática pode ser entendida como “*a forma de planejar, produzir, operar e governar as cidades e povoados, garantindo o acesso à informação, à participação, ao controle social sobre os processos decisórios em vários campos e ao fortalecimento do poder local*”. (Rolnik, 2002, p.163)

Dentro desse novo contexto, estão colocados os instrumentos legais para que a participação popular ocorra na prática. Porém, isso não é suficiente; para que a população possa participar com eficácia, ela precisa conhecer e entender as questões que estão sendo discutidas e decididas. É nesse sentido que entra a importância da capacitação.

O presente texto tem como foco a apresentação e a análise preliminar de um projeto de extensão³, voltado para a capacitação e mobilização da população

de dois bairros e uma área de preservação permanente, localizados no município catarinense de Balneário Camboriú, com vistas à sua participação na implementação, revisão e controle da gestão do PDBC. Ao contrário das iniciativas mais usuais de capacitação, entretanto, esta não pretende discorrer sobre o Estatuto da Cidade e os planos diretores em geral, mas sim auxiliar e capacitar a população de Balneário Camboriú a conhecer e compreender o seu plano diretor (lei 2686/2006) e lei de uso e ocupação do solo (lei 2794/2008) atualmente vigentes, para que ela possa acompanhar e fiscalizar sua implementação, bem como contribuir de forma mais esclarecida às ações de modificação ou ajuste realizadas.

Constituem o público alvo deste projeto as seguintes comunidades/localidades do referido município: **Área de Proteção Ambiental da Costa Brava (APA da Costa Brava)**, com desenvolvimento urbano recente. O recém formado Conselho Gestor da APA (que conta com representantes das localidades) deverá, segundo orientação do Plano Diretor, definir diretrizes de uso e ocupação para esta área; **Bairro das Nações** – bairro que enfrenta problemas viários complexos e ocupações irregulares que trazem consequências para o meio ambiente e para a qualidade de vida daquele setor urbano; e o **Bairro Nova Esperança** – área de expansão urbana que a médio prazo deverá sofrer impacto de grandes equipamentos urbanos (rodoviária e universidade).

2. PARTICIPAÇÃO CIDADÃ E CONTROLE SOCIAL: CONQUISTAS E DESAFIOS

A participação da sociedade civil nos espaços decisórios e o controle social sobre as políticas públicas são temas, de acordo com Almeida e Lüchman (2008), que ocupam atualmente um lugar importante no debate político e acadêmico acerca da democracia. Essa participação tem sido denominada, por diferentes autores, entre os quais Nogueira (2004), de *participação cidadã*. Trata-se de um “tipo de participação que se orienta por uma idéia de política

3 Denominado originalmente de “Capacitação comunitária para o controle social da implementação do Plano Diretor de Balneário Camboriú”, foi desenvolvido inicialmente por Sergio Torres Moraes, Renato Saboya e Leila Martins, professores da UNIVALI contando posteriormente com a colaboração dos professores Maria José Reis e Stavros Abib da mesma Instituição, e dos alunos do Curso de Arquitetura e Urbanismo, bolsistas Allan Marsal Alban, Jeniffer Ryberg, Bárbara Fisher e Taline Schroeder

como ‘troca’ entre governantes e governados” (Nogueira, 2004, p.12). Uma relação entre atores políticos, nos espaços públicos, fazendo valer seus interesses, aspirações e valores, afirmando-se como sujeitos de direitos e obrigações.

A participação cidadã é uma inovação de tal monta e impacto que sua dimensão só se apreende quando se reconhece que potencialmente significa a revitalização do princípio de autonomia, por meio de uma nova concepção de democracia, a direta. Santos (2003) desenvolve um arrazoado no qual se vê que há, ao longo do projeto modernista, uma hipertrofia de um de seus dois pilares, o de regulação, frente ao da autonomia. Sem se deter aprofundadamente na tese de Boaventura de Souza Santos, ressalta-se que a autonomia assim fertilizada pela democracia direta gera um novo senso comum político, que por sua vez implica em uma nova cidadania. A nova cidadania reforça o princípio de comunidade, uma vez que transforma a relação entre cidadãos e Estado e entre cidadãos.

Como em todo processo social, sintetizando as afirmações de Nogueira (2004) é possível apontar vários aspectos positivos em relação à referida participação. Dentre esses aspectos, vale salientar que ela propicia:

- opções públicas mais coerentes com a realidade social, ampliando e fortalecendo os processos decisórios;
- espaço para que as escolhas públicas reflitam de forma mais fiel a opinião e as expectativas da sociedade civil;
- obrigação, por parte dos gestores públicos, de serem capazes de fundir a participação de segmentos da sociedade civil com a decisão, execução, avaliação e controle de sua atuação;
- exercício de novas formas de controle social;
- divisão de responsabilidades, tanto por parte da atuação governamental, quanto por parte da sociedade civil.

Vale lembrar, entretanto, de acordo com Nogueira

(2004), que a gestão participativa depende, também, da agregação de conhecimento científico e técnico, por parte da gestão pública, através de recursos humanos qualificados que sejam capazes de identificar e propor estratégias de ação, bem como avaliar as consequências dessas alternativas e sua adequação aos objetivos acordados.

Contudo, ainda que seja inegável que a participação cidadã contribui de forma decisiva para o avanço de gestões públicas mais democráticas, é possível igualmente apontar alguns obstáculos e desafios a serem enfrentados em sua operacionalização. Dentre esses desafios destacamos, ainda segundo Nogueira (2004, p.151-156), a necessidade de superar a improvisação na referida participação. Há, portanto, a necessidade de preparar e capacitar a sociedade civil em termos de conhecimentos sobre a problemática em que se pretende intervir. Também há o perigo da transferência de responsabilidades da esfera estatal para a sociedade civil, sem que haja o respaldo de políticas públicas que dêem garantias aos direitos da sociedade. Por fim, registra-se, também, a possibilidade de todo o processo de participação ser manipulado ou instrumentalizado.

Outros aspectos positivos, bem como impasses, têm sido apontados no exercício da participação cidadã. Guaraná & Fleury (2008) notam que ações de associações e comitês de bairro podem reforçar a consciência política e valores cívicos ao provocar uma aproximação da sociedade civil com a administração pública.

Contudo, entre as dificuldades para uma participação cidadã mais efetiva e eficaz, no sentido de ampliação das conquistas democráticas, vale destacar também as apontadas por outros autores como Avritzer (2002) e Tatagiba (2002). Dentre elas, destaca-se o desconhecimento das questões coletivas e dos instrumentos legais e operacionais capazes de permitir sua participação nas diferentes esferas de sua execução; a falta de motivação para a participação, decorrente de diferentes aspectos tais como a adesão a valores e práticas da cultura política ainda vigentes, entre os quais o clientelismo e o patrimonialismo⁴; a dificuldade, dadas

4 O clientelismo, de acordo com Nunes (1997), é um tipo de relação entre sociedade e sistema político definido como a relação de troca de favores, através de contatos pessoais, de relações de amizade e de relações hierárquicas. O patrimonialismo, segundo Faoro (1975), é uma forma de dominação política na qual não se distingue o público do privado.

as precárias condições de sobrevivência, para pensar em problemas e soluções coletivas; a disponibilidade de tempo para participar de reuniões e de atuar em diferentes agremiações civis, e o descrédito na eficácia das ações públicas.

Além desses aspectos que dizem respeito mais às motivações e capacitação individuais, há sem dúvida uma série de obstáculos ou dificuldades a superar, provenientes da própria atuação dos órgãos coletivos da sociedade civil e do próprio Estado, tais como a hierarquização na dinâmica das organizações civis e as limitadas possibilidades de atuação dos membros não dirigentes, o tecnocratismo das esferas governamentais em relação às políticas públicas, a cooptação e manipulação de lideranças comunitárias pelas esferas governamentais, a falta de capacitação do corpo técnico em técnicas e ferramentas de participação popular e obtenção de consenso e a transferência, por parte da esfera pública, de responsabilidades de atuação, que são atribuição do Estado e não da sociedade civil.

Dentre todas essas dificuldades, destacamos que o desconhecimento das possibilidades legais de participação da sociedade civil e a utilização de termos técnicos de difícil compreensão por parte dos gestores e dos documentos oficiais contribuem para a exclusão da população processos decisórios que definem os rumos de seu próprio desenvolvimento. Além disso, dão margem a processos de favorecimento e de segregação sócio-espacial altamente prejudiciais ao tecido urbano e social (Rolnik, 2002). Desse modo, acaba por ser facilitada a alteração arbitrária das leis, motivada por interesses individuais e/ou restritos a pequenos grupos e sem levar em conta as reais necessidades da sociedade. Muitas vezes os resultados são planos deturpados, que perderam sua consistência e coerência originais por conta de inúmeras alterações pontuais que não se preocuparam em manter uma visão global do município.

Por tudo isso, a capacidade de participar na elaboração e de controlar a implementação dos planos e projetos definidos coletivamente é peça essencial na engrenagem da política urbana, uma vez que, sem essa participação e controle, todo o processo pode ser comprometido.

O Ministério do Desenvolvimento Social define “Controle Social” da seguinte forma: “*O controle social é a participação da sociedade civil (ONG’s - Organizações*

Não-Governamentais, associações, fundações, cooperativas, etc) no processo de planejamento, acompanhamento, avaliação e fiscalização da gestão pública e dos programas e ações públicos. No controle social, a sociedade civil deve trabalhar em conjunto com os governos, compartilhando responsabilidades e atribuições, com o objetivo de melhorar a implementação de políticas e programas públicos”. (Ministério do Desenvolvimento Social, sd).

Embasando as atividades de controle social está a capacitação da população. Quanto maior o nível de entendimento e conhecimento dos assuntos discutidos, maior é a qualidade das discussões e, conseqüentemente, das decisões tomadas. Com relação aos instrumentos oferecidos pelo Estatuto da Cidade para a efetivação da gestão democrática, o Guia do Estatuto (Rolnik, 2002) argumenta: “*O sentido de todos esses instrumentos é ampliar a base de conhecimento, planejamento e sustentação da política urbana, que assim vai deixando de ser um assunto restrito aos especialistas e passando a ser um patrimônio de toda a sociedade. Dessa maneira, os pactos e acordos que são feitos, envolvendo a política e a gestão urbana, podem ter bases mais incluídas e públicas, diferentemente daquilo que vem sendo historicamente praticado”.* (Rolnik, 2002, p.193 – grifo nosso)

Reforçando essa necessidade de ampliar a base de conhecimentos da população, as Resoluções da 2ª Conferência Nacional das Cidades, realizada em 2006, incluem uma seção de capacitação para cada um dos quatro temas gerais. Com relação ao primeiro tema (Participação e Controle Social), a principal diretriz sobre capacitação diz o seguinte: “*Para garantir a participação e o controle social da PNDU [Política Nacional de Desenvolvimento Urbano] e buscar a qualificação das intervenções da sociedade na sua implantação, a União, os estados, Distrito Federal e os municípios devem implantar uma política de capacitação e formação de profissionais, de integrantes de conselhos da cidade, de membros de organizações comunitárias e de segmentos sociais, por meio de programas de capacitação técnica continuada na área de planejamento urbano e de realização de seminários, oficinas, cursos e demais formas de treinamento”.* (Grazia & Carcalho, 2006, p. 27)

Portanto, fica clara a importância de um processo de capacitação para participação democrática na implementação da política urbana municipal, da qual o plano diretor é o principal instrumento. Entretanto, por mais que um plano se esforce para utilizar uma linguagem acessível à população, conceitos como

“função social da propriedade”, “retenção especulativa de imóveis” e “sustentabilidade” são complexos e sujeitos a várias interpretações, demandando uma certa reflexão e esforço para serem devidamente entendidos.

Além disso, os planos diretores utilizam vários instrumentos para o controle do uso e da ocupação do solo. Esses instrumentos também podem ser de difícil compreensão, visto que possuem várias peculiaridades e requisitos para a sua implementação. Alguns desses instrumentos são a Outorga Onerosa do Direito de Construir, o Zoneamento, a Transferência do Direito de Construir e o IPTU (Imposto Predial e Territorial Urbano) Progressivo. O zoneamento, em especial, pode ser considerado um dos principais instrumentos do plano diretor, e pode impor algumas dificuldades ao seu controle social, como será explorado mais adiante em relação, mais especificamente, ao Plano Diretor de Balneário Camboriú.

3. CARACTERIZAÇÃO DO PROJETO DE EXTENSÃO: O PLANO DIRETOR DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ – SC

Balneário Camboriú, como grande parte dos municípios que tinham obrigatoriedade da elaboração de um Plano Diretor Participativo até outubro de 2006, não tinha iniciado o processo até meados daquele ano. Desse modo, um apressado processo (pseudo) participativo foi desenvolvido pelo

Município para a elaboração de um plano que cumprisse as exigências constitucionais. Nesse contexto, não houve nenhuma preocupação em dar o entendimento ou possibilitar uma visão clara para a comunidade da complexidade dos temas tratados, resultando em um plano diretor distante de muitos dos anseios da população e claramente voltado para interesses imobiliários especulativos.

A partir da observação desse processo e atento aos fatores inibidores da democracia e da cidadania, foi proposto este projeto de extensão visando a conscientização da sociedade da importância de sua atuação no planejamento e gestão de seu território.

Balneário Camboriú está localizado no Estado de Santa Catarina (Fig. 1), região sul do Brasil, e destaca-se por ser uma das cidades mais visitadas do País. Sua população fixa, segundo estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para 2009, é de aproximadamente 102.081 habitantes e aproximadamente 1 milhão de habitantes durante o verão, segundo estatísticas do Governo do Estado. Com apenas 46,4 km², apresenta uma densidade demográfica bruta de 22,0 hab/hectare e conta com 82,08% da sua economia baseada no setor de prestação de serviços, especialmente o turismo (IBGE, s/d).

O município passou por muitas transformações em sua trama urbana. O rápido crescimento do mercado turístico acelerou a verticalização das construções e a intensa ocupação junto à orla, dando



Figura 1 - Localização de Balneário Camboriú no Brasil.

um enorme impulso para o setor imobiliário, mas, ao mesmo tempo, trazendo sérios problemas de infraestrutura à cidade, assim como problemas relacionados ao trânsito e à ventilação e insolação nas edificações.

O PDBC (Lei n. 2686/2006) e, especialmente, o zoneamento, são os principais instrumentos a regulamentar essa densificação, juntamente com a Lei de Uso e Ocupação do Solo (Lei n. 2794/2008). Entretanto, sua estrutura e seus instrumentos nem sempre são de fácil assimilação por parte da população. Um exame inicial mostra que existem ao menos 19 tipos diferentes de zonas, cada uma contendo pelo menos um conjunto de parâmetros urbanísticos próprio, às vezes mais de um. Isso dificulta o entendimento das diretrizes de densificação e ocupação do solo.

Especialmente para a população não familiarizada com termos técnicos do planejamento urbano, não é tarefa simples entender, apenas a título de exemplo, o que representam as seguintes nomenclaturas de zonas:

- Zonas de Atividades Vocacionadas - ZAV-I e ZAV-II;
- Zonas de Estruturação Especial - ZEE - I e ZEE - II.

As tabelas de índices urbanísticos, essenciais para um bom entendimento do que é possível construir em cada zona, bem como do que é incentivado ou proibido, também podem ser bastante complicadas.

Vê-se, portanto, que o PDBC (assim como qualquer outro plano diretor, em maior ou menor grau) impõe dificuldades à sua compreensão, especialmente pela população não familiarizada com esse instrumento. Por isso, ações de capacitação são essenciais para:

- promover o debate e o entendimento do plano diretor atual;
- permitir o controle social da política urbana, da qual o plano diretor é, por força constitucional, o instrumento básico;
- facilitar a participação popular na elaboração das leis complementares a serem instituídas para regulamentar os instrumentos do atual plano diretor;

- facilitar e incentivar a participação popular na elaboração do novo PDBC, quando tal processo for iniciado no futuro.

Sendo assim, tomando como ponto de partida, por um lado, as observações apresentadas anteriormente quanto à necessidade da capacitação da sociedade civil e, por outro, a complexidade do plano diretor e da lei de uso e ocupação do solo de Balneário Camboriú, foi definido o seguinte objetivo geral para este projeto de extensão comunitária:

- capacitar as lideranças comunitárias de Balneário Camboriú, especificamente aquelas de setores urbanos que apresentam problemática contundente e imediata em relação ao desenvolvimento urbano e meio ambiente e demais interessados para o controle social da implementação e fiscalização do plano diretor municipal.

3.1 Objetivos específicos:

- Identificar os setores urbanos que apresentam problemática contundente e imediata em relação ao desenvolvimento urbano e meio ambiente;
- Identificar as demandas das comunidades eleitas no que diz respeito à obtenção de informações e conhecimento sobre o PDBC.
- Produzir material didático explicativo sobre o plano diretor e suas possíveis consequências espaciais / urbanísticas para as comunidades;
- Explicar em linguagem acessível os instrumentos do PDBC, incluindo o zoneamento e seus parâmetros urbanísticos, através de seminários nas comunidades para discussões e esclarecimentos;
- Coletar dúvidas sobre PDBC e seus instrumentos, e dar o retorno com os devidos esclarecimentos.

3.2 Metodologia

3.2.1 Pressupostos teóricos do método

Entendemos que o desenho de um método adequado aos objetivos propostos em certa pesquisa deve respeitar a natureza do fenômeno estudado. Nesse sentido, “adequar” significa abordar o fenômeno proposto desde

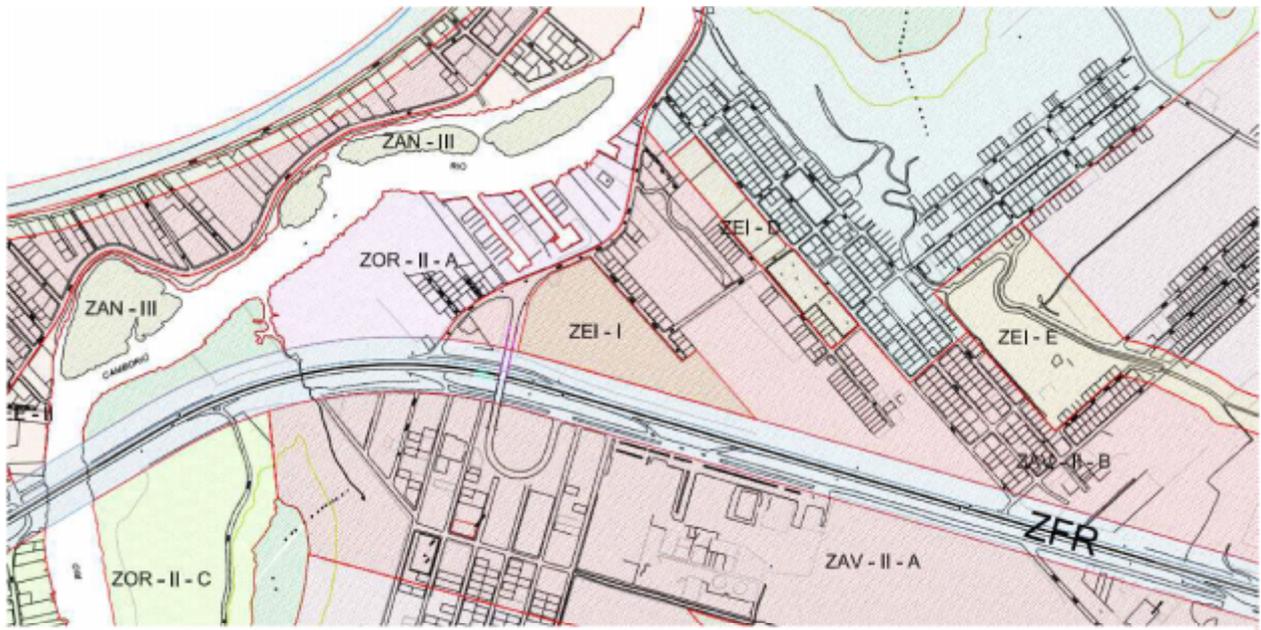


TABELA DE ÍNDICES URBANÍSTICOS				
MACROZONA	ZACC - I		ZOI	
MICROZONA	ZACC - I - A	Avenida Atlântica		
USOS			R1	R1-H
ATIVIDADES	PERMITIDAS TOLERADAS			
LOTE	ÁREA MÍNIMA TERRENO	m ²	250	250
	LOTE MÍN. PARA PARCELAMENTO	m ²	350	350
GABARITOS	EMBASAMENTO	m		
	EDIFICAÇÃO	pavtos	2 + 50% do pavto. inferior e terraço no mesmo nível com cota de cumeeira de 10m do nível medio do meio fio	2 + 50% do pavto. inferior e terraço no mesmo nível com cota de cumeeira de 10m do nível medio do meio fio
	SUBSOLO	pavtos	1	1
	ALINHAMENTO VIA (PASSEIO PÚBLICO) (non aedificandi)	m	6	6
	EMBASAMENTO FRONTAL	m	15m do eixo da Av. Atlântica	15m do eixo da Av. Atlântica
	ATERRO	m	livre até se divisões mantend	livre até se divisões mantend

Fig. 2 e 3 – Zoneamento de uso e ocupação do solo e respectiva tabela de índices urbanísticos (fragmento).
 Fonte: Prefeitura Municipal de Balneário Camboriú.

um nível ontológico, ou seja, o desenho da pesquisa deverá ser capaz de tratar da definição ou descrição de realidade sob a qual o fenômeno é compreendido: qual a natureza do fenômeno? Mas uma definição ou descrição isoladas da realidade sob a qual se constitui o fenômeno não nos parece suficiente para que haja uma adequação do desenho ao modo como se dará a apropriação deste fenômeno. Portanto, será necessário

tratar da questão em um segundo nível, o epistemológico. Este evita que se descaracterize o fenômeno quando de sua apropriação. Por fim, o desenho não estará completo se o conjunto de passos, procedimentos e técnicas empregados não atender tanto aos níveis ontológico quanto epistemológico. Desta forma o método atenderá a certos princípios metodológicos, o que nos dá um terceiro nível de adequação.

O nível ontológico da pesquisa está expresso na construção do tema e dos objetivos propostos para este projeto. A definição de participação cidadã e de controle social, bem como a preocupação com a capacitação, revelam um mundo no qual há diversidade de interesses quando da construção do entendimento da realidade. Nesse sentido, é um mundo no qual a realidade é uma construção social, complexa e deverá ser democrática.

O nível epistemológico nos revela que a apropriação de uma realidade complexa, relacional e, portanto, na qual não há certezas ou uma verdade, dificilmente se dará por meio de um princípio de redução ou disjunção presentes em um epistemologia com base cartesiana, ou positivista (Morin, 1982; Martinez, 1999; Bryman, 2004). A construção social da realidade nos leva a um conjunto de premissas epistemológicas mais alinhadas à noção construtivista. Nesse sentido se está seguindo uma perspectiva na qual “os sentidos são construídos em processos interativos ou em objetivos e representações”. (Flick, 2009, p.29)

O nível metodológico é onde se constroem os meios de pesquisa que atendem às demandas ontológicas, de forma geral, e epistemológicas, de maneira específica. Da epistemologia vem que as etapas do projeto aqui proposto, seus procedimentos e técnicas a serem empregados devem ser capazes de envolver os diversos pontos de vista dos participantes, em um processo no qual a realidade é tida como um construção coletiva, inclusive sendo influenciada pelos pesquisadores. Nesse sentido, o universo de pesquisa está fortemente caracterizado como qualitativo e idiográfico. Idiográfico, uma vez que se trata de uma abordagem que busca o entendimento de um contexto complexo e rico de significados em profundidade, logo com pouca extensão. Qualitativo, uma vez que a pesquisa qualitativa busca o qualis, a natureza ou essência do ser (Martinez, 1999), ou ainda que os pesquisadores estudam o fenômeno em seus contextos naturais tentando entender ou interpretar os fenômenos em termos dos sentidos que as pessoas lhes atribuem (Dezin & Lincoln, 2005, p.3). Vale ressaltar que o universo geral da pesquisa deve ser dentro desta visão qualitativa e idiográfica, o que não impede o uso de técnicas combinadas quando houver a necessidade de um tratamento mais quantitativo ou de uma abordagem mais geral de dados do contexto.

3.2.2 O Desenho do método

O desenho do projeto de extensão iniciou-se através de uma série de procedimentos preliminares com vistas a obter maior conhecimento sobre o tema e como este se apresentava no município. A revisão de literatura envolveu os temas de participação cidadã e controle social no contexto do planejamento urbano. Foi pesquisado também o contexto municipal, tanto em termos de sua legislação como segundo categorias advindas da literatura. Com base nesse material foi possível rever os objetivos e formular uma série de critérios de seleção a fim de definir o público-alvo e local da pesquisa. Essa definição envolveu, também, a avaliação do tempo e dos recursos disponíveis para a pesquisa (Kvale, 1996; Clark, 2002), bem como seu caráter idiográfico. Como resultado, para a execução do projeto de extensão, foram selecionados três setores urbanos que possuíam problemáticas contundentes quanto ao uso e ocupação do solo e sua relação com os aspectos ambientais. Houve também a preocupação de selecionar setores urbanos com características diversas entre si.

Sendo assim, foram selecionados os seguintes locais:

- Bairro da Nações, caracterizado por uma ocupação já consolidada e densificada, com problemas de invasão de áreas de alta declividade por população de baixa renda e por onde está prevista a passagem de uma via que reorganizará os fluxos de veículos nesse região do Município;
- Bairro Nova Esperança, caracterizado por uma área em consolidação localizada na periferia da cidade e que vem experimentando crescimento acelerado nos últimos anos, além de ser o local onde está prevista a instalação de importantes equipamentos urbanos (um campus universitário e o novo terminal rodoviário municipal);
- Região da Costa Brava, uma Área de Proteção Ambiental (APA) que encerra cinco bairros litorâneos caracterizada por comunidades pesqueiras, áreas de expansão imobiliária, morros com vegetação primária preservada, baixa densidade e intensa relação com áreas

ambientalmente frágeis. Nesta região o atual PDBC delegou ao Conselho Gestor da APA da Costa Brava a responsabilidade de definir as diretrizes de uso e ocupação do solo dentro do Plano de Manejo, substituindo as atuais diretrizes que, por isso, são consideradas provisórias.

Após a definição dos setores urbanos a serem atendidos, o projeto se concentrou em caracterizar as comunidades existentes nestes setores (público alvo da pesquisa), bem como suas demandas em relação ao tema pesquisado.

Um segundo estágio do método envolveu identificar a demanda das comunidades em relação ao tema da pesquisa. Nesse estágio, se identificou que os procedimentos ou técnicas a serem utilizados seriam as de obtenção de informações do público (Creighton, 2005). Para tanto, decidimos que o instrumento de pesquisa mais adequado à disponibilidade de tempo e recursos seria a entrevista estruturada. Essa pesquisa conteria perguntas correspondentes aos temas que a revisão de literatura apontara como pertinente ao estudo em curso. De modo específico, o objetivo principal foi o de identificar junto às lideranças comunitárias quais seriam suas demandas em relação ao Plano Diretor de Balneário Camboriú (PDBC), no que diz respeito ao seu conhecimento e compreensão. O público selecionado para responder ao questionário desenvolvido foi o do universo das lideranças comunitárias atuantes nos setores urbanos selecionados. A identificação das lideranças se deu através de um cadastro das comunidades atuantes elaborado no setores, baseada em cadastro inicial da Secretaria de Assistência Social da Prefeitura e complementada através de visitas a campo.

Sem entrar nas minúcias sobre as escolhas do tipo de instrumento e público a ser entrevistado, vale ressaltar dois aspectos que poderiam ser encarados como destoantes em relação aos pressupostos teóricos apresentados neste capítulo. O primeiro aspecto se refere ao uso da entrevista estruturada em um ambiente de pesquisa qualitativo e idiográfico. Há, contemporaneamente, uma maior ênfase em entrevistas feitas em modo semi-estruturado, ou aberto. No entanto, a utilização da pesquisa estruturada tem vantagens diante das outras

abordagens: em termos de velocidade, manejo e custo. Além disso, atendia ao que queríamos nessa fase da pesquisa, tão somente aprofundar nosso conhecimento sobre o quanto esses temas pré-selecionados na literatura tinham apelo nas comunidades pesquisadas, com fins a preparar o material didático da capacitação que se seguiria. Também não fere a abordagem idiográfica, mesmo se o instrumento permitir comparações gerais entre os setores urbanos envolvidos, essas são apenas uma base para o desenvolvimento subsequente de reuniões locais. O Segundo aspecto leva a discussão até a seleção da amostragem limitada aos representantes comunitários. O tema da amostragem em pesquisa qualitativa é em si complexo (Flick 2009; Kvale, 1996). Ao focar nos representantes a intenção não foi a de limitar a pesquisa a um determinado grupo, mas através deles aprofundar o conhecimento sobre a realidade e posteriormente acrescentar a visão dos diferentes atores.

Um terceiro estágio foi o tratamento de resultados da entrevista estruturada. Isso foi feito com base nas respostas obtidas nos questionário e se procedeu a um tratamento estatístico, com vistas a obter informações pertinentes sobre o tema. A partir destas informações foram produzidos materiais informativos sobre o Plano Diretor, de forma a traduzir em linguagem acessível os principais tópicos identificados com a demanda mapeada.

Um quarto estágio foi a realização de seminários para capacitar as lideranças comunitárias, com o apoio do material didático produzido. Vale ressaltar que neste momento são empregadas técnicas de participação em grupo. Aqui foram utilizadas as de visualização móvel (pôsters, apresentação eletrônica) e debates sobre o material trazido e as demandas levantadas pelos participantes.

Um quinto estágio envolveu o tratamento dos dados e informações obtidos nas reuniões e sua discussão crítica frente aos dados e informações obtidos nos questionários do segundo estágio do método. Aqui o procedimento foi interno à equipe de pesquisadores e empregou uma adaptação das técnicas de grupos focais (Creighton, 2005; Barbour, 2008) com o objetivo de identificar, primeiro, se as informações estatísticas, obtidas pelo questionário aplicado aos representantes comunitários, agora transformados em material didático, haviam divergido

do que os membros do grupo de pesquisa viam em suas observações sobre os seminários. Segundo, se divergiam, quais as novas classe de informação surgiram em cada comunidade e porquê. Terceiro, como essa classe de informação afeta os objetivos da pesquisa. Quarto, como incorporá-la? Quinto, quais as conclusões preliminares que o grupo tira de cada evento, em função dos objetivos que nos propusemos a alcançar. As questões são postas uma por vez e o grupo emite suas opiniões que vêm a ser condensadas e sistematizadas pelo moderador. Ao término, este sistematiza um relatório por reunião.

O sexto estágio refere-se a avaliar todo o material produzido comparando e sistematizando os resultados obtidos nos estágios anteriores.

O sétimo e último refere-se à produção do relatório final da pesquisa, do que o presente artigo é síntese plena do trabalho acadêmico. Mas a comunidade deverá ter uma resposta em linguagem acessível sobre o resultado produzido pela pesquisa. Aqui se propõe também a criação de um canal de comunicação entre população e pesquisadores.

Cabe ainda um comentário debate sobre a legitimidade da forma de verificação dos resultados no contexto da pesquisa qualitativa. Dado o enfoque idiográfico, se assume que a confiabilidade não é um conceito válido em sua acepção original, de repetibilidade do fenômeno (Enerstvedt, 1989; Kvale, 1996; Gibbs, 2009). O ambiente deste projeto de extensão universitária não busca comparar resultados a outro qualquer. Portanto, propomos que a validade dos resultados não deva ser esperada em um capítulo à parte, uma vez que entendemos que tal validação se dá a cada passo dado junto com a comunidade. Desse modo, quando há disposição por incorporar o discurso do público-alvo ao longo de cada seminário, a cada colocação e contribuição, se está construindo a validade dos procedimentos empregados. Por fim, a validade se encontra ao longo de cada etapa do desenho do método e de sua aplicação quando o público-alvo é protagonista.

3.2.3 Passos do Método

Os trabalhos descritos acima e efetivados entre março de 2009 e fevereiro de 2010 contaram com estratégias metodológicas sintetizadas nos seguintes passos:

1. Estudo preliminar do PDBC, visando identificar sua estrutura geral e os objetivos e diretrizes das macrozonas e zonas;
2. Geração do material inicial (preliminar) sobre o plano diretor;
3. Montagem do cadastro das lideranças comunitárias atuantes nos setores urbanos escolhidos.
4. Elaboração do questionário a ser aplicado às lideranças comunitárias com vistas a identificar suas demandas no que diz respeito ao conhecimento e entendimento do PDBC;
5. Contato com representantes da comunidade para esclarecimentos quanto aos objetivos do projeto;
6. Encontros iniciais para mapeamento das demandas sobre conhecimentos e informações sobre o plano diretor municipal;
7. Processamento e sistematização dos resultados;
8. Geração do material didático (folders, pôster e internet) sobre o PDBC, envolvendo a elaboração de textos e ilustrações, a diagramação e a impressão do material;
9. Organização e elaboração de estratégias para a condução e execução dos seminários;
10. Realização dos seminários;
11. Criação de canal de contato entre comunidade e equipe do projeto;
12. Coleta de dúvidas que porventura existam sobre os assuntos discutidos nos seminários e demais aspectos do PDBC;
13. Retorno às comunidades sobre os esclarecimentos requisitados;

As três primeiras ações descritas acima foram desenvolvidas ao longo do primeiro mês (março) da execução do Projeto de Extensão, tendo como objetivo iniciar o processo de trabalho e familiarizar a equipe com o PDBC.

O mês seguinte (abril) foi em parte dedicado aos quatro procedimentos subsequentes, os quais tiveram como objetivo identificar as demandas das comunidades no que diz respeito à obtenção de informações e conhecimentos sobre o PDBC.

Para tanto foi montado e aplicado um questionário contendo 17 perguntas para as lideranças comunitárias identificadas em cada uma das três regiões abordadas

pelo Projeto de Extensão. Todas as lideranças identificadas receberam o questionário.

As perguntas buscavam informações sobre o perfil social do entrevistado; sobre sua satisfação ou não de morar em seu bairro/localidade; o conhecimento sobre as normas para edificações ali permitidas; os problemas urbanos relacionados a construções, mais graves em seu bairro/localidade; o grau de informação sobre planos diretores de um modo geral e especificamente sobre o de seu Município; sua avaliação sobre este Plano; se o Plano Diretor do Município foi discutido com a comunidade; o grau de informação sobre o Estatuto da Cidade; a importância de conhecer e participar das decisões que envolvem questões urbanas (construções, rodovias, alterações na estrutura do bairro/localidade); sua disposição para colaborar na fiscalização das ações da Prefeitura Municipal em seu bairro/localidade; disposição para receber informações para participar de um debate sobre o desenvolvimento do bairro/localidade; possíveis formas de recebimento das informações sobre o referido tema.

Ainda em abril procurou-se organizar e elaborar estratégias para a condução e execução dos seminários⁵ tendo como objetivo a produção diversificada de material informativo sobre o PDBC e suas possíveis consequências espaciais/urbanísticas para as comunidades. Para tanto, foram produzidos *posters* e *folders*⁶.

A organização e realização de seminários com as lideranças e outros moradores das regiões selecionadas (itens 10 e 11) foram colocados em prática durante os meses de julho a outubro de 2009. Tinham como objetivo explicar em linguagem acessível os instrumentos do PDBC, incluindo o zoneamento e seus parâmetros urbanísticos, através de seminários nas comunidades, para a troca de informações, discussões e esclarecimentos. Para tanto foram, além de elaboradas as estratégias para a realização desses encontros, contatadas lideranças, definidas datas, locais e sistemática dos eventos e preparado material para sua realização, que ocorreu em três setores urbanos pré-determinados.

No que diz respeito aos pontos referidos nos itens 12 e 13, que tratam de um retorno às comunidades alvo, decidiu-se trabalhar especificamente com os moradores da APA da Costa Brava, haja vista a premência das demandas da comunidade em termos da necessidade de definição, por parte do recém-formado Conselho Gestor da APA, das diretrizes de uso e ocupação para esta área, segundo orientação do PDBC.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Questionários de identificação das demandas locais

A sistematização e análise dos dados obtidos nos questionários permitiu algumas constatações: as respostas mostram que a quantidade de moradores que não sabem o que é permitido construir em seu bairro corresponde em média a 34,3% do total (Fig. 4), o que foi considerada significativa, especialmente no Bairro das Nações e no Nova Esperança, em que as porcentagens chegaram a 34,6% e 50,0%, respectivamente. Tal percentual salienta a dificuldade do controle social do desenvolvimento urbano. A Costa Brava é a comunidade, entre as investigadas, que apresenta maior porcentagem de moradores que sabem o que é permitido construir em relação às que não sabem (60,8% sabem em comparação com apenas 21,7% que não sabem o que é permitido construir).

Nos três setores urbanos estudados há uma grande porcentagem (47,7%) de pessoas que sabem o que é um plano diretor. Ao mesmo tempo, apesar de muitos moradores saberem o que ele significa, é grande a quantidade de moradores que não conhecem especificamente o Plano Diretor de Balneário Camboriú, chegando a 32,8%. Com relação à opinião sobre o plano diretor atual, uma quantidade relevante de pessoas (35,8%) indicou não ter uma opinião formada sobre ele, mostrando coerência com a falta de conhecimento sobre o mesmo demonstrada na questão anterior. Tais fatores também são complicadores para o controle social. Ainda assim,

5 Ver o item 9 das estratégias metodológicas.

6 Ver detalhamento da produção deste material no item “material didático” adiante.

14,9% consideraram o plano muito bom ou ótimo, enquanto 8,9% o consideraram péssimo. Além disso, nas três áreas há grande quantidade de pessoas (37,3%) que não sabem se o PDBC foi discutido com a comunidade, indicando, provavelmente, uma falta de divulgação adequada do processo de elaboração do plano na época.

Constata-se, também, que uma grande quantidade de pessoas (46,2%) não conhece o Estatuto da Cidade, importante referência legal para a elaboração, implementação e fiscalização do PDBC. Tal documento é, atualmente, a principal garantia legal do direito de participação social nas ações de desenvolvimento urbano. Portanto, seu desconhecimento tende a fragilizar o potencial de reivindicação das comunidades.

Quando indagados sobre a importância do conhecimento e a participação nas decisões que envolvem o planejamento do seu bairro – questão essencial para o presente projeto de extensão – as respostas indicam que 71,6% das lideranças das três comunidades consideram ambas importantes, o que

pode ser considerado um bom sinal.

Em relação a colaborar na fiscalização das ações da Prefeitura, entretanto, há variação entre os resultados. Tanto o Bairro das Nações quanto a Costa Brava mostram lideranças interessadas em colaborar nessa fiscalização (53,8% e 60,8%), enquanto que o mesmo não acontece no Bairro Nova Esperança, no divididas, com o mesmo número de respostas “sim” e “não” (44,4% para cada uma).

Com relação aos aspectos de interesse para uma possível capacitação, 20,4% das respostas citaram as novas construções de edifícios, que corresponderam à principal preocupação das comunidades. Na Costa Brava, 13,0% também demonstraram interesse em conhecer mais sobre os canais pelos quais a participação popular poderia acontecer.

4.2 Material didático

O material didático produzido teve como objetivo auxiliar no entendimento do conceito e funcionamento do zoneamento de uso e ocupação do solo, bem como dos seus principais parâmetros.



Figura 4 – Respostas à questão “Você sabe o que é permitido e/ou proibido construir em seu bairro?”



Fig. 5 – Resposta à questão “Você gostaria de receber informações e ser instruído para participar de um debate sobre o desenvolvimento de seu bairro?”

Além disso, também preocupou-se em trazer informações específicas sobre as comunidades que fizeram parte do projeto, mostrando as zonas que ali incidem e os parâmetros correspondentes, de forma sintetizada.

Três tipos de material didático foram produzidos: folders, pôsters e apresentações *Powerpoint*.

O **folder de divulgação** dos seminários (Fig. 6) continha imagens básicas sobre o funcionamento dos parâmetros urbanísticos do zoneamento e uma síntese destes parâmetros para a região, assim como um chamamento à participação no seminário, com local e horário. A intenção era que cada participante pudesse ficar com um folder e guardá-lo para referência futura.

As imagens foram confeccionadas da forma mais simples e direta possível, com o objetivo de serem autoexplicativas. Dessa forma, mesmo que os participantes ficassem em dúvida em situações futuras quanto aos instrumentos, eles poderiam recorrer ao folder para auxiliá-los.

Os **pôsters** foram elaborados com o objetivo de serem doados às comunidades, de forma que pudessem ficar permanentemente expostos em local público e/ou de uso coletivo daquela comunidade, tais como associações de moradores, sindicatos de pescadores ou salões paroquiais. Para cada comunidade foram confeccionados dois pôsters; o primeiro deles (Fig. 7) era uma prancha introdutória contendo:

- uma introdução ao conceito de plano diretor e à sua importância;
- uma explicação sobre o funcionamento básico do zoneamento e uma tabela de parâmetros urbanísticos contendo explicações sobre cada uma das suas partes;
- croquis explicativos dos principais parâmetros urbanísticos (número máximo de pavimentos, índice de aproveitamento e taxa de ocupação);

O segundo pôster (Fig. 8) foi composto por uma prancha “personalizada” para as demandas

identificadas em cada comunidade, contendo:

- o zoneamento específico daquela comunidade;
- uma tabela síntese contendo os parâmetros específicos das zonas incidentes sobre a comunidade;
- fotos das tipologias resultantes de cada uma das zonas;
- outras informações, variáveis, direcionadas para os interesses de cada comunidade (canais de participação popular, simulações de crescimento segundo os limites do plano diretor, informações específicas sobre transporte, infraestrutura, etc.).

A **apresentação em *Powerpoint*** foi feita para ser utilizada nos seminários e foram ajustadas para as demandas específicas de cada uma delas. Seu objetivo era servir como apoio às discussões e à explanação inicial sobre os aspectos abordados na capacitação.

4.3 Resultados dos seminários de capacitação para a participação cidadã

De um modo geral, as experiências de capacitação desenvolvidas com as lideranças das três comunidades escolhidas alcançaram os objetivos propostos. Porém, tão importante quanto alcançar o objetivo foi a ampliação da visão sobre a problemática em pauta. O processo percorrido nesta experiência de extensão universitária trouxe aspectos enriquecedores, tanto para a melhoria do método utilizado, como para o aprimoramento dos conteúdos pertinentes à capacitação que se propôs.

Cada uma das três reuniões com as lideranças comunitárias colaborou especificamente com esse aprimoramento. Não obstante a especificidade de interesses e dos respectivos contextos, as lições anotadas ao final de cada encontro colaboravam sobremaneira para a estruturação da reunião subsequente⁷.

A primeira reunião, no Bairro das Nações, mostrou-nos uma heterogeneidade de público. Uma parte dos ouvintes era composta por pessoas

7 Muitas perguntas feitas na primeira reunião se referiam aos canais legais de reivindicação do cumprimento da Lei. Ex: “O que fazer se a prefeitura faz o contrário do que diz a lei?”. Este tópico foi incorporado nos seminários subsequentes apresentados nos demais setores estudados.

Zoneamento de uso e ocupação do solo na Costa Brava

Zonas	Parâmetros Urbanísticos ¹					Usos e atividades
	Nº. Máx. Parques	Tx. Ocup.	Coef. Ap. Máx.	Altaz. Frontal	Área Máxima ²	
Zona de Ambiente Construído Integradas - A (ZAN - A)	2 + 30%	30%	1,5	6m - 18m/1	1/3 da área do lote + 10% da área de recuo	Residencial unifamiliar isolada e semi-isolada
Zona de Ambiente Construído Integradas - B (ZAN - B)	2 + 30%	30%	1,5	6m - 18m/1	1/3 da área do lote + 10% da área de recuo	Residencial unifamiliar isolada e semi-isolada
Zona de Ambiente Natural I (ZAN - C)	2 + 30%	30%	1,5	6m - 18m/1	10.000m ²	Residencial unifamiliar isolada e semi-isolada
Zona de Ambiente Natural II (ZAN - D)	Não é permitida a ocupação - zona de preservação permanente					
Zona de Paisagem Protegida (ZAN - E)	Não é permitida a ocupação					

Fonte: Prefeitura Municipal de Balneário Camboriú

Você conhece o Plano Diretor de Balneário Camboriú?

Apresentação sobre o Plano Diretor no dia 25.11.2009 às 19h30 na Colônia dos Pescadores - Bairro da Barra

O que é Plano Diretor?

Um Plano Diretor é uma lei municipal que tem como objetivo orientar o desenvolvimento urbano de um município. Ele deve ser feito com a participação da população e aprovado pela Câmara de Vereadores, através de audiências públicas.

O plano deve estabelecer as prioridades para o crescimento do Município, definindo quais áreas podem ser mais ocupadas e quais devem permanecer pouco ocupadas, ou mesmo sem ocupação nenhuma.

Ele deve também estipular os limites ao crescimento, indicando o tamanho máximo dos edifícios e em que bairros da cidade eles podem estar localizados.

UNIVALI Projeto de Extensão Comunitária: **Capacitação Comunitária Para o Controle Social da Implementação do Plano Diretor de Balneário Camboriú**

Parâmetros do zoneamento

Gabaritos e afastamentos

Taxa de ocupação

A Taxa de ocupação é a porcentagem entre a área da projeção da edificação e a área total do lote.

É normalmente expresso em porcentagem (ex.: 40%, 50%)

Índice de aproveitamento

O Coeficiente de Aproveitamento (C.A) é um índice que, multiplicado pela área do terreno, indica a área total máxima que a edificação poderá ter (incluindo todos os pavimentos somados).

Exemplo: Caso o C.A fosse igual a 3,0

800m² → Área máxima a ser construída: 2.400m²

Por exemplo: 10 pavos de 240m² ou 6 pavos de 400m²

Em Balneário Camboriú

Em Balneário Camboriú, o plano diretor foi aprovado em 2006, e deu origem à Lei Municipal 2686/2006. Ele estabelece as regras gerais para o uso e ocupação do solo, e também para as políticas setoriais de desenvolvimento econômico e social. O plano é complementado pela Lei de Uso e Ocupação do Solo, que detalha melhor o macrozoneamento do Município e divide a cidade em zonas, que servem de base para a aplicação dos parâmetros de controle do uso e ocupação do solo. Esta lei é a 2794/2008.

Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas | Curso de Arquitetura e Urbanismo - Universidade do Vale do Itajaí (Univali) 2009. Reprodução autorizada, desde que citada a fonte.

Figura 6 – Folder de divulgação dos seminários.

Você conhece o Plano Diretor de Balneário Camboriú?

Lei Municipal n. 2686/2006

Plano Diretor

O que é Plano Diretor?

Um Plano Diretor é uma lei municipal que tem como objetivo orientar o desenvolvimento urbano de um município. Ele deve ser feito com a participação da população e aprovado pela Câmara de Vereadores, através de audiências públicas.

O plano deve estabelecer as prioridades para o crescimento do Município, definindo quais áreas podem ser mais ocupadas e quais devem permanecer zonas especiais, ou mesmo sem ocupação urbana. Essa é o caso, por exemplo, das áreas de proteção ambiental, que devem estar devidamente definidas no plano.

Ele deve também estabelecer as formas de implantação, indicando o tamanho máximo das edificações e em que locais da cidade elas podem estar localizadas. Os usos também devem ser tratados, evitando, que usos incompatíveis sejam localizados muito próximos uns dos outros.

Em Balneário Camboriú

Em Balneário Camboriú, o plano diretor foi aprovado em 2006, e deu origem à Lei Municipal 2686/2006. O plano é complementar à Lei de Uso e Ocupação do Solo, que detalha melhor o planejamento de loteamentos e divide a cidade em zonas, que servem de base para a aplicação dos parâmetros de controle do uso e ocupação do solo. Esta lei é a 2794/2008.

Algumas questões que precisam ser respondidas pelo Plano Diretor

Como gerir e desenvolvimento de água?

Quais áreas devem ser usadas como reserva ambiental?

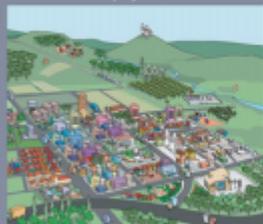
Quais áreas devem permanecer como uso rural?

Quais áreas devem estar localizadas as indústrias?

O que fazer se no seu terreno, que não foram feitos enquanto tempo, não há mais lotes, terrenos?

Como proteger o patrimônio natural?

Quais áreas da cidade devem ter seu patrimônio histórico protegido?



Quais áreas devem ser usadas para habitação popular?

Quais áreas devem manter-se para habitação social?

Quais áreas permitem fazer maior densidade de pessoas e prédios mais altos?

Zoneamento

Cada zona possui seus parâmetros próprios para o controle do uso e da ocupação do solo, resumidos em uma tabela.

- 1 Altera máxima em termos de número de pavimentos
- 2 Distância de edificação em relação ao limite do lote
- 3 Área de superfície do terreno, em porcentagem, que pode ser ocupada pela edificação
- 4 Determina a área total máxima de edificação, contendo todos os pavimentos



Zona	Residencial unifamiliar isolada	Residencial semi-isolada	Residencial multi-familiar	Multi-familiar Condensada	Uso residencial	Misto (residencial + outro uso)
Parâmetros

Especifica quais usos podem ser estabelecidos no terreno. Verificar art. 10 de Lei 2794/08 - Lei de Uso e Ocupação do Solo?

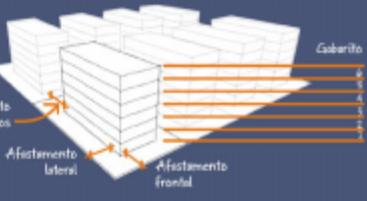
Determina que 15% da área do lote deve permanecer permeável à água

Significa que é possível construir até 1,5 vez a área do terreno (somando todos os pavimentos)

O Zoneamento é um instrumento que busca controlar o uso e a ocupação do solo dentro da cidade. Para isso, são estabelecidas algumas limitações às atividades que podem ser instaladas em cada local, bem como ao tamanho dessas atividades (número de andares, área construída, etc.).

Parâmetros Urbanísticos

1 Gabaritos e afastamentos



Afastamento de fundos

Afastamento lateral

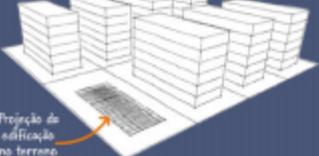
Afastamento frontal

Gabarito

Taxa de ocupação 2

A Taxa de ocupação é a porcentagem entre a área de projeção de edificação e a área total do lote.

É normalmente expressa em porcentagem (ex.: 40%, 50%)



Projeção de edificação no terreno

Alguns exemplos visuais de taxa de ocupação:



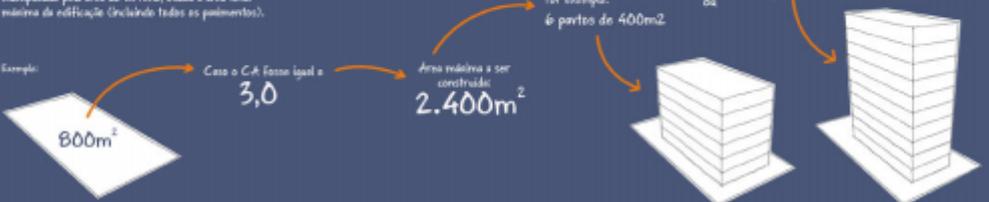
3 Coeficiente de aproveitamento

O Coeficiente de Aproveitamento (CA) é um índice que, multiplicado pela área do terreno, indica a área total máxima de edificação (incluindo todos os pavimentos).

Exemplo: Casa o CA fosse igual a 3,0

800m² x 3,0 = Área máxima a ser construída: 2.400m²

For exemplo: 6 partes de 400m² ou 10 pavos de 240m²



Projeto de Consultoria: Equipe Consultoria Para o Controle Social de Implementação do Plano Diretor de Balneário Camboriú

Parceiros organizados: Design: Tereza Moraes - Programa de Mestrado em Gestão de Políticas Públicas; Políticas Públicas; Política: José Roberto - Programa de Mestrado em Gestão de Políticas Públicas; Políticas Públicas; Renato T. de Souza - Curso de Arquitetura Urbanista

Assessoria técnica: Alvaro Rinaldi-Alfonso - Arquiteto; Roberto Fracchi - Arquiteto; Gabriel Sakuma - Arquiteto; Nelson Schneider - Arquiteto

Monitoramento para fins de avaliação: Avaliação ambiental, apoio ao plano diretor, Balneário Camboriú de Gestão e Comunicação 2006 - 2008

Figura 7 – Pôster elaborados para todos os setores urbanos trabalhados no projeto.

Você conhece o Plano Diretor de Balneário Camboriú?

Lei Municipal n. 2696/2006

Zoneamento da Costa Brava

Lei de Uso e Ocupação do Solo - Lei Municipal 2794/2008

Tabela de parâmetros para a Costa Brava (resumido)

Zonas	Definição	Parâmetros Urbanísticos*										Uso e atividades autorizadas e vedadas
		N. Máx. Pontos	Tx. Ocup.	Cust. Ap. Máx.	Alt. Máx.	Alt. Frontal	Alt. Lateral	Áreas Fundos	Permeat.	Lotif.	Uso permitido e vedado	
Zona de Ambiente Construído Interiores - A (ZACI-A)	Zona destinada às áreas urbanas vizinhas à área de zona 25m do rio de mar, atividades de áreas comerciais, de marginação e cursos de água (R) vedadas.	2 + 50%	30%	1,5	est. vidor	2m	3m	15%	100m	Uso permitido e vedado	Residencial unifamiliar isolada e semi-isolada	
Zona de Ambiente Construído Interiores - B (ZACI-B)	Zona destinada às áreas urbanas vizinhas à área de zona 25m do rio de mar, atividades de áreas comerciais, de marginação e cursos de água (R) vedadas.	2 + 50%	30%	1,5	est. vidor	2m	3m	15%	100m	Uso permitido e vedado	Residencial unifamiliar isolada e semi-isolada	
Zona de Ambiente Natural (ZAN - II)	Zona destinada a promover a transição para as áreas de preservação permanente, com função de reserva.	2 + 50%	30%	1,5	est. vidor	2m	3m	15%	10.000m²	Uso permitido e vedado	Residencial unifamiliar isolada e semi-isolada	
Zona de Ambiente Natural (ZAN - III)	Zona a ser totalmente preservada, incluída como APP (Área de Preservação Permanente), situada dentro de zona 100.	Não é permitida a ocupação - área de preservação permanente										
Zona de Faixa Restrita (ZFR)	Faixa de domínio de 50-10m, (50-10m + 20-10m + 10-10m)	Não é permitida a ocupação										

* Os parâmetros técnicos estabelecidos, considerando todos os usos permitidos no caso de implantação de uso não autorizado.

ZAN-II

ZAN-III

ZACI-B

ZACI-A

Você sabia...

... que o Plano Diretor de Balneário Camboriú estabelece como prioridade, nesta ordem (art. 73):

1. pedestres;
2. ciclistas;
3. transporte coletivo;
4. transporte de cargas em geral;
5. transporte individual.

... que o PDBC estabelece que as calçadas devem ter dimensões adequadas e padronização, além de permitirem acesso a todos (art. 74)

... que o PDBC estabelece a promoção do transporte coletivo integrado, com tarifas adequadas (art. 74)

... que o PDBC exige a necessidade de Estudo de Impacto de Vizinhança para vários casos, e a Lei de Uso e Ocupação do Solo (Lei 2794/2008) diz expressamente que casas nobres devem ser submeteridas ao EIV antes da aprovação (art. 54-XV)

... que o PDBC exige que o sistema de saneamento seja ampliado, com prioridade para as áreas de baixa renda (art. 60)

... que o PDBC prevê a obrigatoriedade da coleta e tratamento de esgoto nos parcelamentos e edificações não atendidos pelo atual sistema (art. 59)

Área de Proteção Ambiental - APA

[...] é uma área em geral extensa, com um certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais. (MMA, 2000)

PLANO DE MANEJO

[...] documento técnico mediante o qual, com fundamento nos objetivos gerais de uma unidade de conservação, são estabelecidos o seu zoneamento e as normas que devem presidir o uso da área e o manejo dos recursos naturais, inclusive a implantação das estruturas físicas necessárias à gestão da unidade. (MMA, 2000)

ZONEAMENTO

[...] definição de setores ou zonas em uma unidade de conservação com objetivos de manejo e normas específicas, com o propósito de proporcionar os meios e as condições para que todos os objetivos da unidade possam ser alcançados de forma harmônica e eficaz. (MMA, 2000)

Saiba como participar do planejamento do seu bairro e da sua cidade

É importante participar!

O Plano Diretor só vai funcionar se a população participar da sua fiscalização e exigir que ele seja cumprido pelo bem de todos. Sem isso, fica difícil garantir que o que foi acordado por todos seja realmente respeitado.

O Estatuto da Cidade garante o direito à participação em todas as etapas do processo de planejamento. Seu artigo 2º define como uma das diretrizes da política urbana:

“XV - gestão descentralizada por meio da participação da população e de associações representativas dos vários segmentos da comunidade na formulação, execução e acompanhamento de planos, programas e projetos de desenvolvimento urbano;

[...]

XVI - audiência do Poder Público municipal e da população interessada nos processos de ampliação de empreendimentos ou atividades com efeitos potencialmente negativos sobre o meio ambiente natural ou construído, o conforto ou a segurança da população.”

Portanto, não apenas a elaboração e fiscalização do plano diretor devem ser feitas com a participação da população, mas também todas as propostas de alteração do plano assim como a implantação de qualquer empreendimento que possa trazer impactos (barulho, trânsito, cheiros, etc.) à vizinhança.

A participação popular está garantida no Estatuto da Cidade

(Lei 10.257 / 2001), que é uma Lei Federal!

Como saber se o processo está sendo participativo?

- Todas as alterações no plano diretor devem ser feitas com a convocação de audiências públicas para que a população possa participar;
- De prazo para analisar as propostas devem ser suficientes para a população poder entendê-las e discutí-las;
- As audiências públicas devem acontecer em horários e locais que incentivem a participação;
- A divulgação deve ser ampla, de forma a convocar o maior número de interessados possível.

O que fazer se não há participação?

Em primeiro lugar, procure a associação de moradores mais próxima ou o seu órgão de classe e faça um requerimento por escrito ao Poder Público, exigindo a participação.

Se isso não funcionar, faça uma denúncia ao Ministério Público pessoalmente, através de carta, e-mail (balneariocamboriu@mg.sc.gov.br) ou pelo site (http://www.mg.sc.gov.br).

Já se todos os documentos que possam comprovar sua denúncia e entregá-los ao Ministério Público. De acordo com o art. N. 81(2006)PQJ, as denúncias podem ser feitas de forma anônima, e o Ministério Público tem a obrigação de investigar.

Faça valer seus direitos!

Participe!

UNIVALI

Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional

Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional

Associação de Moradores do Balneário Camboriú

Figura 8 – Pôster para a Costa Brava.

realmente interessadas em ter informações sobre o PDBC, sua implementação e controle. Estes levantaram dúvidas⁸ e ouviram atentamente as explicações. Entendemos que, para esse público, os objetivos do projeto foram efetivamente alcançados. Outra parte da audiência, porém, parecia estar mais interessada em problemas individuais e imediatos⁹, sem preocupação em capacitar-se ou entender os mecanismos urbanísticos do Plano Diretor. As dúvidas recorrentes deste último grupo focavam os canais de acesso a informações e as possibilidades e condições de participação.

Essa nova demanda, que não havia aparecido nos questionários aplicados preliminarmente (com exceção da comunidade da Costa Brava), levou-nos a uma alteração no conteúdo preparado para a segunda reunião (Bairro Nova Esperança). Sendo assim, a questão da participação comunitária foi incluída no pôster ilustrativo e abordada na apresentação com certa ênfase.

A reunião com as lideranças do Bairro Nova Esperança trouxe para a equipe de trabalho uma perspectiva diferente sobre parte da metodologia que estava sendo utilizada até então. A presença de apenas três pessoas da comunidade, ainda que lideranças comprometidas com o bairro (dois candidatos à presidência da Associação de Moradores e um antigo presidente da Associação) levou o grupo de trabalho a questionar a efetividade da estratégia de divulgação da reunião.

Vale destacar, entretanto, que uma das principais preocupações da equipe, desde a primeira aproximação com a comunidade do Bairro das Nações, foi a dificuldade na divulgação dos encontros. Houve dificuldades em contatar as lideranças e sensibilizá-las para a questão abordada, uma vez que as respostas desinteressadas nos questionários já apontavam para um esvaziamento dos encontros. A reunião no Bairro Nova Esperança alcançou o seu objetivo devido à qualificação dos presentes que permitiu um debate profícuo sobre o

desenvolvimento do bairro; porém, frustrou a expectativa da equipe de ter a sala cheia.

A análise possível, feita numa reunião interna posterior ao encontro da Nova Esperança, apontou a necessidade de uma melhor elaboração da divulgação dos encontros. Naquele bairro, a associação de moradores não estava organizada e tinha acabado de mudar de gestão. Em que pese esse atenuante, a distância entre os primeiros contatos para a aplicação dos questionários de levantamento e a data em que a apresentação foi efetivamente realizada foi apontada como principal responsável pelo esvaziamento da reunião.

Contudo, uma releitura dos questionários retornados do Bairro Nova Esperança já mostrava um desinteresse generalizado das lideranças locais. Desse modo, faltou à equipe o entendimento da necessidade de um contato mais constante com essas lideranças e a utilização de estratégias de divulgação que pudessem atrair a atenção de um contingente maior de pessoas.

Por fim, o grupo de trabalho estava mais confiante com o sucesso da reunião com os líderes da região da APA da Costa Brava. Primeiro, porque as lideranças comunitárias pertencentes aos sete bairros da costa sul do município já são organizadas em torno de uma ONG: a Associação dos Amigos da APA da Costa Brava. Também o fato de muitos líderes estarem participando como membros do Conselho Gestor da APA da Costa Brava trouxe a necessidade premente de capacitação para essas lideranças, o que colabora sobremaneira com a motivação dos líderes comunitários para participarem do encontro com nosso grupo. Além disso, já está consolidada na região a idéia de que é benéfico a todos o trabalho em conjunto.

Nesse contexto, também houve o facilitador de um contato mais direto, via e-mail, com a maior parte dos líderes comunitários (o que não ocorreu nos outros bairros). Assim, o grupo de trabalho do Projeto de Extensão tomou a precaução de ter um contato

8 As dúvidas principais eram focadas no que era permitido construir no bairro.

9 Reclamações comuns em relação a ações da vizinhança que atingiam particularmente sua propriedade foram recorrentes, tais como a fossa do vizinho vazando ou o buraco que surgiu na rua em frente a sua casa.

mais constante com os líderes na semana anterior à reunião. As expectativas se confirmaram e tivemos a participação de 22 pessoas interessadas e participativas na apresentação. Dúvidas apareceram e um animado debate se estabeleceu sobre questões pertinentes do PDBC, participação cidadã e sobre a competência do Conselho Gestor da APA. O tempo estabelecido de duas horas acabou ficando curto para as discussões.

Muitas das questões focaram-se em situações particulares que, entretanto, eram representantes de uma situação mais geral que parece ser recorrente não apenas em Balneário Camboriú mas também em outros municípios brasileiros: a não observância da legislação em vigor, ou sua mudança arbitrária para acomodar interesses pontuais (o que, no fundo, são equivalentes). Sendo assim, adquiriu especial importância a discussão dos canais de participação e de pressão sobre o Poder Público, que desta vez estava bem preparada e embasada, e portanto pôde ser mais bem desenvolvida. Nesse sentido, após a primeira reunião no Bairro das Nações, e detectada essa demanda, a equipe empenhou-se em realizar uma pesquisa mais exaustiva sobre o assunto, inclusive com reuniões de consulta com o promotor público estadual lotado no Município. Através das suas orientações foi possível sugerir procedimentos e caminhos mais concretos e específicos do que aqueles contidos nas cartilhas disponíveis, elaboradas em âmbito nacional.

Tal discussão também proporcionou um debate importante sobre a validade de tais iniciativas. Alguns participantes argumentaram que, na nossa realidade, não vale a pena tentar contestar essas ações (ou falta delas) do Poder Público, porque essas contestações nunca são bem-sucedidas. Entretanto, um dos próprios participantes contra-argumentou relatando um caso bem-sucedido de pressão popular no município vizinho, Itajaí, e defendeu a ideia de que nossa realidade está se modificando, aos poucos, na direção de maior sensibilidade do judiciário a essas questões. Vemos, portanto, que a “capacitação” não é um processo vertical de “quem sabe mais (Universidade) para quem sabe menos (comunidade)”, mas também um processo horizontal, que se baseia na troca de saberes e informações entre as próprias pessoas da comunidade.

A particular situação da região da APA da Costa Brava em termos de organização associativa permitiu

à equipe de trabalho estabelecer possibilidades de desenvolvimento do trabalho elaborado até então. O fato do Conselho Gestor da APA Costa Brava estar começando seu trabalho e dos participantes sentirem a imediata necessidade de uma capacitação voltada à discussão do controle do desenvolvimento urbano nos levou a crer que seria neste território que o Projeto de Extensão deveria focar seu objetivo, o que já está ocorrendo com a sua referida prorrogação.

Desse modo, atender à demanda de capacitação de um grupo motivado nos parece ser a diretriz mais indicada para a continuidade do trabalho, embora pareça-nos evidente, como já foi dito, que a motivação para a capacitação e participação deva ser retroalimentada durante o próprio processo de capacitação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A falta de capacitação para o exercício da participação da sociedade civil no campo das políticas públicas voltadas para o planejamento e gestão territorial é, como vimos, o objeto central do Projeto de Extensão cujo enfoque, encaminhamentos metodológicos e resultados foram aqui apresentados.

As estratégias adotadas para por em prática este projeto, de modo especial a coleta de informações junto à população alvo e os seminários, trouxe evidências empíricas que permitem reforçar a necessidade de uma preparação prévia para a efetividade da participação em pauta. Ou seja, é necessário o domínio de determinados conhecimentos para uma atuação mais eficaz, menos improvisada e voluntarista.

Além desta comprovação empírica, e da contribuição que o relato e a análise do desempenho deste Projeto de Extensão podem oferecer para experiências posteriores em outros municípios, a experiência da capacitação exercida pela equipe deste projeto foi mais além: permitiu, em primeiro lugar, a constatação de que a motivação para participar, inclusive na própria capacitação, não estava dada, e que encaminhamentos estratégicos teriam que ser acionados desde o início do processo para mobilizar, motivar e convencer os moradores das comunidades alvo a participarem de sua própria formação para a participação cidadã. Em outros termos, tornou-se evidente a necessidade de motivar para capacitar e, ao mesmo tempo, em um processo de mútua

fertilização, capacitar para possibilitar e igualmente incentivar a participação cidadã.

Vale destacar também que as experiências anteriores de participação cidadã, a exemplo das vivenciadas pelos moradores da APA da Costa Brava, podem explicar a maior motivação e mobilização de seus moradores para participarem das atividades desenvolvidas pelo Projeto de Extensão e, ao mesmo tempo, sua disposição para se manifestar, opinar e identificar suas demandas.

Por último, é necessário ainda salientar que as dificuldades evidenciadas ao longo do processo de capacitação levaram à adequação de algumas estratégias utilizadas, estendendo os tópicos tratados na capacitação para além da discussão sobre o PDBC, como delineado nos objetivos iniciais. Assim, levou-se o foco para as questões de participação popular por meio de estratégias de capacitação voltadas a “dar voz” aos moradores, no sentido de poderem manifestar suas dúvidas e inquietações sobre a problemática em discussão. Isso se materializou em discussões, durante os seminários de capacitação, sobre os canais de participação que o Estatuto da Cidade e suas resoluções garantem aos cidadãos.

Outra constatação foi a da carência de instâncias de discussão comunitária sobre os problemas do bairro e da cidade, que dependem fortemente de iniciativas de auto-organização que, muitas vezes, acabam prejudicadas por questões de tempo e disposição para viabilizar esses encontros. Consideramos importantes essas oportunidades porque através delas há uma troca de informações e percepções sobre a cidade que pode servir para criar consensos e dar base para ações de desenvolvimento a partir dos interesses da própria comunidade.

Tal constatação foi possível porque em alguns momentos os debates divergiam do que estava inicialmente programado, dando lugar a discussões sobre outros aspectos que, entretanto, também eram de interesse da comunidade. Por isso, essas digressões não eram interrompidas pelos moderadores. Ao contrário, observamos que elas propiciavam momentos interessantes de divulgação de informes, familiarização entre os moradores de localidades distintas e até mesmo esclarecimentos de situações de conflitos prévios entre os participantes.

No desenvolvimento deste trabalho de extensão

ficou evidente que a motivação para a participação é, portanto, parte intrínseca do processo em pauta, bem como a retro-alimentação de ambas, para que possam ser efetivadas propostas de capacitação para o controle social das ações públicas. Ao se aproximar do final deste percurso, notamos que ele teve o mérito de oportunizar o diálogo entre os atores sociais envolvidos, capacitar e motivar para a participação cidadã das comunidades na efetiva gestão democrática prevista na Política Nacional de Desenvolvimento Urbano.

BIBLIOGRAFIA

- Almeida, Carla; Lüchmann, Lígia; Helena, H. (2008) - Participação e controle social: marcos teóricos e desafios democráticos. In: Camilla Croso Silva e Denise Carreira (ed.), *Em Questão 5 – Participação e controle social na educação*, pp. 14 - 31, Ação Educativa, São Paulo, SP, Brasil. ISBN: 9788586382154.
- Avritzer, L. (2002) - Orçamento participativo: as experiências de Porto Alegre e Belo Horizonte. In: Evelina Dagnino (ed.), *Sociedade Civil e espaços públicos no Brasil*, pp.17-45, Editora Paz e Terra, São Paulo, SP, Brasil. ISBN: 8521904401.
- Barbour, Rosaline (2008) - *Grupos Focais*. 216p., Editora Artmed, Porto Alegre RS, Brasil. ISBN 9788536320540
- Bryman, A. (2004) - *Social Research Methods*. 608p. Oxford University Press, Oxford, UK. ISBN: 0199264465.
- Clark, Terry A. (2002) - *Project Management for Planners: a practical guide*. 138p., APA - Planners Press American Planning Association, Chicago, USA. ISBN: 978-1884829635.
- Creighton, James L (2005) - *The public Participation handbook: making better decisions through citizen involvement*. 288p., Jossey-Bass, San Francisco, CA, USA. ISBN: 978-0787973070.
- Denzin, Norman K.; Lincoln, Yvonna S. (eds.) (2005) - *Handbook of Qualitative Research*. 3ª ed., 1232p., Sage Publications, Inc., London, UK. ISBN: 9780761927570.
- Enerstvedt, Theodor Regi (1989) – The problem of validity in social science. In: Steinar Kvale (ed.), *Issues of Validity in Qualitative Research*, pp.135- 173, Editora Studentlitteratur, Lund, Suécia. ISBN: 914429112

- Faoro, Raimundo (1975). *Os donos do poder: formação do patronato político brasileiro*. 2ª Ed, 936p. Porto Alegre/São Paulo, Editora Globo/Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. ISBN: 9788525046147
- Flick, Uwe (2009) - *Desenho da Pesquisa Qualitativa*. 164p., Editora Artmed, Porto Alegre RS, Brasil. ISBN 8536320524
- Gibbs, Graham (2009) - *Análise de Dados Qualitativos*. 198p., Editora Artmed, Porto Alegre RS, Brasil. ISBN: 9788536320557.
- Grazia, Grazia de; Christiane Kelle Carvalho (coord.) (2006) - *Resoluções da 2ª Conferência Nacional das Cidades*. Brasília. 76p., Ministério das Cidades, Brasília, DF, Brasil. Disponível em <http://www.cidades.gov.br/conselho-das-cidades/biblioteca/publicacoes/Resolucoesda2ConferenciaNacionaldasCidades.pdf>
- Guaraná, Juliana; Fleury, Sônia (2008) - Gestão participativa como instrumento de inclusão democrática: o caso dos comitês gestores de bairro do Programa Nova Baixada. *RAE - Revista de Administração de Empresas*, 48(3):94-103, Fundação Getulio Vargas/ Escola de Administração de Empresas de São Paulo, SP, Brasil. ISSN: 0034-7590. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/rae/v48n3/a09v48n3.pdf>
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (s/d) — Santa Catarina (SC), Balneário Camboriú. In: Portal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, *Cidades@*, Brasília, Brasil. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1> (Menu > Santa Catarina > Balneário Camboriú), (acesso em Julho 2010).
- Kvale, Steinar (1996) - *An Introduction to Qualitative Research Interviewing*. 344p., Sage Publications, Inc., London, UK. ISBN: 978-0803958203.
- Martinez, M. (1999) - Critérios para la Superación Del Debate Metodológico “Cuantitativo/Cualitativo”. *Revista Interamericana de Psicología*, 33(1):79-107. ISSN: 0034-9690.
- Ministério do Desenvolvimento Social (s/d) – Instância de Controle Social (ICS). In: Portal do Ministério do Desenvolvimento Social, *Controle Social*, Brasília, Brasil. Disponível em <http://www.mds.gov.br/falemds/perguntas-frequentes/bolsa-familia/controle-social/gestor/controle-social> (Acesso em Setembro 2010).
- Morin, Edgar (1982) - *Ciência com Consciência*. 255p., trad. Maria Gabriela de Bragança, Publicações Europa-América, Lisboa, Portugal.
- Nogueira, Marco Aurélio (2004) – *Um Estado para a sociedade civil*. 264p., Editora Cortez, São Paulo, SP, Brasil. ISBN: 8524910348
- Nunes Leal, Victor (1997) - *Coronelismo, enxada e voto: o município e o sistema representativo no Brasil*. 6ª ed., 444p., Editora Nova Fronteira, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. ISBN: 8520908233
- Praxedes, Otávio (2007) - Ministério: 93% dos municípios fizeram Plano Diretor. In: Portal do Ministério das Cidades, *Notícias 2007*, Imprensa, Secretaria Nacional de Programas Urbanos, Brasília, Brasil. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/secretarias-nacionais/programas-urbanos/Imprensa/plano-diretor/noticias-2007/agosto/ministerio-93-dos-municipios-fizeram-plano-diretor/> (acesso em 18.09.2010).
- Rolnik, Raquel (coord.) (2002) - *Estatuto da Cidade: guia para implementação pelos municípios e cidadãos*. 2ª ed., 272p., Brasília: Câmara dos Deputados, Instituto Pólis/Laboratório de Desenvolvimento Local, Brasília, DF, Brasil. ISBN: 85-7365-168-7. Disponível em http://www.bage.rs.gov.br/pddua/estatuto/pddua_estatuto.pdf
- Saboya, Renato (2007) - *Concepção de um sistema de suporte à elaboração de planos diretores participativos*. 231p., Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.
- Santos, Boaventura de Souza (2003) - *Pela Mão de Alice: o social e o político na pós-modernidade*. 348p., Editora Cortez, São Paulo, SP, Brasil. ISBN: 8524905786.
- Tatagiba, Luciana (2002) - Os conselhos gestores e a democratização das políticas públicas no Brasil. In: Evelina Dagnino (ed.), *Sociedade Civil e espaços públicos no Brasil*, pp.47-103, Editora Paz e Terra, São Paulo, SP, Brasil. ISBN: 8521904401.

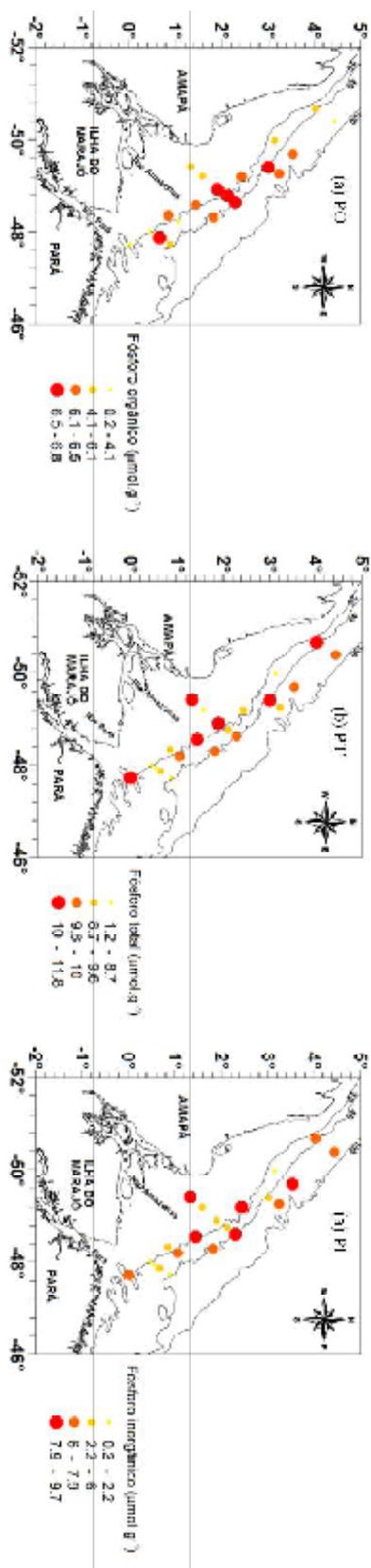


Figura 3: Distribuição de (a) fósforo orgânico ($\mu\text{mol.g}^{-1}$), (b) fósforo total ($\mu\text{mol.g}^{-1}$), e (c) fósforo inorgânico ($\mu\text{mol.g}^{-1}$) nos sedimentos superficiais da Plataforma Continental do Amazonas.
 Figure 3: Distribution of (a) organic phosphorus ($\mu\text{mol.g}^{-1}$), (b) total phosphorus ($\mu\text{mol.g}^{-1}$), and (c) inorganic phosphorus ($\mu\text{mol.g}^{-1}$) in surface sediments of the Amazon Continental Shelf.

Na camada sedimentar as frações de fósforo orgânico (55,6%) e fósforo inorgânico (44,4%) foram próximas, o que pode ser um indicativo de um maior aporte de fósforo orgânico para os sedimentos derivado da produção primária local.

4. CONCLUSÕES

As concentrações das formas de fósforo nos sedimentos superficiais da Plataforma Continental do Amazonas foram significativas, o que indica ser um estoque importante deste nutriente. Ressalta-se que na zona de mistura ocorre à entrada desse nutriente e a retenção no sedimento, representando uma reserva adicional para a produção primária.

Os valores percentuais médios para a fração do fósforo inorgânico e do fósforo orgânico foram próximas, indicativo que a produção da matéria orgânica na coluna de água deve favorecer o aporte da forma orgânica para o sedimento.

As concentrações de fósforo nos sedimentos da Plataforma Continental do Amazonas foram próximas a outros ambientes estuarinos tropicais.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). À tripulação do Navio Oceanográfico ANTARES (H40), pelo apoio e atenção recebidos no trabalho de campo, durante a Operação Norte III (1999) e a Operação Norte IV (2001). Ao Ministério da Defesa (MD)/ Marinha do Brasil (MB), à Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM), à Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN).

BIBLIOGRAFIA

- Aguiar, V.M. C.; Braga, E.S. (2007) - Seasonal and tidal variability of phosphorus along a salinity gradient in the heavily polluted estuarine system of Santos/S. Vicente-São Paulo, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 54(4): 464-471. doi:10.1016/j.marpolbul.2006.11.001
- Andersen, J.M. (1976) - In ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments – *Water Research*, 10(4):329-331. doi:10.1016/0043-1354(76)90175-5.

- Barcellos, R.L.; Berbel, G.B.B.; Braga, E.S.; Furtado, V.V. (2005) - Distribuição e características do fósforo sedimentar no Sistema Estuarino Lagunar de Cananéia – Iguape, Estado de São Paulo, Brasil. *Geochimica Brasiliense*, 19(1):22-36. Disponível em <http://www.sbgq.org.br/arquivos/art10025.pdf>.
- Berner, R.A.; Rao, J.L. (1994) - Phosphorus in sediments of the Amazon River and estuary: Implications for the global flux of phosphorus to the sea. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58(10):2333-2339. doi:10.1016/0016-7037(94)90014-0
- Brephol, D.C. (2000) - *Fósforo: intercâmbio entre a água e o sedimento de uma enseada rasa estuarina com aporte antrópico no estuário da Lagoa dos Patos (RS-Brasil)*. 120 p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Rio Grande, RG, Brasil. (Não publicado).
- Castro, B.M.; Miranda, L.B. (1998) - Physical oceanography of the western Atlantic Continental shelf located between 4°N and 34°S coastal segment (4,W). In: Robinson A.R. & Brink K.H. (eds.), *The Sea*, pp. 209–251, John Wiley & Sons, New York, NY, USA. ISBN: 0471115444
- Chester, R. (1990) - *Marine Geochemistry*. 698 p., Unwin Hyman, London, U.K. ISBN: 004551108X; 0045511098.
- Curtin, T.B.; Legeckis, R.V. (1986) - Physical observation in the plume region of the Amazon River during peak discharge- I. Surface variability, *Continental Shelf Research*, 6 (1/2):31-51. doi:10.1016/0278-4343(86)90052-X
- Delaney, M. L. (1998) - Phosphorus accumulation in marine sediments and the oceanic phosphorus cycle. *Global Biogeochemical Cycles*, 12(4):562- 572. doi:10.1029/98GB02263
- Figueiredo Jr., A.G. & Brehme, I. (2000) - Amostragem geológica na pesquisa mineral. *Revista Brasileira de Geofísica*, 18(3):260 - 280 doi: 10.1590/S0102-261X2000000300006.
- Fox, L. E. (1989) - A model for inorganic control of phosphate concentration in river waters, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53(2):417-428. doi:10.1016/0016-7037(89)90393-1.
- Fox, L.E.; Sager, S.L.; Wofsy, S. (1986) - The chemical control of soluble phosphorus in the Amazon estuary, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 50(5):783-794. doi:10.1016/0016-7037(86)90354-6.
- Geyer, W.R. (1995) - Tide-induced mixing in the Amazon frontal zone, *Journal of Geophysical Research*, 100(C2):2341-2353. doi:10.1029/94JC02543.
- Geyer, R.W.; Kineke, G.C. (1995) - Observations of currents and water properties in the Amazon frontal zone, *Journal of Geophysical Research*, 100(C2):2321-2339. doi:10.1029/94JC02657.
- Geyer, W.R.; Beardsley, R.C.; Lentz, S.J.; Candela, J.; Limeburner, R.; Johns, W.E.; Castro, B.M.; Soares, I.V. (1996) - Physical oceanography of the Amazon shelf. *Continental Shelf Research*, 16(5/6):575-616. doi:10.1016/0278-4343(95)00051-8.
- Gibbs, R.J. (1976) - Amazon river sediment transport in the Atlantic Ocean - *Geology*, 4(1):45-48. doi: 10.1130/G01130.1
- Grobbelaar, J.U. & House, W.A. (1995) - Phosphorus as a limiting resource in inland waters: interactions with nitrogen. In: Tiessen, H. (ed.), *Phosphorus in the global environment: transfers, cycles and management executive summary*, pp. 255–274, J. Wiley and Sons, New York, NY, USA. Disponível em <http://www.icsu-scope.org/downloadpubs/scope54/16grobbelaar.htm>.
- Howarth, R. W., Jensen, H.S., Marino, R. & Postma, H. (1995) - Transport to and processing of P in near-shore and oceanic waters. In: Tiessen, H. (ed.), *Phosphorus in the global environment: transfers, cycles and management executive summary*, pp. 323– 46, J. Wiley and Sons, New York, NY, USA. Disponível em <http://www.icsu-scope.org/downloadpubs/scope54/19howarth.htm>.
- Melack, J. (1995) - Transport and transformations of P, fluvial and lacustrine ecosystems. In: Tiessen, H. (ed.), *Phosphorus in the global environment: transfers, cycles and management executive summary*. pp. 245–254, J. Wiley and Sons, New York, NY, USA. Disponível em <http://www.icsu-scope.org/downloadpubs/scope54/15melack.htm>.
- Muller-Karger, F.E.; McClain, C.R.; Richardson, P.L. (1988) - The dispersal of the Amazon's waters, *Nature*, 333 (5 May 1988):56-69. doi:10.1038/333056a0.
- Nittrouer, C.A.; DeMaster, D.J. (1986) - Sedimentary processes on the Amazon continental processes

- on the Amazon continental shelf: past, present and future research. *Continental Shelf Research*, 6(1/2):5-30. doi:10.1016/0278-4343(86)90051-8.
- Nittrouer, C.A. & DeMaster, D.J. (1996) - The Amazon shelf setting: tropical, energetic, and influenced by a large river. *Continental Shelf Research*, 16(5-6):553-573. doi:10.1016/0278-4343(95)00069-0.
- Nittrouer, C.A.; DeMaster, D.J.; Figueiredo, A.G.; Rine, J.M. (1991) - AMASSEDS: an interdisciplinary investigation of a complex coastal environment. *Oceanography*, 4(1):3-7. Disponível em http://www.tos.org/oceanography/issues/issue_archive/issue_pdfs/4_1/4.1_nittrouer_et_al.pdf.
- Protazio, L.; Tanaka, S.M.C.N.; Cavalcante, P.R.S. (2004) - Avaliação de procedimentos de extração sequencial de fósforo em sedimento, *Revista Analytica*, 8:35-41. Disponível em http://www.revistaanalytica.com.br/ed_anteriores/08/8_Art_Fosforo.pdf.
- Ruttenberg, K.C.; Goni, M.A. (1997) - Phosphorus distribution, C:N:P ratios, and $\delta^{13}C$ in Arctic, temperate and tropical coastal sediments: tools for characterizing bulk sedimentary organic matter. *Marine Geology*, 139(1-4):123-145. doi:10.1016/S0025-3227(96)00107-7.
- Santos, M.L.S., Muniz, K.; Neto, B.B.; Feitosa, F.A.N. (2007) - Estudo das diferentes formas de fósforo nas águas da Plataforma Continental do Amazonas- *Química Nova*, 30(3):569-573. doi:10.1590/S0100-40422007000300012.
- Silva, M.G.L. (1998) - *Caracterização morfológica da cobertura sedimentar da plataforma continental do Amazonas, Norte-Brasil*. 112 p, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil. (Não publicado)



Avaliação das Formas de Fósforo nos Sedimentos Superficiais da Plataforma Continental do Rio Amazonas *

Evaluation Forms of Phosphorus in Surface Sediments of the Continental Shelf of the Amazon River

Maria de Lourdes Souza Santos ^{@,1}, André Luis de Lima Saraiva ²,
Ismaily Bastos Delfino ³, Leny da Conceição Antunes ⁴, Rosa Maria Matos Batista ⁴,
Igor Charles Castor Alves ⁵

RESUMO

O fósforo transportado através das águas dos rios para os oceanos passa pelos estuários onde consideráveis processos ocorrem, e alteram a disponibilidade biológica e o fluxo do fósforo para a área costeira e oceânica. Por outro lado, a mistura da água do rio com a água do mar nos estuários cria algumas características químicas únicas, e ocorrem processos consideráveis que alteram sua disponibilidade e afetam a adsorção do fosfato inorgânico nas partículas. Na região Norte do Brasil localiza-se a maior zona estuarina do mundo formada pela descarga do rio Amazonas na sua desembocadura. Amostras de sedimentos foram coletadas a bordo do Navio Oceanográfico “ANTARES” da Marinha do Brasil. A distribuição do fósforo orgânico na camada sedimentar superficial mostra as maiores concentrações próxima da costa. Essa distribuição na camada sedimentar também foi verificada para o fósforo inorgânico e fósforo total. As concentrações das formas de fósforo nos sedimentos superficiais da Plataforma Continental do Amazonas foram significativas, o que indica ser um estoque importante deste nutriente. Ressalta-se que na zona de mistura ocorre à entrada desse nutriente e a retenção no sedimento, representando uma reserva adicional para a produção primária. Os valores percentuais médios para a fração do fósforo inorgânico e do fósforo orgânico foram próximos, indicativo que a produção da matéria orgânica na coluna de água deve favorecer o aporte da forma orgânica para o sedimento.

Palavras-chaves: fósforo, sedimento, Amazonas.

@ Autor correspondente: mdelsantos@yahoo.com.br

1 Universidade Federal Rural da Amazônia, Instituto Sócio Ambiental e dos Recursos Hídricos, Av. Tancredo Neves, 2501. 66077-530. Belém, PA, Brasil.

2 Universidade Federal do Pará, Instituto Tecnológico, Av. Augusto Corrêa, nº 01, 66075-110. Belém, PA, Brasil.

3 Escola Superior da Amazônia. Av. José Bonifácio, nº 893, 66063-010. Belém, PA, Brasil.

4 Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia de Pesca, Campus Universitário de Bragança, Alameda Leandro Ribeiro s/n, 68600-000 Bragança, PA, Brasil.

5 Universidade Federal do Pará, Programa de Pós Graduação em Geologia e Geoquímica, Av. Augusto Corrêa, nº 01, 66075-110. Belém, PA, Brasil

* Submissão – 22 Maio 2010; Avaliação – 7 Julho 2010; Recepção da versão revista – 21 Outubro 2010; Disponibilização on-line – 24 Novembro 2010

ABSTRACT

Phosphorus is essential to life due its role in the structural constitution of animals and plants, as well as for its metabolism working. This element is transported to the oceans through the waters of rivers, however, passes through estuarine areas where there are significant processes that affect their availability. In the northern region of Brazil is located the largest estuarine area of the world formed by the discharge of the Amazon River at its mouth. Sediment samples were collected aboard the oceanographic vessel "ANTARES" Navy of Brazil. The distribution of organic phosphorus in the surface sediment layer shows the highest concentrations near the coast. This distribution in the sediment layer was also observed for the inorganic phosphorus and total phosphorus. The concentrations of the forms of phosphorus in surface sediments of the Amazon Continental Shelf were significant, which indicate the important stock of this nutrient. It is noteworthy that the mixing zone occurs at the entrance of this nutrient and sediment retention, representing an additional reserve for primary production. The mean percentage value for the fraction of inorganic phosphorus and organic phosphorus were close, indicating that production of organic matter in the water column should encourage the intake of organic form to the sediment.

Keywords: phosphorus, sediment, Amazon.

1. INTRODUÇÃO

Os rios são as principais fontes de fósforo para os oceanos. A quantidade de fósforo inorgânico dissolvido introduzido nos oceanos oscila de 3×10 a 15×10 mol por ano aproximadamente (Delaney, 1998). O fósforo transportado através das águas dos rios para os oceanos passa pelos estuários onde consideráveis processos ocorrem, alterando a disponibilidade biológica e o fluxo do fósforo para a área costeira e oceânica. O fósforo é assimilado pelo fitoplâncton, bactérias e plantas bênticas, e é remineralizado por atividades heterotróficas dos animais e microorganismos, em processos biológicos essencialmente idênticos aos dos lagos (Grobbelaar & House, 1995; Melack, 1995). Por outro lado, a mistura da água do rio com a água do mar nos estuários cria algumas características químicas únicas, que afetam a adsorção do fosfato inorgânico nas partículas (Howarth *et al.*, 1995).

A maior zona estuarina do mundo é formada pela descarga do rio Amazonas na sua desembocadura, da ordem de $1 \text{ trilhão m}^3 \text{ ano}^{-1}$ (Nittrouer *et al.*, 1991). Cerca de 16% da água doce e 10% dos sedimentos lançados anualmente nas águas do Oceano Atlântico são oriundas do rio Amazonas, cuja descarga máxima ocorre nos meses de maio e junho, e a mínima em outubro e novembro (Müller-Karger *et al.*, 1988).

Berner & Rao (1994) destacaram a importância do estudo do fósforo transportado pelo rio Amazonas para o oceano. Fox *et al.* (1986), Fox (1989), Berner & Rao (1994) examinaram a sistemática do fosfato no

rio Amazonas, e concluíram que 50% do fosfato liberado para o oceano a partir desse rio é resultado da dissociação dos sedimentos em suspensão.

O fósforo é principalmente transportado nas frações de fósforo dissolvido e particulado, e como formas orgânicas (compostos orgânicos fosfatases, fosfolipídios, etc.) adsorvidos a agregados orgânicos e a organismos vivos e inorgânicas (predominantemente íons ortofosfatos, FeHPO_4^+ , $\text{CaH}_2\text{PO}_4^+$) adsorvidos a agregados inorgânicos e aos minerais, como apatita (Chester, 1990). O sedimento constitui um compartimento de suma importância na avaliação da intensidade e formas de impactos a que os ecossistemas aquáticos estão ou estiveram submetidos, pois realizam constantes trocas de nutrientes e outras substâncias poluentes ou não com a coluna d'água. O fracionamento químico do fósforo em sedimentos fornece importantes informações sobre o comportamento geoquímico e a disponibilidade biológica deste nutriente, portanto, é importante a determinação da relação entre a composição do sedimento e o fosfato a ele ligado, para avaliar o potencial deste compartimento em liberar fósforo para a fase aquosa (Protazio *et al.*, 2004).

Santos *et al.* (2007) descreveram que o fósforo orgânico dissolvido representa uma pequena fração da forma total dissolvida na coluna de água, na Plataforma Continental do Amazonas, e o fósforo total particulado uma fração importante desse elemento, principalmente pela liberação para forma de fosfato.

Amostras de sedimentos obtidas durante a Operação Norte IV, realizada dentro do âmbito do Programa Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva – REVIZEE, na Plataforma Continental do Amazonas, foram utilizadas no presente trabalho, que teve por objetivo determinar a concentração das formas de fósforo (fósforo total, fósforo inorgânico e do fósforo orgânico) nesse compartimento, além de relacionar com as informações obtidas por Santos *et al.* (2007) na coluna de água (salinidade, pH e material em suspensão).

O conhecimento da distribuição dessas formas de fósforo nos sedimentos da Plataforma Continental do Amazonas é de grande relevância devido à imensa descarga de água doce e de sedimento transportados do rio Amazonas para a área costeira, o que provoca um intenso dinamismo na reatividade desse elemento essencial à vida marinha.

2. MATERIAL E MÉTODOS

DESCRIÇÃO DA ÁREA

A Plataforma Continental do Amazonas (figura 1) situa-se entre o estuário do rio Pará e o Cabo Orange, e a isóbata de 100 m delimita a quebra dessa plataforma (Nittrouer & DeMaster, 1986). A largura varia consideravelmente ao longo de sua extensão e, aumenta em direção à desembocadura do rio Amazonas, onde alcança 320 km, e então diminui em direção ao norte, medindo 210 km em frente ao Cabo Norte e 125 km junto ao Cabo Orange (Castro & Miranda, 1998).

Essa plataforma apresenta três subdivisões: (i) Plataforma Continental Interna, com gradiente de 1:4.000, compartimentada entre a linha de costa e a isóbata de 20 m; (ii) Plataforma Continental Intermediária, representando a porção mais inclinada, com um gradiente de 1:400, situada entre as isóbatas de 20 m e 40 m; e (iii) Plataforma Continental Externa, localizada entre as isóbatas de 40 m e 80 m, com um gradiente de 1:2.000 (Silva, 1998).

A Plataforma Continental Interna é constituída predominantemente por sedimentos finos, silte, silte-argiloso e argila siltica, a Plataforma Continental Intermediária é formada por sedimentos siltosos, com uma pequena predominância de material siltico/arenoso, mas com variações, como argila/siltica, silte/argiloso, silte e silte/arenoso (Silva, 1998).

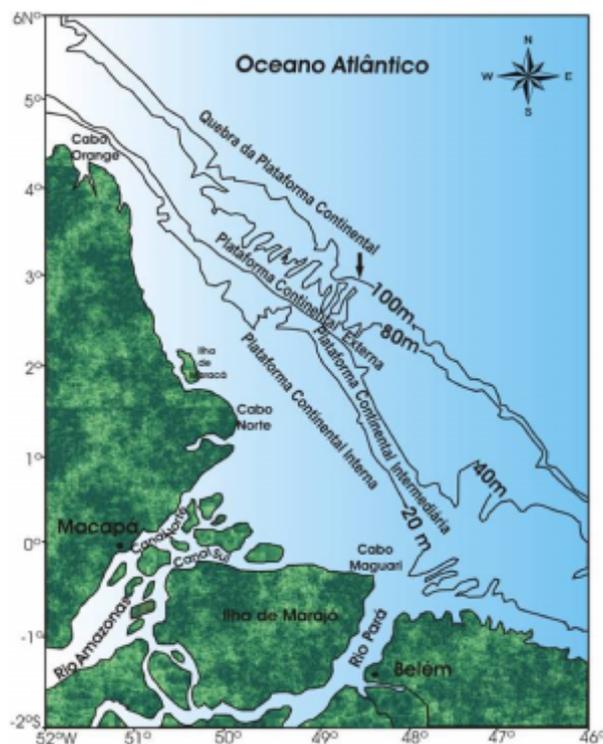


Figura 1: Plataforma Continental do Amazonas (Santos *et al.*, 2007).

Figure 1: Amazon Continental Shelf (Santos *et al.*, 2007).

A porção externa da plataforma retrata a predominância de areias e material siltooso, com alguma argila associada. A presença deste material é justificada, nos períodos de maior descarga do rio, e é relacionada aos processos de circulação das águas oceânicas, que podem dispersar os sedimentos mais finos em suspensão por longas distâncias (Kowsman & Costa *apud* Silva, 1998).

A circulação estuarina na plataforma ocasiona um transporte de sedimento nas águas superficiais em direção ao mar aberto, e um retorno à costa nas águas de fundo. Altas concentrações de material em suspensão estendem-se ao longo da costa em direção ao noroeste e a observação de muita lama na costa das Guianas sugere que os sedimentos do Amazonas são advectados em direção noroeste (Gibbs, 1976).

Os processos oceânicos operantes na Plataforma Continental do Amazonas são resultantes da superposição de características dominantes: localização latitudinal próximo ao equador; grande

energia física gerada a partir das marés, corrente oceânicas e enorme descarga de água e sedimentar provenientes do rio Amazonas (Nittrouer & DeMaster, 1996).

As correntes de maré no estuário do Amazonas e em suas cercanias podem exceder a 250 cm.s^{-1} . As marés influenciam diretamente na mistura da coluna d'água próximo à região litorânea, favorecendo as misturas de salinidade na Plataforma Continental adjacente, principalmente na maré baixa (Geyer *et al.*, 1996). O ciclo quinzenal da maré (sizígia e quadratura) e a variação sazonal da vazão fluvial influenciam a localização e as variações da frente salina (Geyer & Kineke, 1995). Geyer (1995) caracterizou a circulação sobre a plataforma como típica de estuários de cunha salina nas quadraturas e de estuários bem misturados nas sizíguas.

A Corrente Norte do Brasil flui entre 100 e 200 km de extensão e 500 m de profundidade, com variabilidade sazonal e transporte na ordem de 10 a 30 Sv (Nittrouer & DeMaster, 1996). De acordo com Nittrouer *et al.* (1991), esta corrente sofre retroflexão no período de maio a outubro, e transporta a pluma do rio Amazonas para leste, fato também observado por Curtin & Legeckis (1986) por de imagens de satélites.

Amostras de sedimentos foram coletadas com amostrador do tipo Van-Veen ou Box Core, descritos em Figueiredo Jr. & Brehme (2000), em 21 estações oceanográficas (figura 2), no período de 01 a 30 de agosto de 2001, a bordo do Navio Oceanográfico "ANTARES" da Marinha do Brasil. O sedimento foi acondicionado em sacos plásticos e mantido resfriado à 4°C até chegada em laboratório, onde o sedimento passou por uma triagem, para a retirada de partículas (pedras, folhas e conchas) e foi colocado em estufa a 150°C por 72h para secar. Depois de secas, as amostras foram transferidas para um dessecador até atingir a temperatura ambiente, em seguida o sedimento foi macerado em almofariz para a sua homogeneização total e passado por uma peneira de nylon de 1 mm de abertura, para remover as partículas mais grosseiras e fragmentos macroscópicos orgânicos, a fim de normalizar o efeito de granulometria dos sedimentos sobre os teores de fósforo.

As análises das formas de fósforo foram feitas em triplicatas. Para obtenção da concentração das formas de fósforo as análises foram realizadas no Laboratório de Qualidade de Água, da Universidade Federal do Pará.

A metodologia adotada para análise das formas de

fósforo foi de acordo com exposto em Protazio *et al.* (2004), para fósforo total e fósforo orgânico os métodos foram o de Andersen (1976) e de Williams, respectivamente. A concentração de fósforo inorgânico foi obtida por diferença entre a concentração de fósforo total e a de fósforo orgânico. A leitura foi realizada em um espectrofotômetro da marca HACH, modelo DR2800.

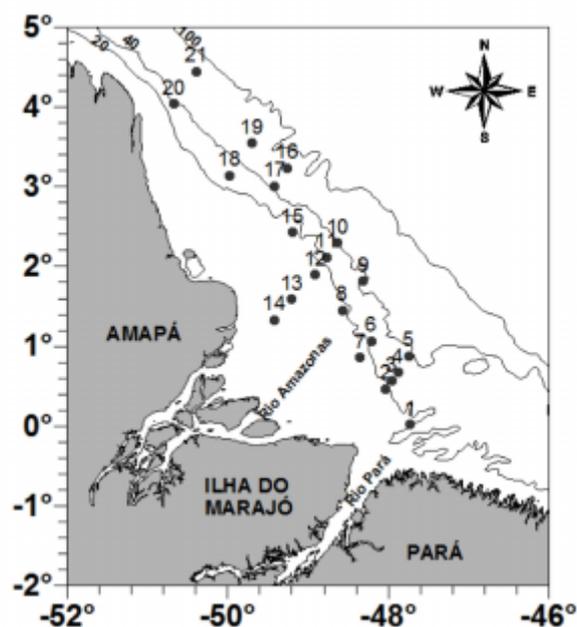


Figura 2: Mapa da área de estudo, mostrando as estações de coleta durante a Operação Norte IV (Programa REVIZEE).

Figure 2: Map of the study area, showing the stations sampled during Operation North IV (Brazilian REVIZEE Program).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No estuário do rio Amazonas o fósforo solúvel é controlado pelo balanço entre o aporte fluvial, a liberação a partir do sedimento em suspensão, a remoção em regiões de baixa salinidade e a diluição com a água do mar com baixa concentração desse elemento (Fox *et al.*, 1986).

O fósforo nos estuários pode estar relacionado a um mecanismo de tamponamento no sedimento, de forma que a sua concentração permanece

relativamente estável apesar de mudanças de salinidade. Os processos de adsorção/dessorção são responsáveis por este mecanismo, os quais são influenciados pela salinidade, pH e concentração do fosfato. A faixa ótima de pH para que ocorra a adsorção de fosfato nos sedimentos se situa entre 3 e 7. Devido às misturas de água doce ($\text{pH} < 8$) e salgada ($8,0 < \text{pH} < 8,2$) que ocorrem nos estuários, a eficiência da remoção será maior na porção menos salina do estuário (Santos *et al.*, 2007). Para um pH fixo, conforme Brepohl (2000) e Braga *apud* Aguiar & Braga (2007), o aumento de salinidade provoca a diminuição da adsorção do fosfato no sedimento.

Durante a Operação Norte IV, na área em estudo, os valores alcalinos do pH foram descritos por Santos *et al.* (2007) em toda a coluna de água, com valores das medianas próximos nas camadas eufótica (7,74) e afótica (7,72), e com a influência das águas oriundas do rio Amazonas na distribuição do fosfato, fósforo orgânico dissolvido e fósforo total particulado na coluna de água, com as maiores concentrações localizadas nas estações próximas à costa e uma diminuição em direção ao mar aberto, indicando o equilíbrio entre os processos de adsorção e dessorção.

Santos *et al.* (2007) descreveram que a área da Plataforma Continental do Amazonas não se encontra impactada pelas diferentes formas de fósforo (fosfato, fósforo orgânico dissolvido, fósforo total particulado), na coluna de água. Segundo esses autores o fósforo orgânico dissolvido representou uma pequena fração da forma total dissolvida na coluna de água e o fósforo total particulado, uma fração importante desse elemento, devido principalmente à liberação para a forma de fosfato.

Na camada sedimentar superficial a concentração de fósforo orgânico oscilou de $0,2 \mu\text{mol.g}^{-1}$ a $6,8 \mu\text{mol.g}^{-1}$, valores obtidos na plataforma intermediária e externa, respectivamente (tabela 1). Ao comparar com o trabalho de Ruttenberg & Goni (1997) para a área em estudo ($9,1 \mu\text{mol.g}^{-1}$), e de Barcellos *et al.* (2005) para o Sistema estuarino de Cananéia-SP (detectaram valores entre $0,5 \mu\text{mol.g}^{-1}$ a $15,1 \mu\text{mol.g}^{-1}$) observa-se que os valores obtidos para essa forma de fósforo estão dentro do esperado.

Com relação ao fósforo inorgânico o valor mínimo ($0,2 \mu\text{mol.g}^{-1}$) e o máximo ($9,7 \mu\text{mol.g}^{-1}$) foram detectados na plataforma interna. Para o fósforo total

esses valores foram verificados na plataforma intermediária (mínimo de $1,2 \mu\text{mol.g}^{-1}$ e máximo de $11,8 \mu\text{mol.g}^{-1}$, tabela 1).

Tabela 1: Número de dados (N), mínimo, máximo, média e desvio padrão (DP) do fósforo total (PT em $\mu\text{mol.g}^{-1}$), fósforo orgânico (PO em $\mu\text{mol.g}^{-1}$), e fósforo inorgânico (PI em $\mu\text{mol.g}^{-1}$), obtidos na plataforma interna, intermediária e externa da Plataforma Continental do Amazonas.

Table 1: Number of data (N), minimum, maximum, mean and standard deviation (SD) of total phosphorus (PT in $\mu\text{mol.g}^{-1}$), organic phosphorus (PO in $\mu\text{mol.g}^{-1}$) and inorganic phosphorus (PI in $\mu\text{mol.g}^{-1}$), obtained in the inner shelf, middle and outer Continental Shelf Amazon.

Plataforma		PT ($\mu\text{mol.g}^{-1}$)	PO ($\mu\text{mol.g}^{-1}$)	PI ($\mu\text{mol.g}^{-1}$)
Interna	N	7	7	7
	Mínimo	1,5	1,2	0,2
	Máximo	10,8	6,6	9,7
	Média ± DP	7,9±3,5	5,0±2,1	5,3±3,7
Intermediária	N	8	8	8
	Mínimo	1,2	0,2	1,0
	Máximo	11,8	6,7	6,5
	Média ± DP	8,1±3,3	4,7±2,1	3,5±2,4
Externa	N	6	6	6
	Mínimo	9,4	3,2	4,2
	Máximo	11	6,8	9,2
	Média ± DP	9,9±0,5	5,9±1,35	7,2±1,7

Os valores obtidos para essas formas de fósforo ficaram abaixo aos de Barcellos *et al.* (2005) que detectou valor médio de fósforo inorgânico de $7,14 \mu\text{mol.g}^{-1}$ e de fósforo total de $11,5 \mu\text{mol.g}^{-1}$, e ao descrito por Ruttenberg & Goni (1997) para a área em estudo (média de fósforo inorgânico de $11,5 \mu\text{mol.g}^{-1}$ e de fósforo total de $20,6 \mu\text{mol.g}^{-1}$), o que pode ser relacionado ao período da coleta.

A distribuição dessas formas de fósforo na camada sedimentar superficial da plataforma não apresentou um padrão (figura 3a, 3b e 3c). Porém, foi possível observar os maiores valores de média na plataforma externa para as três formas estudadas (tabela 1), o que pode ser relacionado a uma menor dinâmica existente nesse local.

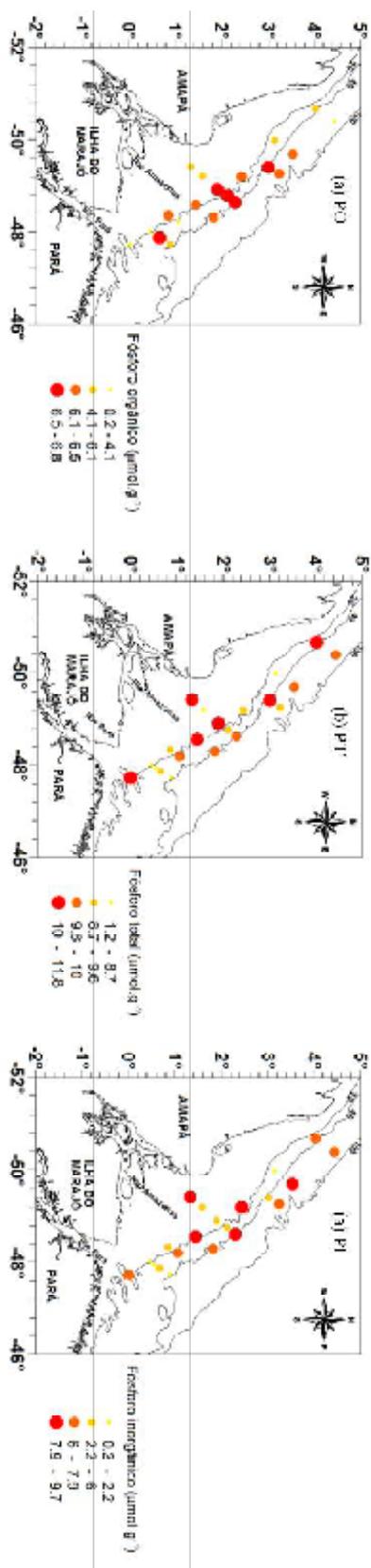


Figura 3: Distribuição de (a) fósforo orgânico ($\mu\text{mol.g}^{-1}$), (b) fósforo total ($\mu\text{mol.g}^{-1}$), e (c) fósforo inorgânico ($\mu\text{mol.g}^{-1}$) nos sedimentos superficiais da Plataforma Continental do Amazonas.
 Figure 3: Distribution of (a) organic phosphorus ($\mu\text{mol.g}^{-1}$), (b) total phosphorus ($\mu\text{mol.g}^{-1}$), and (c) inorganic phosphorus ($\mu\text{mol.g}^{-1}$) in surface sediments of the Amazon Continental Shelf.

Na camada sedimentar as frações de fósforo orgânico (55,6%) e fósforo inorgânico (44,4%) foram próximas, o que pode ser um indicativo de um maior aporte de fósforo orgânico para os sedimentos derivado da produção primária local.

4. CONCLUSÕES

As concentrações das formas de fósforo nos sedimentos superficiais da Plataforma Continental do Amazonas foram significativas, o que indica ser um estoque importante deste nutriente. Ressalta-se que na zona de mistura ocorre à entrada desse nutriente e a retenção no sedimento, representando uma reserva adicional para a produção primária.

Os valores percentuais médios para a fração do fósforo inorgânico e do fósforo orgânico foram próximas, indicativo que a produção da matéria orgânica na coluna de água deve favorecer o aporte da forma orgânica para o sedimento.

As concentrações de fósforo nos sedimentos da Plataforma Continental do Amazonas foram próximas a outros ambientes estuarinos tropicais.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). À tripulação do Navio Oceanográfico ANTARES (H40), pelo apoio e atenção recebidos no trabalho de campo, durante a Operação Norte III (1999) e a Operação Norte IV (2001). Ao Ministério da Defesa (MD)/ Marinha do Brasil (MB), à Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM), à Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN).

BIBLIOGRAFIA

- Aguiar, V.M. C.; Braga, E.S. (2007) - Seasonal and tidal variability of phosphorus along a salinity gradient in the heavily polluted estuarine system of Santos/S. Vicente-São Paulo, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 54(4): 464-471. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.11.001>
- Andersen, J.M. (1976) - In ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments – *Water Research*, 10(4):329-331. [http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354\(76\)90175-5](http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354(76)90175-5).

- Barcellos, R.L.; Berbel, G.B.B.; Braga, E.S.; Furtado, V.V. (2005) - Distribuição e características do fósforo sedimentar no Sistema Estuarino Lagunar de Cananéia – Iguape, Estado de São Paulo, Brasil. *Geochimica Brasiliense*, 19(1):22-36. Disponível em <http://www.sbgq.org.br/arquivos/art10025.pdf>.
- Berner, R.A.; Rao, J.L. (1994) - Phosphorus in sediments of the Amazon River and estuary: Implications for the global flux of phosphorus to the sea. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58(10):2333-2339. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037\(94\)90014-0](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037(94)90014-0)
- Brephol, D.C. (2000) - *Fósforo: intercâmbio entre a água e o sedimento de uma enseada rasa estuarina com aporte antrópico no estuário da Lagoa dos Patos (RS-Brasil)*. 120 p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Rio Grande, RG, Brasil. (Não publicado).
- Castro, B.M.; Miranda, L.B. (1998) - Physical oceanography of the western Atlantic Continental shelf located between 4°N and 34°S coastal segment (4,W). In: Robinson A.R. & Brink K.H. (eds.), *The Sea*, pp. 209–251, John Wiley & Sons, New York, NY, USA. ISBN: 0471115444
- Chester, R. (1990) - *Marine Geochemistry*. 698 p., Unwin Hyman, London, U.K. ISBN: 004551108X; 0045511098.
- Curtin, T.B.; Legeckis, R.V. (1986) - Physical observation in the plume region of the Amazon River during peak discharge- I. Surface variability, *Continental Shelf Research*, 6 (1/2):31-51. [http://dx.doi.org/10.1016/0278-4343\(86\)90052-X](http://dx.doi.org/10.1016/0278-4343(86)90052-X)
- Delaney, M. L. (1998) - Phosphorus accumulation in marine sediments and the oceanic phosphorus cycle. *Global Biogeochemical Cycles*, 12(4):562- 572. <http://dx.doi.org/10.1029/98GB02263>
- Figueiredo Jr., A.G. & Brehme, I. (2000) - Amostragem geológica na pesquisa mineral. *Revista Brasileira de Geofísica*, 18(3):260 - 280 <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-261X2000000300006>.
- Fox, L. E. (1989) - A model for inorganic control of phosphate concentration in river waters, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53(2):417-428. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037\(89\)90393-1](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037(89)90393-1).
- Fox, L.E.; Sager, S.L.; Wofsy, S. (1986) - The chemical control of soluble phosphorus in the Amazon estuary, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 50(5):783-794. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037\(86\)90354-6](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037(86)90354-6).
- Geyer, W.R. (1995) - Tide-induced mixing in the Amazon frontal zone, *Journal of Geophysical Research*, 100(C2):2341-2353. <http://dx.doi.org/10.1029/94JC02543>.
- Geyer, R.W.; Kineke, G.C. (1995) - Observations of currents and water properties in the Amazon frontal zone, *Journal of Geophysical Research*, 100(C2):2321-2339. <http://dx.doi.org/10.1029/94JC02657>.
- Geyer, W.R.; Beardsley, R.C.; Lentz, S.J.; Candela, J.; Limeburner, R.; Johns, W.E.; Castro, B.M.; Soares, I.V. (1996) - Physical oceanography of the Amazon shelf. *Continental Shelf Research*, 16(5/6):575-616. [http://dx.doi.org/10.1016/0278-4343\(95\)00051-8](http://dx.doi.org/10.1016/0278-4343(95)00051-8).
- Gibbs, R.J. (1976) - Amazon river sediment transport in the Atlantic Ocean - *Geology*, 4(1):45-48. [http://dx.doi.org/10.1130/0091-7613\(1976\)4<45:ARSTTT>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0091-7613(1976)4<45:ARSTTT>2.0.CO;2).
- Grobbelaar, J.U. & House, W.A. (1995) - Phosphorus as a limiting resource in inland waters: interactions with nitrogen. In: Tiessen, H. (ed.), *Phosphorus in the global environment: transfers, cycles and management executive summary*, pp. 255–274, J. Wiley and Sons, New York, NY, USA. Disponível em <http://www.icsu-scope.org/downloadpubs/scope54/16grobbelaar.htm>.
- Howarth, R. W., Jensen, H.S., Marino, R. & Postma, H. (1995) - Transport to and processing of P in near-shore and oceanic waters. In: Tiessen, H. (ed.), *Phosphorus in the global environment: transfers, cycles and management executive summary*, pp. 323– 46, J. Wiley and Sons, New York, NY, USA. Disponível em <http://www.icsu-scope.org/downloadpubs/scope54/19howarth.htm>.
- Melack, J. (1995) - Transport and transformations of P, fluvial and lacustrine ecosystems. In: Tiessen, H. (ed.), *Phosphorus in the global environment: transfers, cycles and management executive summary*. pp. 245–254, J. Wiley and Sons, New York, NY, USA. Disponível em <http://www.icsu-scope.org/downloadpubs/scope54/15melack.htm>.
- Muller-Karger, F.E.; McClain, C.R.; Richardson, P.L. (1988) - The dispersal of the Amazon's waters, *Nature*, 333 (5 May 1988):56-69. <http://dx.doi.org/10.1038/333056a0>.

- Nittrouer, C.A.; DeMaster, D.J. (1986) - Sedimentary processes on the Amazon continental processes on the Amazon continental shelf: past, present and future research. *Continental Shelf Research*, 6(1/2):5-30. [http://dx.doi.org/10.1016/0278-4343\(86\)90051-8](http://dx.doi.org/10.1016/0278-4343(86)90051-8).
- Nittrouer, C.A. & DeMaster, D.J. (1996) - The Amazon shelf setting: tropical, energetic, and influenced by a large river. *Continental Shelf Research*, 16(5-6):553-573. [http://dx.doi.org/10.1016/0278-4343\(95\)00069-0](http://dx.doi.org/10.1016/0278-4343(95)00069-0).
- Nittrouer, C.A.; DeMaster, D.J.; Figueiredo, A.G.; Rine, J.M. (1991) - AMASSEDS: an interdisciplinary investigation of a complex coastal environment. *Oceanography*, 4(1):3-7. Disponível em http://www.tos.org/oceanography/issues/issue_archive/issue_pdfs/4_1/4.1_nittrouer_et_al.pdf.
- Protazio, L.; Tanaka, S.M.C.N.; Cavalcante, P.R.S. (2004) - Avaliação de procedimentos de extração seqüencial de fósforo em sedimento, *Revista Analytica*, 8:35-41. Disponível em http://www.revistaanalytica.com.br/ed_anteriores/08/8_Art_Fosforo.pdf.
- Ruttenberg, K.C.; Goni, M.A. (1997) - Phosphorus distribution, C:N:P ratios, and d13C in Arctic, temperate and tropical coastal sediments: tools for characterizing bulk sedimentary organic matter. *Marine Geology*, 139(1-4):123-145. [http://dx.doi.org/10.1016/S0025-3227\(96\)00107-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0025-3227(96)00107-7).
- Santos, M.L.S., Muniz, K.; Neto, B.B.; Feitosa, F.A.N. (2007) - Estudo das diferentes formas de fósforo nas águas da Plataforma Continental do Amazonas- *Química Nova*, 30(3):569-573. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422007000300012>.
- Silva, M.G.L. (1998) - *Caracterização morfológica da cobertura sedimentar da plataforma continental do Amazonas, Norte-Brasil*. 112 p, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil. (Não publicado)



Revista da Gestão Costeira Integrada 10(4):597-598 (2010)
Journal of Integrated Coastal Zone Management 10(4):597-598 (2010)



RECENSÃO CRÍTICA / BOOK REVIEW

Recuperação de Praias e Dunas

de Karl. F. Nordstrom

Tradução do original *Beach and dune restoration*, por Silvia Helena Gonçalves
Oficina de Textos

Dieter Muehe @

Imaginemos uma praia que, após longo processo de erosão intensa, foi restaurada por meio de aterro passando a apresentar uma berma larga e plana, e uma barreira mais elevada, à retaguarda, em forma de duna, como proteção adicional contra eventos de tempestade e mantida limpa por meio de remoção mecânica do lixo. Parece ótimo não é mesmo? No entanto, não é essa opinião que fica após ler o livro *Recuperação de Praias e Dunas*, de Karl Nordstrom, uma leitura que muda a perspectiva intuitiva de priorizar proteção e estética em detrimento da manutenção da morfodinâmica natural do sistema praia-duna e dos aspectos ambientais associados.

Ao longo de oito capítulos o autor vai abordando os diversos temas envolvidos na questão, passando, gradativamente, dos aspectos físicos, aos biológicos e ambientais, à gestão de conflitos e à necessidade de pesquisa, abrindo neste último capítulo a porta para novos estudos e abordagens, ao mesmo tempo em que confessa a dificuldade de implantação de muitas das idéias por falta de informações e conhecimento específico. Listagens em forma de tabelas fixam, ao longo do texto, os principais pontos a serem considerados. Inúmeras e bem selecionadas citações bibliográficas não apenas documentam e exemplificam o estado de conhecimento já existente como também permitem ao leitor aprofundar seus conhecimentos sobre os diversos temas, o que praticamente torna o livro um manual de consulta.

Como ponto central da recuperação de praias está o aterro ou *engordamento* artificial, bem como a fonte e as características dos sedimentos, cuja extração resulta em impactos ambientais, tanto no fundo marinho, quanto na praia e no campo de dunas frontais. Sob esses aspectos são abordadas as características das jazidas em termo de distância, área, profundidade da escavação e estratégias para evitar alterações significativas na batimetria e possibilitar a recuperação da biota. A importância da semelhança granulométrica entre o material de dragagem e o da praia para a rápida recuperação da biota é analisada, mas o emprego de cascalho, em local da areia, devido sua maior estabilidade é também considerado.

@ - Autor correspondente: dieter.muehe@gmail.com

Aspectos ecológicos são considerados, desde a escolha do método de dragagem, mas ganha ênfase ao analisar os métodos de criação ou recuperação de dunas frontais cuja função não é vista apenas sob a ótica da proteção e sim, também, como nichos para plantas e locais de nidificação. Diversas formas de uso de cercas para a formação de dunas com estruturas sedimentares idênticas aos obtidos por processos naturais são analisados em conjunto com a disponibilidade de sedimentos na praia como fonte fornecedora de sedimentos. Nesse sentido a simples raspagem mecânica da camada superficial da berma para a formação da duna é vista com reservas, sendo dada preferência ao processo natural de transporte eólico, a partir da praia, para transformação de dunas incipientes em dunas frontais. Isto por sua vez exige largura adequada da berma como superfície de transporte e disponibilidade de frações granulométricas numa proporção tal que apenas parte seja suscetível ao transporte eólico, permanecendo na berma um depósito residual mais grosso. O emprego de plantas na formação das dunas é analisado como parte do processo de fixação, sendo o aumento da diversidade ecológica e topográfica vista como um incremento do valor como habitat.

A importância de preservar a variabilidade morfodinâmica, com transposição ocasional de ondas para o reverso do campo de dunas para a manutenção de ecossistemas mais úmidos e a alteração da topografia da praia e da duna em resposta a eventos de tempestade, implica numa mudança na concepção de projetos de obras duras como muros e quebra-mares. São relatadas experiências de remoção e rebaixamento de estruturas de proteção para preservar, pelo menos, parte do dinamismo natural propiciador da criação de habitats mais naturais, e possibilitar a troca de sedimentos entre a zona emersa e a submersa, permitir a erosão de falésias para o suprimento de sedimentos e ainda por razões estéticas. Soluções, no entanto, de aplicação mais difícil em ambientes de alta energia, conforme ressaltado pelo autor. Ainda sob o ponto de vista ambiental é analisado o papel do lixo como fonte de alimento e de habitat, bem como os efeitos da coleta mecânica do mesmo.

A adoção de uma abordagem holística na recuperação e gestão de praias e dunas vai requerer um intenso e contínuo programa de conscientização da população residente e dos turistas. Muitas medidas sofrerão forte resistência pela priorização dada frequentemente a uma paisagem antropizada em detrimento de uma paisagem natural. A aprovação de projetos de proteção costeira terá que ser objeto de uma dialética entre os diferentes interesses e as soluções de engenharia, as necessidades de lazer e as considerações ecológicas. Essa temática é tratada exaustivamente pelo autor com abundantes exemplos de várias partes do mundo.

Numa época em que aumenta a percepção e a preocupação em relação aos efeitos de uma mudança climática sob a qual a intensificação dos processos de erosão e inundação implicará em demandas crescentes de proteção costeira, o livro de Karl Nordstrom apresenta uma nova abordagem que exigirá a mudança do perfil dos agentes envolvidos no processo de formulação de soluções e abre perspectivas de inclusão de cientistas e pesquisadores das ciências ambientais que, apesar de representativos em atividades de gestão costeira, não participavam tradicionalmente na definição de obras de proteção.

Recuperação de Praias e Dunas

Editora: Oficina de Textos

ISBN: 9788579750069

Tradução: Silvia Helena Gonçalves

263 páginas - 1ª edição, 2010

Capítulos:

- A necessidade de recuperação
- Engordamento de praias e impactos
- Práticas e impactos da construção de dunas
- Recuperação, processos, estrutura e funções
- Opções em ambientes reduzidos
- Um programa baseado no local para recuperação de praias e dunas
- Interesses, conflitos e cooperação das partes interessadas
- Necessidade de pesquisas