

• REVISTA DE  
**GESTÃO COSTEIRA  
INTEGRADA**

**Journal of Integrated Coastal Zone Management**

**VOL. 10(1) - Março 2010**  
March

<http://www.aprh.pt/rgci/>  
<http://www.gci.inf.br/nova/>

**RECIFES ARTIFICIAIS  
ARTIFICIAL REEFS**

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*

## *Recifes Artificiais / Artificial Reefs*

Volume 10, Número 1 / Volume 10, Number 1

Março 2010 / March 2010

[www.aprh.pt/rgci](http://www.aprh.pt/rgci)

[www.gci.inf.br](http://www.gci.inf.br)

### Corpo Editorial / Editorial Board

J. Alveirinho Dias  
([jdias@ualg.pt](mailto:jdias@ualg.pt))

J. Antunes do Carmo  
([jsacarmo@dec.uc.pt](mailto:jsacarmo@dec.uc.pt))

Marcus Polette  
([mpolette@univali.br](mailto:mpolette@univali.br))



## Comissão Científica / Scientific Committee

Adriano A. Bordalo  
(Universidade do Porto,  
Porto, PORTUGAL)  
Ana Vila-Concejo  
(University of Sydney,  
Sidney, AUSTRÁLIA)  
Cassiano Monteiro-Neto  
(Universidade Federal Fluminense,  
Niteroi, RJ, BRASIL)  
Frédéric Bertrand  
(Université de Paris 1 (Sorbonne) Paris, FRANÇA)  
João Alveirinho Dias  
(Universidade do Algarve,  
Faro, PORTUGAL)  
Lauro J. Calliari  
(Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
Carreiros, RS, BRASIL)  
Marcus Polette  
(Universidade do Vale do Itajaí,  
Itajaí, SC, BRASIL)  
Óscar Ferreira  
(Universidade do Algarve,  
Faro, PORTUGAL)  
Rainer Wehrhahn  
(Universidade de Kiel Kiel, ALEMANHA)

Alexander Turra  
(Universidade de São Paulo,  
São Paulo, SP, BRASIL)  
André Bustorff Fortunato  
(Laboratório Nacional de Engenharia Civil,  
Lisboa, PORTUGAL)  
Dieter Muehe  
(Universidade Federal do Rio de Janeiro,  
Rio de Janeiro, RJ, BRASIL)  
Helena Granja  
(Universidade do Minho, Braga, PORTUGAL)  
José A. Jiménez  
(Universitat Politècnica de Catalunya,  
Barcelona, ESPANHA)  
Luís Cancela da Fonseca  
(Universidade do Algarve, Faro, PORTUGAL)  
Mônica Costa  
(Universidade Federal de Pernambuco,  
Recife, PE, BRASIL)  
Paolo Ciavola  
(Università di Ferrara, Ferrara, ITÁLIA)  
Ramon Gonzalez  
(Universität Basel, Basel, SUIÇA)  
Walter M. Widmer  
(Universidade Federal do Paraná,  
Matinhos, PA, BRASIL)

Alexandre Schiavetti  
(Universidade Estadual de Santa Cruz,  
Ilhéus, BA, BRASIL)  
Antonio Klein  
(Universidade do Vale do Itajaí,  
Itajaí, SC, BRASIL)  
Fernando Veloso Gomes  
(Universidade do Porto,  
Porto, PORTUGAL)  
Ildeberto Mota-Oliveira  
(Instituto Superior Técnico, Lisboa, PORTUGAL)  
José Antunes do Carmo  
(Universidade de Coimbra,  
Coimbra, PORTUGAL)  
Manuel Afonso-Dias  
(Universidade do Algarve,  
Faro, PORTUGAL)  
Moyses G. Tessler  
(Universidade de São Paulo,  
São Paulo, SP, BRASIL)  
Paulo Freire Vieira  
(Universidade Federal de Santa Catarina,  
Florianópolis, SC, BRASIL)  
Sílvio Soares Macedo  
(Universidade de São Paulo,  
São Paulo, SP, BRASIL)

## Avaliadores Convidados / Invited Reviewers

(Junho 2008 - Março 2010)

Adélio Silva  
(Hidromod,  
Lisboa, PORTUGAL)  
Alexandre Mazzer  
(Universidade da Região de Joinville,  
Joinville, SC, BRASIL)  
António Carlos Diegues  
(Universidade de São Paulo,  
São Paulo, SP, BRASIL)  
António M. da Silva Luis  
(Universidade de Aveiro,  
Aveiro, PORTUGAL)  
Carlos Alberto Cioce Sampaio  
(Universidade Regional de Blumenau,  
Blumenau, SC, BRASIL)  
Carlos Pereira da Silva  
(Universidade Nova de Lisboa,  
Lisboa, PORTUGAL)  
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)  
Cristina Bernardes  
(Universidade de Aveiro,  
Aveiro, PORTUGAL)  
Elirio E. Toldo Jr.  
(Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
Porto Alegre, RS, 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)  
Fátima Lopes Alves  
(Universidade de Aveiro,  
Aveiro, PORTUGAL)  
Fernando A. Pereira de Sousa  
(Universidade do Porto / CEPES,  
Porto, PORTUGAL)  
Fernando Perna  
(Universidade do Algarve,  
Faro, PORTUGAL)  
Francisco C. R. de Barros Junior  
(Universidade Federal da Bahia,  
Salvador, BA, BRASIL)  
Francisco Taveira Pinto  
(Universidade do Porto,  
Porto, Portugal)  
Galopim de Carvalho  
(Universidade de Lisboa,  
Lisboa, PORTUGAL)

Helena de Freitas  
(Universidade de Coimbra,  
Coimbra, 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 Ribeiro  
(Universidade Aberta,  
Porto, PORTUGAL)  
Karim Erzini  
(Universidade do Algarve,  
Faro, PORTUGAL)  
Luci Cajueiro Carneiro Pereira  
(Universidade Federal do Pará,  
Belém, PA, BRASIL)  
Luciano Lorenzi  
(Universidade da Região de Joinville,  
São Francisco do Sul, SC, BRASIL)  
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 da Conceição Freitas  
(Universidade de Lisboa,  
Lisboa, PORTUGAL)  
Maria do Rosário Bastos  
(Universidade Aberta,  
Porto, PORTUGAL)  
Mário 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)  
Marinez Scherer  
(Programa Bandeira Azul,  
Florianópolis, SC, BRASIL)  
Michel Michaelovitch de Mahiques  
(Universidade de São Paulo,  
São Paulo, SP, BRASIL)

Milton L. Asmus  
(Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
Carreiros, RS, BRASIL)  
Moacyr Araújo  
(Universidade Federal de Pernambuco,  
Recife, PE, BRASIL)  
Naina Pierri Estades  
(Universidade Federal do Paraná,  
Curitiba, PR, BRASIL)  
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 do Pernambuco,  
Recife, PE, BRASIL)  
Paulo Pereira  
(Universidade Aberta,  
Porto, PORTUGAL)  
Paulo Renato B. Baptista  
(CESAM,  
Aveiro, Portugal)  
Paulo Tagliani  
(Universidade Federal do Rio Grande,  
Rio Grande, RS, BRASIL)  
Philip Conrad Scott  
(Universidade Santa Ursula,  
Rio de Janeiro, RJ, BRASIL)  
Ricardo Melo  
(Universidade de Lisboa,  
Lisboa, PORTUGAL)  
Rosemeri Marenzi  
(Universidade do Vale do Itajaí,  
Itajaí, SC, BRASIL)  
Rui Taborada  
(Universidade de Lisboa,  
Lisboa, Portugal)  
Tomasz Boski  
(Universidade do Algarve,  
Faro, PORTUGAL)  
Ulisses Miranda Azeiteiro  
(Universidade Aberta,  
Porto, PORTUGAL)  
Wagner Costa Ribeiro  
(Universidade de São Paulo,  
São Paulo, SP, Brasil)

## Índice / Index

### Prefácio / Preface

J. Antunes do Carmo  
J. Alveirinho Dias  
Marcus Polette

3 Recifes Artificiais Multifuncionais  
Multifunctional Artificial Reefs

### Artigos / Papers

Douglas H. C. dos Santos  
Maria da G. G. da Silva Cunha  
Felipe C. Amancio  
José Zanon de O. Passavante

7 Recifes Artificiais, Mergulho e Pesca Artesanal: Alguns Aspectos do Conflito na Costa de Pernambuco – Brasil  
Artificial Reefs, Diving and Artisanal Fishing: Some Aspects on the Conflict in the Pernambuco Coast – Brazil

Jaime P. Dias Santos  
Mike Weber  
F. Veloso Gomes

23 Concepção, Construção, Implantação e Monitorização de Recifes Artificiais de Betão com Incorporação de Lamas Orgânicas  
Development, Construction, Implantation and Monitorization of Concrete Artificial Reefs with Addition of Organic Sludge

Mirella Borba S. F. Costa  
Daniele L. B. Mallmann  
Núbia C. Guerra

49 Caracterização Sedimentológica da Área de Fundeio de dois naufrágios na Plataforma Continental Pernambucana  
Sedimentological Characterization of Shipwrecks on the Pernambuco Continental Shelf

Pierre Angelelli  
Pascal Saffache

65 O mosaico dos poderes públicos em zona costeira numa região ultraperiférica da União Europeia: o caso da criação dos recifes artificiais na Martinica  
The mosaic of public authorities in the coastal area of an Outermost Region of the European Union: the case of the creation of artificial reefs in Martinique

Federico Ignacio Isla

81 Natural and Artificial Reefs at Mar del Plata, Argentina  
Recifes Naturais e Artificiais em Mar del Plata, Argentina

Ana Mendonça  
Barbara Proença  
Conceição Juana Fortes  
Maria Graça Neves

95 Estudo da Hidrodinâmica em torno do Recife Artificial para a prática do Surf a construir em São Pedro do Estoril, Cascais  
Aplicação dos Modelos de Boussinesq: COULWAVE e FUNWAVE  
Hydrodynamic Study of an Artificial Surfing Reef to be constructed in S. Pedro do Estoril, Cascais.  
Boussinesq Model Application: COULWAVE and FUNWAVE

Bruno I. Simioni  
Luciana S. Esteves

127 Avaliação Qualitativa do Desempenho dos Recifes Artificiais Multifuncionais (RAM)  
Analysing the Performance of the Multi-Functional Artificial Reefs

### Recensão Crítica / Book Review

Dieter Muehe

147 Recensão Crítica: Métodos en teledetección aplicada a la prevención de riesgos naturales en el litoral





## Prefácio

# Recifes Artificiais Multifuncionais

## *Multifunctional Artificial Reefs*

Profundas transformações no uso e ocupação do solo e do mar ocorrem actualmente na generalidade dos países de expressão portuguesa, todos eles com importantes zonas costeiras, sob específicas escalas de tempo e espaço. Tais transformações tendem, em geral, a diminuir a qualidade de vida das populações locais, bem como a induzir alterações na produtividade e na biodiversidade dos ecossistemas, sendo fundamental a reversão deste processo.

São muitos os agentes que têm contribuído para os desequilíbrios que actualmente se verificam. São bem conhecidas as actividades antrópicas com carácter localizado, e que directa ou indirectamente são responsáveis por fragilidades muito significativas de longas extensões das linhas de costa. São fundamentalmente o enfraquecimento irreversível das principais fontes aluvionares exteriores às zonas costeiras, em consequência de regularizações fluviais, construções de barragens, alterações no aproveitamento dos solos, explorações de inertes fluviais, acções de dragagem portuárias, etc., as quais têm vindo a perturbar fortemente os equilíbrios outrora existentes, nomeadamente por meio de uma significativa redução do abastecimento sedimentar.

Também os efeitos cumulativos das alterações pontuais dos padrões de agitação local e dos trânsitos sedimentares têm reflexos profundos e frequentemente irreversíveis, sendo porventura, na actualidade, os principais factores responsáveis por parte do recuo generalizado e continuado das linhas de costa.

A estas acções de natureza essencialmente local dever-se-ão juntar outras de carácter mais global, em particular os efeitos das alterações climáticas, conduzindo a situações de temporais sucessivamente mais frequentes e mais devastadores, o efeito da expansão térmica, em consequência do aumento global da temperatura, e a subida do nível médio das águas do mar, agravado ainda com as alterações nos padrões globais da circulação oceânica.

São muitas as situações de particular fragilidade que podem ser identificadas ao longo de grandes extensões das zonas costeiras. A grande maioria da zona costeira portuguesa tem vindo a ser progressivamente ameaçada por uma erosão maciça, com galgamentos oceânicos generalizados, importantes ocupações de território outrora emerso e prejuízos para os habitats naturais e a actividade humana, colocando frequentemente em risco importantes aglomerados urbanos costeiros.

Os casos mais graves, em particular alguns centros urbanos, exigirão a curto prazo a adopção de medidas com um exclusivo objectivo de segurança; nestes casos, duas opções deverão ser consideradas: as estruturais, tais

como as que se adoptam em medidas de manutenção, que no essencial passarão pela construção de obras rígidas e/ou dinâmicas de protecção, ou por uma realocação adequada, consistindo na retirada do património mais importante para lugar seguro, com a conseqüente adaptação de usos e actividades à nova realidade; assim como as não estruturais, ou seja aquelas que irão necessitar de um processo mais participativo da sociedade nas tomadas de decisões.

A protecção costeira é um grande objectivo que não poderá ser minorado, mas os custos que envolve são extremamente onerosos para o erário público.

A generalidade das obras de protecção costeira existentes hoje em dia resultaram em consequência de uma gritante e prolongada falta de planeamento, que permitiu construções em áreas sensíveis, frequentemente zonas de expansão urbana, não ou indevidamente controladas. Estas obras são frequentemente o resultado de intervenções necessárias e muitas vezes urgentes, não planeadas e muito menos com uma preocupação de atractividade, valorização e desenvolvimento. Na realidade, em termos práticos, infelizmente poucas foram as iniciativas das entidades públicas numa verdadeira atitude pró-activa de antecipação dos problemas.

São conhecidas desde longa data, há mais de um século, as vantagens associadas à conservação e exploração de habitats muito produtivos resultantes de embarcações afundadas em plataformas continentais. A grande diversidade e riqueza ecológica dos habitats criados motivou a utilização de uma ampla variedade de materiais para a construção de estruturas submersas (recifes artificiais) com diferentes formas e características, mas com idênticos objectivos: restauração/preservação do ambiente marinho, protecção e incremento dos recursos piscícolas, pesca artesanal, actividades de mergulho e outras práticas desportivas, turismo subaquático, protecção contra erosão costeira, etc. Entre os materiais mais correntemente utilizados encontram-se navios afundados, carros velhos, pneus, plataformas de petróleo, estruturas de betão e geotêxteis.

Mais recentemente, vem-se assistindo à implementação de estruturas submersas, em forma de delta, correntemente designadas por recifes artificiais multifuncionais (RAMs), que procuram reforçar e ampliar as funcionalidades atribuídas aos recifes artificiais clássicos. A construção deste tipo de estruturas é em geral equacionada tendo como principais objectivos a prática de desportos aquáticos radicais e o atenuar das grandes fragilidades de muitos dos actuais sistemas naturais de protecção existentes ao longo das zonas costeiras.

Por conjugação de vários fenómenos que ocorrem em condições de águas pouco profundas, estas estruturas são concebidas de modo a promoverem a rotação das ondas, o seu empolamento e a conseqüente rebentação das mesmas sobre a plataforma submersa (RAM), reduzindo em consequência o seu efeito erosivo na base ou sobre a protecções naturais existentes.

Complementarmente, tendo como objectivos o envolvimento das populações locais, a promoção turística da região e uma repartição de custos por concessões a privados, estas estruturas poderão ser concebidas com dimensões, formas e declives adequados para que as ondas geradas tenham características para a prática de surf e promovam outras práticas desportivas tais como o mergulho.

Aliando interesses e perspectivas complementares, a criação de incentivos à iniciativa privada permitirá gerar parcerias público-privado, viabilizando a construção em série de estruturas deste tipo. Reduzir-se-ão deste modo os investimentos públicos e, simultaneamente, dotar-se-ão as zonas costeiras de equipamentos atractivos sob os pontos de vista turístico, económico e ambiental. Nesta conformidade, parecem ser apropriadas formas de intervenção adequadamente planeadas e implementadas com multi-funcionalidades.

É com este conjunto de multi-objectivos que se propõem soluções viáveis e suficientemente atractivas, nomeadamente: (i) estruturas submersas ambientalmente amigáveis e promotoras de actividade turística, (ii) estruturas de defesa complementares de sistemas naturais de protecção, (iii) alternativas à alimentação artificial com finalidades de retenção ou acumulação de areias, e (iv) possíveis alternativas a obras pesadas de engenharia, as quais têm sido encaradas fundamentalmente como medidas de recurso, satisfazendo necessidades imediatas de protecção, mas sem claros benefícios a médio prazo.

É já extensa a experiência adquirida a nível mundial e são amplamente reconhecidos os benefícios decorrentes da implementação de recifes artificiais (clássicos) com objectivos essencialmente ecológicos, mas o mesmo não acontece em relação à implementação de RAMs, cuja experiência é ainda muito limitada. Nesta conformidade, analisam-se em seguida as principais características e funcionalidades desta última geração de recifes artificiais com multi-objectivos.

Os RAMs são construções submersas que promovem a generalidade das actividades atribuídas aos recifes artificiais clássicos e fornecem, complementarmente, uma protecção indirecta através da redução das cargas hidrodinâmicas para níveis adequados à manutenção do equilíbrio dinâmico da costa. Para atingir este objectivo, os RAMs são concebidos de forma a permitirem a transmissão de uma determinada quantidade de energia por rebentação das ondas no delta da estrutura e dissipação de energia sobre a crista, em condições de água pouco profunda. Com uma adequada concepção do RAM, este será capaz de (1) reduzir a carga energética do escoamento sobre a costa através de uma série de processos e transformações das ondas que ocorrem sobre a estrutura; (2) criar células de circulação de correntes por trás do delta da estrutura, podendo causar acumulação de sedimentos na orla costeira; (3) regular a acção das ondas por efeitos combinados de refacção e difracção, e (4) gerar ondas com características adequadas para a prática de surf.

Naturalmente que para a implementação de estruturas deste tipo é essencial diagnosticar, planear, gerir e avaliar de forma integrada a zona costeira. Um programa de investimentos na zona costeira deverá contemplar necessariamente aspectos relativos à protecção, como objectivo central, mas numa perspectiva integradora de valorização e desenvolvimento, ou seja, não contemplando simples remendos, ou obras isoladas, mas antes promovendo a atractividade através da instalação generalizada de adequados equipamentos com multi-funcionalidades.

A implementação da tecnologia proposta poderá justificar-se como medida isolada quando se pretende tirar partido das diversas funcionalidades, mas justifica-se claramente como medida complementar de protecções naturais, nomeadamente dos vários sistemas dunares existentes e, em geral, com elevadas fragilidades ao longo da zona costeira. Esta tecnologia é igualmente adequada para efeitos de protecção de áreas mais degradadas, como medida eficaz de retenção e acumulação de areias, ou ainda como equipamentos complementares de diversão, lazer e mais-valias turística e ambiental. Em princípio, será igualmente uma boa aposta a instalação desta tecnologia em áreas onde se justifica uma alimentação artificial com finalidades de retenção ou acumulação de areias.

A experiência adquirida e os poucos dados de monitorização existentes sobre os RAMs já construídos ou em construção, nomeadamente sobre: (i) desempenho em relação à protecção costeira; (ii) qualidade das ondas para a prática de surf; (iii) contribuição para o aumento da biodiversidade, e (iv) revitalização económica através do turismo, não nos permitem ser muito objectivos em relação a qualquer das perspectivas de análise. Contudo, existem dados importantes no que respeita a dimensões, volumes e custos de construção que podem ser correlacionados com os correspondentes desempenhos.

Em primeira aproximação, poder-se-á inferir que os recifes artificiais com multi-funcionalidades (RAMs) resultarão mais simples, mais baratos e mais funcionais que as estruturas convencionais construídas exclusivamente para efeitos de protecção; complementarmente serão ainda de esperar os seguintes benefícios: (i) protecção de sistemas naturais com reduzido impacto visual; (ii) aumento da largura da praia adjacente ao recife; (iii) geração de ondas com características para a prática de surf; (iv) importante enriquecimento ambiental da zona costeira; (v) criação de áreas com interessantes características para diversão e práticas de mergulho e pesca, e (vi) benefícios económicos resultantes do aumento de fluxos turísticos, criando cada vez mais oportunidades para as populações costeiras e diminuindo desta forma problemas e injustiças sociais.





## Recifes Artificiais, Mergulho e Pesca Artesanal: Alguns Aspectos do Conflito na Costa de Pernambuco – Brasil \*

### *Artificial Reefs, Diving and Artisanal Fishing: Some Aspects on the Conflict in the Pernambuco Coast – Brazil*

Douglas H. C. dos Santos<sup>@,1</sup>, Maria da G. G. da Silva Cunha<sup>1</sup>, Felipe C. Amancio<sup>1</sup>,  
José Zanon de O. Passavante<sup>1</sup>

---

#### RESUMO

A prática de afundar estruturas no ambiente marinho para a criação de recifes artificiais é bastante antiga e vem sendo realizada ao redor do mundo com o intuito de enriquecer estoques pesqueiros e de outros organismos, conseqüentemente, beneficiar atividades de lazer e pesca. O estado de Pernambuco é conhecido nacionalmente pelo grande número de naufrágios em sua costa (cerca de 200). Para a região, a importância desses recifes artificiais abrange tanto a questão ambiental (incremento de biomassa) como socioeconômica (alavanca a indústria do turismo subaquático e sustenta pequenas comunidades pesqueiras tradicionais). Em 2001, com a sanção do Decreto Estadual nº.23.394, proibindo a pesca nos arredores dos naufrágios, foi criado um conflito entre os usuários desses naufrágios (mergulhadores contemplativos e pescadores artesanais); esses últimos que já há bastante tempo se utilizavam dos naufrágios como pontos de pesca. A presente pesquisa teve como objetivando estudar as interações entre esses dois grupos enfocando as políticas ambientais sobre o assunto. Foram entrevistados 53 mergulhadores em operadoras de mergulho e 41 pescadores em duas comunidades pesqueiras da Região Metropolitana do Recife. Os resultados evidenciaram o conflito de interesses entre os grupos, indo de encontro com o objetivo principal do Decreto de proteger e preservar os naufrágios. Por parte dos pescadores, mesmo com a proibição regulamentada, esses continuam praticando a pesca nos naufrágios; e os mergulhadores, embora livres para usufruir dos recifes artificiais, uma parcela significativa, ainda demonstra carecer de uma conscientização ambiental e de um ordenamento quanto à visitação das áreas.

Palavras-chave: Recife artificial, Pesca artesanal, Gerenciamento Costeiro, Mergulho.

---

@ - autor correspondente: douglashenriq@yahoo.com

1 - Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Oceanografia, Laboratório de Produtividade Primária, Cidade Universitária, Av. Arquitetura s/n, Recife, PE, CEP 50-740-550, Brasil.

---

\* Submissão – 28 Novembro 2008; Aceitação – 18 Janeiro 2009; Recepção da versão revista – 16 Fevereiro 2009; Disponibilização on-line – 5 Novembro 2009

## ABSTRACT

Sinking structures in marine environment for artificial reefs creation is an old technique and has been developed in several countries around the world aiming to enhance fish stocks and other marine life and, thus, to benefit recreational activities and fisheries. The Pernambuco State is nationally known by the great number of shipwrecks in its coast (approximately 200). The importance of these artificial reefs embraces the environmental question (biomass enhancement) and the socioeconomic problem (it improves the dive tourism and support small traditional fishing communities). In 2001, the State Ordinance nº 23.394 sanction, prohibits the fisheries in shipwrecks areas, and creates a conflict between the users of these shipwrecks, divers and artisanal fishermen; the last ones who used to fish in shipwrecks for a long time. The present research aimed to study how these two groups approach environmental policies. Fifty three divers were interviewed in dive schools and 41 fishermen in two fishing communities of Metropolitan Area of Recife. The results confirmed a conflict between the two groups, against the main objective of the State Decrees nº.23.394/01 that intended to protect and preserve the shipwrecks. The fishermen, they still fishing in the shipwrecks, despite the prohibition; and divers, although free to use the artificial reefs, part of them, still demonstrate lack of an environmental understanding and they don't manage adequately the visits to the areas.

*Keywords:* Artificial reef, Artesanal Fisheries, Coastal Management, Dive.

---

## 1. INTRODUÇÃO

Ao redor do mundo, vários países vêm implantando recifes artificiais em suas costas com a finalidade de viabilizar a pesca artesanal, mitigar perdas de recursos naturais por meio do incremento da população de peixes, atenuar processos erosivos, estimular o turismo subaquáticos, etc. (Sinis et al., 2000; Seaman & Seaman, 2000; Johns et al., 2001; Harris, 2003).

No Brasil, diversos Estados como Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Sergipe, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná vêm desenvolvendo programas de recifes artificiais através de parcerias com universidades e organizações não-governamentais, utilizando estruturas que vão de pneus a cascos de embarcações (Santos & Passavante, 2007; Alencar et al., 2003).

Estudos vêm comprovando que cascos de embarcações afundados em plataformas continentais tornam-se, na maioria dos casos, habitats produtivos e podem ter como princípio a criação de áreas ecológicas para atividades de mergulho e pesca artesanal (Grossman et al., 1997; Bohnsack et al., 1997; Claudet & Pelletier, 2004).

Em Pernambuco, a primeira experiência de utilização de atratores artificiais foi desenvolvida pelo Centro de Pesquisa e Gestão de Recursos Pesqueiros do Litoral Nordeste (CEPENE), no período de 1989 a 1991, através do "Projeto Tuna", obtendo-se resultados satisfatórios em relação à concentração de

peixes pelágicos, com o acréscimo nos índices de captura por embarcação de 30 a 50% (CEPENE, 1992).

Em relação aos naufrágios, o início dos afundamentos dos cascos descomissionados foi em 1998, quando um grupo ligado ao turismo afundou uma embarcação tipo rebocador no litoral sul do Estado. Até maio de 2006, mais oito cascos de embarcações foram naufragados propositadamente tendo sido acompanhados por técnicos ambientais do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e pesquisadores de Universidades. Atualmente, fora os afundamentos deliberados, Pernambuco possui o registro de aproximadamente 200 naufrágios ao largo de seus 187Km de costa.

No âmbito dos naufrágios localizados na plataforma continental de Pernambuco, visando à proteção e preservação desses ambientes e de seus recursos naturais, em 03 de julho de 2001, foi sancionado o Decreto Estadual nº 23.394, que proibiu a prática da pesca submarina e da pesca com anzóis nos seus arredores.

Sendo considerados uma poderosa ferramenta na promoção do gerenciamento costeiro e no incremento de estoques pesqueiros, os projetos de criação de recifes artificiais, em Pernambuco, apresentam uma lacuna na concepção dos seus objetivos: se são voltados para o turismo subaquático ou para a restauração/conservação do ambiente marinho. Nesse contexto, pesquisadores e gestores ambientais

se deparam atualmente com a questão legal do Decreto Estadual impedindo-lhes de aplicar novos direcionamentos aos projetos de recifes artificiais, como, por exemplo, para criação de áreas de pesca, ao passo que despertaram a oportunidade de avaliar como vem sendo realizado o manejo desses ambientes por parte dos mergulhadores contemplativos.

Na presente pesquisa, o tema central, Recifes Artificiais (naufrágios), é analisado particularmente sob as perspectivas legal, social e ambiental de forma que as informações levantadas possam contribuir na formulação de políticas ambientais que levem em conta, além da preservação do meio ambiente, os usos múltiplos desses que podem ser úteis ferramentas no gerenciamento costeiro.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

Localizado na região nordeste brasileira, o Estado de Pernambuco possui uma área de 98.938km<sup>2</sup>, constituindo-se numa das menores unidades político-administrativas, tanto em termos de nordeste, como de Brasil, correspondendo a 6,3% da área nordestina e 1,2% da superfície brasileira (CONDEPE/FINDEN, 2003).

A região litorânea de Pernambuco se caracteriza por possuir, em seus 187Km de extensão, recifes costeiros e manguezais, representando 2,5% do litoral

brasileiro e abrangendo 14 municípios costeiros com 33 comunidades pesqueiras – concentradas em 16 colônias e 7 associações de pescadores.

Embora não haja dados oficiais sobre o número de pescadores artesanais em atividade em Pernambuco, em 2000, o censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE, 2000), registrou a existência de 152.548 pescadores artesanais na região nordeste do Brasil, o que representa 47% dos pescadores do país, demonstrando que a pesca nos estados desta região têm uma grande importância econômica e social.

No último levantamento realizado pelo IBAMA sobre a frota pesqueira do Estado, foi registrado que essa era composta por 560 canoas, representando 38,30% do total da frota, produzindo cerca de 1.600 toneladas de pescado/ano, equivalente a cerca de 41% da produção pesqueira marítima; 471 barcos motorizados, equivalente a 32,22% da frota, produzindo anualmente cerca de 2.000 toneladas, correspondendo a 51% da produção; e 431 jangadas, correspondendo a 29,48% da frota, produzindo aproximadamente 300 toneladas/ano, equivalente a 8% da produção de pescado (IBAMA, 1996).

No anuário estatístico da pesca brasileira de 2004, o Estado de Pernambuco apresentou uma produção de pescado de 19.039,05 toneladas, representando um

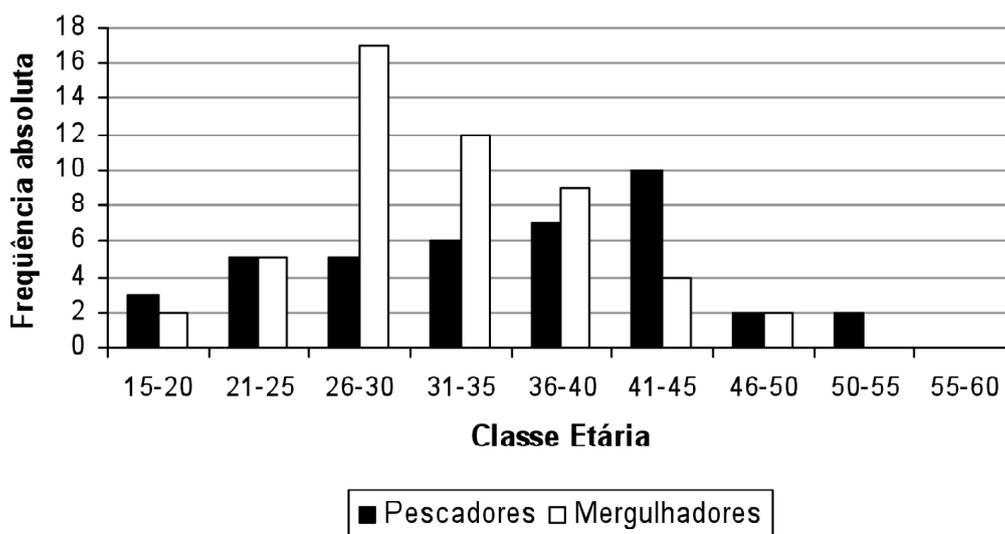


Figura 1. Mapa da área estudada – Pernambuco – Brasil.  
Figure 1. Map of the study area – Pernambuco – Brazil.

acréscimo de 54,3% na produção da pesca marinha em relação a 2003. Desse total, 11.595 toneladas (60,9%) foram capturadas pela pesca artesanal, 1.856,5 toneladas pela industrial (9,8%) e a aquicultura foi responsável por 5.588 toneladas (29,3%) (IBAMA, 2005).

Em relação ao turismo e as atividades recreacionais subaquáticas, o litoral de Pernambuco pode ser considerado referência para turismo nacional e internacional. Com diversos pólos de visitação urbanos e naturais, o estado faz parte da rota de turistas oriundo da Europa, principalmente portugueses, espanhóis e alemães.

Ao longo de seu litoral, são mais de 40 praias, sendo as mais conhecidas: Itamaracá, Marinha Farinha, Boa Viagem, Gaibu, Muro Alto, Porto de Galinhas, Maracaípe, Serrambi, Carneiros, Tamandaré, todas contando com infra-estrutura hoteleira, entre pousadas e resorts.

No período 2000/2003, houve um continuado aumento do fluxo de turistas para Pernambuco, saltando de cerca de um milhão de visitantes, em 1998, para 3,3 milhões, em 2002. A expansão do turismo no estado foi facilitada pelo aumento no número de hotéis durante a década de noventa. Neste período, o número de hotéis cresceu 168%, passando de 105, em 1990, para 281 estabelecimentos em 2000 (CONDEPE/FINDEN, 2003).

No que diz respeito ao turismo subaquático, a RMR (Região Metropolitana do Recife) conta com cinco operadoras de mergulho que oferecem cursos e serviços de saídas ao mar para a visitação de pontos de mergulhos que variam de recifes de corais submersos a naufrágios.

Estima-se que, em Pernambuco, pelo menos 32 mil pessoas pratiquem o esporte subaquático. Cada saída ao mar com direito a dois mergulhos custa, em média, R\$180. Segundo os dados da Associação de Empresas de Mergulho de Pernambuco, o faturamento bruto do setor, por ano, é de R\$ 5 milhões. De acordo com as certificadoras internacionais, o Brasil deve ter um incremento de 40% nas atividades de mergulho recreativo nos próximos cinco anos (FISEPE, 2006).

Filho (2003), analisando a quantidade de mergulhos realizados em naufrágios de Pernambuco a partir de dados de duas operadoras, registrou, entre

agosto de 2002 e julho de 2003, uma demanda de cerca de 3.510 pessoas, o que corresponde a uma média mensal de aproximadamente 292 mergulhadores.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa com pescadores artesanais ocorreu na comunidade de Brasília Teimosa, Recife, na Colônia de Pesca Z-1; e em Bairro Novo, Olinda, na Colônia de Pesca Z-4. Os entrevistados foram escolhidos aleatoriamente a partir de visitas aos locais. Todos os pescadores entrevistados possuíam o registro profissional e estavam inscritos nas colônias de pescadores. Já a pesquisa com mergulhadores ocorreu em três operadoras de mergulho do Recife e em reuniões de grupos de mergulho.

Foram confeccionados dois modelos de questionários, um direcionado a mergulhadores e outro a pescadores artesanais, contendo perguntas referentes aos naufrágios e suas relações com os mesmos. As perguntas contidas nos questionários eram diretas, com respostas baseadas em proposições explicitadas em seguida (Anexo 1).

De acordo com o desempenho e a percepção individual verificada no momento da aplicação do questionário objetivo, foram escolhidos alguns entrevistados para serem questionados com perguntas subjetivas. Para tanto, foi seguido um roteiro de perguntas previamente definido englobando tópicos semelhantes ambos os grupos.

### 4. RESULTADOS

A pesquisa foi conduzida durante o primeiro semestre de 2007, sendo entrevistados no total 53 praticantes do mergulho contemplativo/recreativo e 41 pescadores artesanais.

Os dados obtidos mostram que o mergulho contemplativo é mais praticado (81%) por uma faixa adulta, entre 26 e 45 anos – fato talvez correlacionado à estabilidade na vida profissional e independência financeira, uma vez que, o valor de um curso básico é, em média, de R\$ 550,00 (o salário mínimo até março de 2009 no Brasil era de R\$ 415,00) – e por pessoas do sexo masculino (74%). Em relação aos pescadores há uma predominância homens (100%), e percebe-se que a atividade vem sendo seguida por jovens

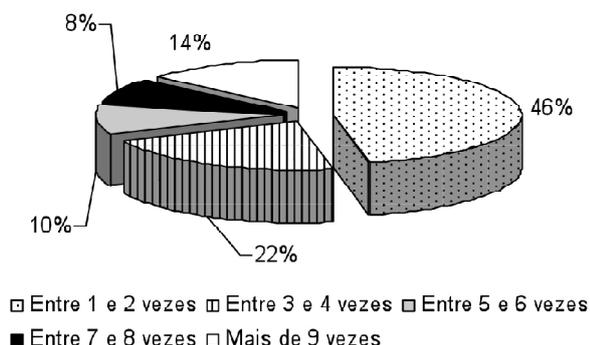


Figura 2. Faixa etária dos pescadores e mergulhadores, entrevistado sobre os recifes artificiais da costa de Pernambuco.

Figure 2. Age group of fishermen and divers, interviewed about the artificial reefs of the coast of Pernambuco.

Refletindo, provavelmente, o alto custo da prática do mergulho, observa-se que a maioria dos entrevistados realiza de um a dois mergulhos mensais

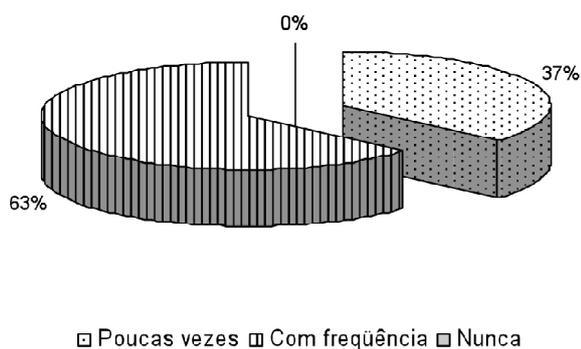


Figura 3. Frequência mensal com que os mergulhadores entrevistados mergulham em naufrágios da costa de Pernambuco.

Figure 3. Monthly frequency of dives in shipwrecks of the coast of Pernambuco by the divers interviewed.

Em relação aos pescadores entrevistados, esses (63%) afirmam pescar com frequência (toda semana) nos naufrágios localizados na costa do Estado. Segundo as opiniões dos mais experientes, todos pescam nos naufrágios próximos da costa, ou seja, onde é possível fazer a marcação por terra (ponto de referência). Nenhum pescador afirmou nunca ter pescado em naufrágio e 37% disse usar esses pontos esporadicamente (uma vez no mês).

Quanto à certificação de mergulho, ou seja, à formação do mergulhador em relação aos diversos graus de especialização no mergulho recreativo, a maioria dos entrevistados (53%) possui curso avançado, 17% possui o curso básico, outros 17% são divemaster e 13% são instrutores de mergulho. Tal observação indica um nível de instrução e conhecimento consideráveis por parte dos mergulhadores.

Fato característico da atividade do turismo em regiões costeiras, o verão marca a época de alta estação. No litoral de Pernambuco, o período entre os meses de outubro e março é marcado por “águas limpas” (termo utilizado pelos mergulhadores para referenciar a boa visibilidade da água em virtude da ausência ou pouca quantidade de material em suspensão) e mar calmo. Dessa forma, é de se esperar que a atividade do mergulho recreativo sofra incremento nessa época do ano. Em relação à pesca, de acordo com os entrevistados, a atividade também está ligada às condições do mar e do clima, sendo também assinalado pela maioria (90%), o período de verão como mais favorável à pesca artesanal na costa do Estado.

Aliados na concepção de que os recifes artificiais são uma ferramenta na promoção e incremento do mergulho contemplativo e da pesca artesanal, respectivamente, mergulhadores e pescadores entrevistados são unânimes (100%) em favor da implantação de recifes artificiais na costa do Estado.

Por outro lado, a maioria dos mergulhadores (79%) é contra a utilização dos naufrágios como área para a realização da pesca artesanal, sendo 21% a favor desde que seja realizada de forma sustentável. Para 41% dos mergulhadores entrevistados a implantação de recifes artificiais tem como principal aspecto a conservação do ambiente marinho, e em seguida o incremento do ecoturismo na região (38%) e, por último, criação de áreas para o desenvolvimento de pesquisas científicas (21%). Os pescadores, por sua vez, são contra (100%) a proibição imposta pelo Decreto Estadual.

Caracterizada como uma das técnicas mais comuns na pesca artesanal em Pernambuco, a linha-de-mão é a mais empregada pelos pescadores na pesca realizada nos naufrágios, sendo citada por 100% dos entrevistados. Tal metodologia pode ser considerada seletiva à medida que o tamanho do anzol e a isca,

segundo os próprios pescadores, ditam o porte e a espécie do peixe a ser capturado.

Considerando a atual forma de utilização dos naufrágios por parte dos mergulhadores e das operadoras de mergulho, pouco mais da metade dos entrevistados acreditam que a exploração desses ambientes vem sendo realizada de modo desordenado

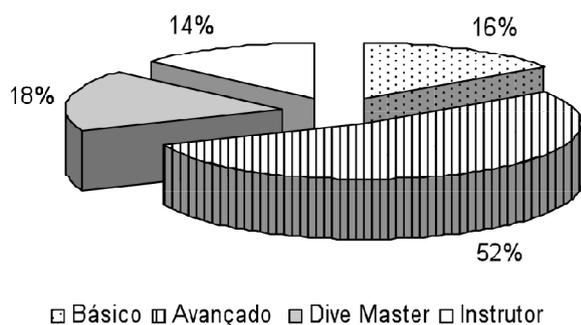
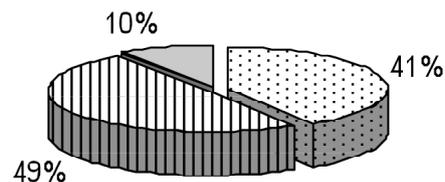


Figura 4. Opinião dos mergulhadores entrevistados em relação à forma de exploração dos recifes artificiais da costa de Pernambuco por parte dos mergulhadores e das operadoras de mergulho.

Figure 4. Opinion of the interviewed divers concerning the management of the artificial reefs of the coast of Pernambuco by divers and dive operators.

Em relação ao comportamento e a preocupação dos mergulhadores para com a conservação do ecossistema recifal artificial, ficou demonstrado que a maior parte dos praticantes ainda apresenta uma atitude depreciativa dos ambientes e sua biota (55% acreditam que a maioria não evita mexer nas estruturas), embora 77% dos entrevistados garantam que os mesmos se preocupam com a conservação dos naufrágios. Tal atitude parece estar ligada ao inconformismo e dificuldade das pessoas de apenas contemplarem visualmente o ecossistema, carecendo tocar ou mexer nas estruturas e animais



- Vem sendo realizada de modo ordenado
- Vem sendo realizada de modo desordenado
- Não sabe informar

Figura 5. Opinião dos mergulhadores entrevistados em relação ao comportamento e atitude dos mergulhadores durante os mergulhos em recifes artificiais da costa de Pernambuco.

Figure 5. Opinion of the interviewed divers concerning the conduct and attitude of divers during the dives in artificial reefs of the coast of Pernambuco.

## 5. DISCUSSÃO

Pelos números apresentados acima é possível visualizar o contexto socioambiental dos naufrágios da costa de Pernambuco, entendendo que as políticas de controle sobre o uso desses ecossistemas precisam ser analisadas, visando regular sua visitação, além de conservar seus recursos naturais.

Nesse contexto, no momento em que se discute o uso dos recifes artificiais em Pernambuco, como uma ferramenta na gestão do ambiente costeiro, a comunidade científica e os gestores públicos se deparam com o desafio de integrar os diversos setores da sociedade aos bens ambientais, propondo meios de garantir o uso sustentável dos recursos naturais renováveis.

Como consequência do Decreto Estadual nº.23.394/01, os pescadores artesanais, localizados no litoral de Pernambuco, antigos usuários dos naufrágios, passaram a exercer a pesca nessas áreas de forma ilegal. Inseridos nesse contexto e também se aproveitando da falta de fiscalização, alguns mergulhadores ainda procuram os naufrágios para praticar a pesca submarina, utilizando-se de arpões e equipamento de mergulho autônomo SCUBA.

Atualmente, apenas os mergulhadores recreativos, ou seja, aqueles que praticam o mergulho com fins

de lazer, contemplativo, ecológico etc. estão aptos legalmente para visitar os naufrágios. A Lei citada não faz alusão a normas de visitação dessas áreas por mergulhadores, ao contrário, conforme, considera que a pesca com anzóis é incompatível com os mergulhos ecológicos e põe em risco a segurança dos mergulhadores.

Salienta-se que em outros estados costeiros brasileiros a criação de recifes artificiais marinhos, em suas plataformas continentais, é realizada visando, entre outros objetivos, disponibilizar novas áreas para a pesca artesanal. Uma pesquisa online realizada pelo Laboratório de Tecnologia Submarina da Universidade Federal do Rio de Janeiro sobre a opinião das pessoas em relação à criação de recifes artificiais, apontou 25% dos cerca de 50 entrevistados como sendo favoráveis ao incremento das pescarias.

Nesse sentido, considerando que os recifes artificiais podem se constituir em instrumentos de ordenamento pesqueiro, o IBAMA publicou a Instrução Normativa nº.125, em 18 de outubro de 2006, visando estabelecer os procedimentos para implantação de recifes artificiais no âmbito da gestão dos recursos pesqueiros na costa brasileira.

A limitação do uso dos recursos naturais dos naufrágios decorrente do Decreto Estadual abrange quatro questões: a primeira, refere-se à restrição da prática de antigos costumes de pescadores artesanais que mantêm dependência do uso dos recursos naturais. A segunda, diz respeito ao lapso do governo estadual, regulamentando a Lei sem que tenha havido o debate entre os envolvidos no processo. Terceiro, trata da lacuna deixada pela Lei ao legalizar o “mergulho ecológico” (termo utilizado no próprio instrumento legal), sem impor normas de visitação às operadoras de mergulho. E por último, o problema da falta de fiscalização no cumprimento da norma. A Lei proíbe, mas delega responsabilidades de fiscalização a órgãos que não dispõem de infraestrutura para tal, o que a torna mais uma Lei presente no arcabouço jurídico brasileiro que na prática se demonstra ineficaz.

## 6. RESTRIÇÃO LEGAL

Iniciando com a primeira questão levantada, observa-se que, no Brasil, não é a primeira vez que uma norma legal restringe populações tradicionais de

usufruírem de determinado ambiente em favor da conservação de suas características naturais.

O estabelecimento de áreas protegidas na região da Mata Atlântica também criou conflitos devido à legislação ambiental e, apesar de decisões locais, foram impostas restrições na subsistência de populações que vivem dentro ou próximas a essas áreas (Cunha & Rougeulle, 1989; Begossi, 1995; Diegues, 1996).

No município de Cananéia (São Paulo), as principais atividades da população encontraram-se em conflito com a legislação ambiental que proibiu a prática de muitas atividades dos povos caiçaras, como a caça e a agricultura itinerante, deixando a comunidade sob o desafio de conciliar a conservação ambiental com os modos tradicionais (Chamy, 2005).

Conforme Diegues (1996), ao analisar a hipótese de restrição ao uso de um ambiente, por parte de uma população tradicional, é preciso levar em consideração que o estilo de vida desses povos apresenta características que os diferenciam das populações típicas dos meios urbanos industrializados. Antes de tudo, suas atividades econômicas apresentam forte dependência em relação à natureza e aos recursos naturais renováveis, os quais são os mantenedores de seu modo particular de vida. Essa dependência, entretanto, longe de apresentar características de predação, aproxima-se, segundo o mesmo autor, dos processos biológicos de simbiose.

Partindo para a análise da legislação brasileira ao abordar o meio ambiente e temas correlatos à questão, observa-se, logo, que a Constituição Federal de 1988, traz no art. 225 um conceito de meio ambiente construído em bases equitativas. “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

Em relação aos recursos pesqueiros do mar territorial, plataforma continental e zona econômica exclusiva, a Constituição de 1988 passou a considerá-los como bens da União. Lima & Dias-Neto (2002) lembram, entretanto, que pertencer à União não significa que esses recursos sejam de propriedade da União no sentido de que essa pode usar, gozar e dispor, na lógica de apropriação privada. Isto é, o fundamento da submissão dos recursos pesqueiros à

dominialidade pública não se encontra na vontade da União em dispor desses bens e com eles praticar atos de comércio. Encontra-se, sim, na necessidade de conservação desses recursos ambientais e, para tanto, torná-la efetivamente gestora desses bens em prol do interesse da sociedade.

Nesse sentido, ainda naquele estatuto jurídico, no seu art. 225º § 1º III, para assegurar a efetividade do direito ao meio ambiente, o Poder Público está incumbido de: “Definir em todas as unidades da Federação, espaços territoriais e seus componentes a serem especialmente protegidos, sendo a alteração e a supressão permitidas somente através de lei, vedada qualquer utilização que comprometa a integridade dos atributos que justifiquem sua proteção”.

Antes mesmo da Constituição de 1988, foi publicada em 1981 a Lei nº.6.938, intitulada de Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), que dispunha, entre seus preceitos, da proteção dos ecossistemas e de áreas ameaçadas de degradação (Art. 2º IV, IX).

Já em 1988, foi regulamentada a Lei nº.7.661, instituindo o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, prevendo, em seu art. 3º, o zoneamento de usos e atividades na Zona Costeira, dando prioridade à conservação e proteção, entre outros, dos seguintes bens: recursos naturais renováveis e não renováveis; recifes; sítios ecológicos de relevância cultural; monumentos que integrem o patrimônio natural, histórico, paisagístico.

Até os tempos atuais, outros importantes instrumentos jurídicos foram criados para ratificar a proteção ambiental marinha e preservar o patrimônio nacional ecológico, entre eles: o Decreto nº.99.274/90 que dispõe sobre a criação de áreas de proteção ambiental; a Lei nº.8.617/93 tratando sobre o Mar Territorial, a Zona Contígua, a Zona Econômica Exclusiva e a Plataforma Continental Brasileira; a Lei nº.9.605/98 dos Crimes ambientais; a Lei nº.9.985/00 criando o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), o Decreto nº.5.377/05 aprovando a Política Nacional para os Recursos do Mar (PNRM), e outras Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA).

Na moldura jurídica internacional, o Brasil ainda assinou um série de documentos que balizam suas ações com a meta comum de uso sustentável dos recursos do mar, tais como: Convenção das Nações

Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM); Agenda 21; Convenção das Nações Unidas sobre Diversidade Biológica; Código de Conduta para a Pesca Responsável da FAO, etc.

Entre todos esses documentos jurídicos, verifica-se que a Política Nacional para os Recursos do Mar, de fevereiro de 2005, e o Decreto nº.5.382/05 que aprova o VI Plano Setorial para os Recursos do Mar, contemplam, entre seus objetivos, fomentar no País a construção de embarcações, plataformas, bóias atradoras, recifes artificiais e outros meios flutuantes e submersos para o ensino, a pesquisa, a exploração e o aproveitamento sustentável dos recursos do mar.

Em sintonia com as estratégias de gerenciamento costeiro que enfatizam o uso combinado de técnicas, Meier et al. (1989) afirmam que os recifes artificiais podem ser integrados a programas de gestão dos recursos pesqueiros envolvendo outras ferramentas como tamanho mínimo, períodos de defeso e limites de capturas.

## 7. INCLUSÃO E ORDENAMENTO

Com relação à questão da exclusão dos pescadores artesanais no processo de formulação do Decreto Estadual nº.23.394/01, verifica-se uma discrepância desse exercício com os princípios da Agenda 21. A inclusão e a participação dos pescadores no processo de decisão, além de democratizar a questão, poderiam ter efeito positivo na proteção destes ambientes recifais artificiais, na medida em que conscientizaria a comunidade de pescadores sobre a importância ecológica dos naufrágios como áreas de alimentação, abrigo, reprodução e dispersão de espécies, beneficiando diretamente a sustentabilidade pesqueira na plataforma.

Friedman & Zube (1992) afirmam que a integração entre as populações e os órgãos governamentais responsáveis pela implementação da política ambiental, com a consequente participação das comunidades no processo de implantação, manejo e fiscalização de áreas protegidas, é considerada indispensável para a manutenção dessas áreas.

Por outro lado, a permissão incondicionada de visitantes em áreas protegidas pode impactar significativamente os ecossistemas caso não se tenha conhecimento sobre a dinâmica dos fatores físico-químicos e biológicos locais e estudos da capacidade

de carga do ambiente.

No caso da visitação de naufrágios por parte dos mergulhadores, aparentemente, não existe um limite exato descrito em literatura de quantas pessoas um recife (natural ou artificial) pode suportar sem apresentar degradação.

Dixon et al. (1993) sugerem um nível crítico de aproximadamente 4.500 mergulhadores por ano para que o impacto num recife possa se tornar aparente.

Na cidade de Eilat (Israel), apesar da legislação rigorosa e de medidas administrativas empregadas durante anos, a recuperação de recifes de corais demonstrou não ser bem sucedida em razão da intensa destruição por atividades recreativas (Epstein et al., 2001; Zakai & Chadwick-Furmanb, 2002).

Em alguns naufrágios recém afundados na costa de Pernambuco é possível observar nas estruturas internas, como, casario, praça de máquinas, quartos, porão, que as bolhas de ar expelidas pelos mergulhadores ficam confinadas nas extremidades dos compartimentos acelerando o processo de corrosão da estrutura metálica. Outro impacto identificado é o distúrbio na fauna de peixes, incluindo quelônios e elasmobrânquios, causado pela simples presença e/ou comportamento de mergulhadores nos naufrágios



Figura 6

Figure 6

Em diversos naufrágios, principalmente os mais antigos, a inexistência de locais específicos para a amarração (poitas) faz com que as embarcações das operadoras prendam seus cabos na estrutura do naufrágio. O cabo, que é utilizado pelos mergulhadores para auxiliar na descida e guiá-los até o recife, ao ser amarrado na estrutura, causa um efeito destruidor na comunidade biológica incrustante e sésil, que vão desde algas até esponjas e octocorais.

Legalmente, as operadoras estariam incorrendo na prática de crime ambiental, segundo a Lei nº.9.605/98: no seu art.33º Parágrafo Único, inciso III, fundear embarcações ou lançar detritos de qualquer natureza sobre bancos de moluscos ou corais, devidamente demarcados em carta náutica, está sujeito à pena de detenção, de um a três anos, ou multa, ou ambas cumulativamente.

## 8. TURISMO RENTÁVEL

Quando se trata de divisas geradas pelo turismo e, mais especificamente, pelo mergulho, não se pode deixar de considerar o valor que essa atividade gera para diversas economias ao redor do mundo.

Tanyeri-Abur e Jiang (1998) estudando o impacto econômico da indústria do mergulho numa comunidade costeira do Texas (EUA), concluíram que cada dólar gasto por um mergulhador turista resulta, em média, um rendimento de US\$1,81 para a comunidade costeira, US\$0,75 para a renda per capita, e US\$1,15 em valor agregado para a economia costeira do Estado. Baseado nos seus cálculos, eles reportam que a cada um milhão de dólares gastos são gerados cerca de 37 empregos.

Em quatro condados do sudeste da Flórida (EUA), os recursos advindos do mergulho em recifes naturais e artificiais, entre 2000 e 2001, ficaram entre 139 milhões e um bilhão de dólares. Em adição, as atividades de mergulho sustentam entre 6.300 e 36 mil empregos por condado. Nos condados de Palm Beach e Miami-Dade, por exemplo, os gastos relacionados aos recifes artificiais contribuem com cerca de 1/3 na economia relacionada ao sistema recifal, ficando os recifes naturais com 2/3. Já no condado de Broward, os gastos com atividades de mergulho recreativo nos recifes artificiais e naturais contribuem de forma equiparada (Johns et al., 2001).

No Canadá, o naufrágio Ex-Mackenzie (afundado pela Artificial Reef Society of British Columbia), gerou à Província da Colúmbia Britânica o equivalente a US\$ 3,5 milhões em operações turísticas de mergulho e pesca esportiva. Além disso, o governo local sugere que o recife tenha gerado um retorno significativo em termos de conservação de áreas naturais que vinham sofrendo impactos devido à grande exploração por mergulhadores e pescadores (Milon et al., 2000).



Figura 7. Condutas de mergulhadores podem causar impactos na biota e estrutura dos naufrágios da costa de Pernambuco. 1 – Bolhas de ar expelidas pelo mergulhador ficam confinadas no teto do casario acelerando o processo de corrosão da estrutura metálica; 2 – Mergulhador filma espécie de tubarão (*Ginglymostoma cirratum*) estressando animal; 3 – Mergulhador segura no naufrágio comprometendo organismos incrustantes; 4 – Mergulhador aproxima-se de espécie de raia (*Dasyatis americana*) com luzes ligadas, estressando animal. (Fotos: Ary Amarante)

Figure 7. Divers conduct can cause impacts in shipwreck biota and structure. 1 - Air bubbles expelled by divers stay in the shipwreck roof accelerating the corrosion process of the metallic structure; 2 - Diver film shark species (*Ginglymostoma cirratum*) stressing the animal; 3 - Diver grabs in the shipwreck structure disturbing fouling community; 4 - diver get close to a stingray species (*Dasyatis americana*) with lights on, stressing the animal.

Dessa forma, percebe-se a importância da realização de estudos futuros sobre os impactos econômicos diretos e indiretos do turismo subaquático em relação aos recifes artificiais de Pernambuco. Tais estudos proverão informações valiosas para os gestores ao planejar o futuro dos projetos de criação de novos pontos de mergulho ao largo da costa e incentivar o turismo como vetor do desenvolvimento local.

Para Ruschmann (1999), o turismo é uma atividade que proporciona o desenvolvimento socioeconômico,

notadamente, para as regiões do nordeste brasileiro. Entretanto, é fundamental antecipar-se a possíveis impactos negativos de uma forma de exploração que não se atenha unicamente, ao aspecto econômico da atividade.

## 9. CONCLUSÃO

% O cenário atual dos naufrágios de Pernambuco evidencia que a legislação em vigor não vem alcançando êxito no que tange a real proteção dos ambientes de recifes artificiais e sua ampla utilização.

% A exclusão dos pescadores artesanais do processo de criação e utilização dos recifes artificiais não vem significando o sucesso na conservação desses ambientes.

% necessário incentivar ações que visem conhecer e proteger esses ambientes, porém, sobretudo, é fundamental que se compatibilize os interesses dos diversos grupos sociais; imprescindível para que políticas voltadas para o desenvolvimento sustentável e equitativo tenham sucesso.

## BIBLIOGRAFIA

- Alencar, C.A.G, Silva, A.S. & Conceição, R.N.L. (2003) - Texto básico de nivelamento técnico sobre recifes artificiais marinhos. 51 p., Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca da Presidência da República (SEAP-PR) Brasília, Brasil.
- Begossi, A. (1995) - Fishingspots and sea tenure: Incipient forms of local management in Atlantic Forest coastal communities. *Human Ecology*, 23(3):387-405. (<http://dx.doi.org/10.1007/BF01190138>)
- Bohnsack, J.A., Ecklund, A.M. & Szmant, A.M. (1997) - Artificial reef research: is there more than the attraction production issue? *Fisheries*, 22:14-16, Bethesda, MD, USA.
- CEPENE - Centro de Pesquisa e Gestão de Recursos Pesqueiros do Litoral Nordeste (1992) - Projeto Tuna - Curso de construção de atratores para pescadores. 21p., SEMAN/IBAMA, Tamandaré, PE, Brasil.
- Chamy, P. (2005) - Reservas Extrativistas Marinhas como Instrumento de Reconhecimento do Direito Consuetudinário de Pescadores Artesanais Brasileiros sobre Territórios de Uso Comum. 24p., PROCAM (Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental) / NUPAUB (Núcleo de Apoio à Pesquisa sobre Populações Humanas e Áreas Úmidas Brasileiras), Universidade de São Paulo, São Paulo SP, Brasil. (disponível em [http://dlc.dlib.indiana.edu/archiv/00001358/00/Chamy\\_Reservas\\_040511\\_Paper233.pdf](http://dlc.dlib.indiana.edu/archiv/00001358/00/Chamy_Reservas_040511_Paper233.pdf))
- Claudet, J. & Pelletier, D. (2004) - Marine protected areas and artificial reefs: A review of the interactions between management and scientific studies. *Aquatic Living Resources*, 17:129-138. (<http://dx.doi.org/10.1051/alr:2004017>)
- CONDEPE/FIDEN (2003) - Pernambuco em Dados: Ano 2003. 67p., Governo do Estado de Pernambuco, Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.
- Cunha, L.H. & Rougeulle, M.D. (coord.) (1989) - Comunidades litorâneas e unidades de proteção ambiental: convivência e conflitos; o caso de Guaraqueçaba (Paraná). 78p., Programa de Pesquisa e Conservação de Áreas Úmidas no Brasil, Pró-Reitoria de Pesquisa da USP/Fundação Ford/União Internacional para a Conservação da Natureza, USP, Estudos de caso nº. 2, São Paulo, SP, Brasil.
- Diegues, A.C.S. (1996) - O Mito Moderno da Natureza Intocada. 169p., 3ªed., AnnaBlume, São Paulo, SP, Brasil. (ISBN:8527103451).
- Dixon, J.A., Fallon, L.S. & Van't Hof, T. (1993) - Meeting ecological and economic goals: Marine Parks in the Caribbean. *Ambio*, 22(2-3): 117-125. Royal Swedish Academy of Sciences, Stockholm, Suécia.
- Epstein, N., Bak, R.P.M. & Rinkevich, B. (2001) - Strategies for Gardening Denuded Coral Reef Areas: The Applicability of Using Different Types of Coral Material for Reef Restoration. *Restoration Ecology*, 9(4):432-442. (<http://dx.doi.org/10.1046/j.1526-100X.2001.94012.x>)
- Filho, J.P.S. (2003) - Demanda e oferta de turismo subaquático em Pernambuco. Trabalho de Conclusão de Curso em Turismo, 62p., Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil. (não publicado)
- FISEPE (2006) - Pernambuco consolida-se como destino de turismo subaquático. Noticiário do Poder Executivo - Diário Oficial do Estado de Pernambuco 24/08/2006. Disponível em: <http://www.fisepe.pe.gov.br/cepe/materias2006/ago/exec06240806.htm> Acessado em: Janeiro de 2009.
- Friedman, S.K. & Zube, E.H. (1992) - Assessing landscape dynamics in a protected area. *Environmental Management*, 16(3):363-370. (<http://dx.doi.org/10.1007/BF02400075>)
- Grossman, G.D., Jones, G.P. & Seaman, W.J. (1997) - Do artificial reefs increase regional fish production? A review of existing data. *Fisheries*, 22:17-23, Bethesda, MD, USA.
- Harris, L.E. (2003) - Artificial Reef Structures for Shoreline Stabilization and Habitat Enhancement. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Surfing Reef Symposium,

- p.176-178, Raglan, Nova Zelândia.
- IBAMA (1996) - Diagnóstico da Pesca Marítima do Brasil. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais, Diretoria de Incentivo à Pesquisa e Divulgação. 82p., Brasília, Brasil. (não publicado).
- IBAMA (2005) - Estatística da Pesca 2004 Brasil - Grandes Regiões e Unidades da Federação. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais, 136p., Brasília, Brasil.
- IBGE (2000) - Censo Demográfico – Resultados do universo. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Brasília, Brasil. (não publicado).
- Johns, G.M., Leeworthy, V.R., Bell, F.W. & Bonn, M.A. (2001) - Socioeconomic Study of Reefs in Southeast Florida. Final Report. Hazen and Sawyer / Florida State University / National Oceanic and Atmospheric Administration, 348p., Florida, USA.
- Lima, J.H.M. & Dias-Neto, J. (2002) - O Ordenamento da Pesca Marítima no Brasil. Boletim Técnico Científico do CEPENE, 10(1):265-330, Tamandaré, PE, Brasil
- Meier, M.H., Buckley, R. & Polovina, J.J.A. (1989) - Debate on responsible artificial reef development. Bulletin of Marine Science, 44(2):1051-1057, Miami, FL, USA.
- Milon, W. J., Holand, S. M. S. & Whitmarsh, D. J. (2000) - Social and Economic Evaluation Methods. In: Seaman, W. (ed.), Artificial Reef Evaluation with application to natural marine habitats, pp.165-194, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Ruschmann, D.V.D.M. (1999) - Turismo e planejamento sustentável: a proteção do meio ambiente. 4ª ed., 199p., Editora Papirus, Campinas, SP, Brasil. (ISBN:8530804392)
- Santos, D.H.C. & Passavante, J.Z.O. (2007) - Recifes Artificiais Marinhos: Modelos e Utilizações no Brasil e no Mundo. Boletim Técnico-Científico do CEPENE, 15(1):113-124. Tamandaré, PE, Brasil (Disponível em [http://www.passavante.pro.br/paper/paper\\_douglas.pdf](http://www.passavante.pro.br/paper/paper_douglas.pdf))
- Seaman, W. & Seaman Jr., W. (2000) - Artificial Reef Evaluation With Application to Natural Marine Habitats. 264 p., CRC Press, Florida, USA. (ISBN: 0849390613)
- Sinis, A.I., Chintiroglou, C.C., Stergiou, K. I. (2000) - Preliminary results from the establishment of experimental artificial reefs in the N. Aegean Sea (Chalkidiki, Greece). Journal of Zoology Supplement, 1:139-143.
- Tanyeri-Abur, A.L.J. & Jiang, H. (1998) - Texas Gulf Coast: Economic impacts of recreational activities and commercial fishing in the Texas Gulf Coast. Report to the Texas Water Development Board, Texas Agricultural Experiment Station, College Station, Texas, USA. (não publicado).
- Zakai, D. & Chadwick-Furmanb, N. E. (2002) - Impacts of intensive recreational diving on reef corals at Eilat, northern Red Sea. Biological Conservation, 105(2):179-187. ([http://dx.doi.org/10.1016/S0006-3207\(01\)00181-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0006-3207(01)00181-1))

Anexo 1. Modelo do questionário de pesquisa aplicado para pescadores e mergulhadores da Costa de Pernambuco.  
Model of the research questionnaire applied for fishermen and divers of the coast of Pernambuco.

**QUESTIONÁRIO PARA PESCADORES**

Sexo: M  F

Idade: \_\_\_\_\_

Naturalidade (Estado): \_\_\_\_\_

Tipo de embarcação que utiliza e sua propriedade: \_\_\_\_\_

**1 – Qual sua opinião em relação à quantidade de pescado há 20 anos e hoje?**

- Aumentou
- Permanece igual
- Diminuiu
- Não sabe informar

**2 – Se diminuiu, qual o principal motivo?**

- Aumentou o número de pescadores na região.
- Pesca desordenada e ilegal, exemplo: \_\_\_\_\_
- Poluição ambiental
- Não sabe informar
- Outros \_\_\_\_\_

**3 – O que pensa em relação à criação de novos recifes artificiais (naufrágios) para tornarem-se pontos exclusivos de pesca?**

- A favor
- Contra
- Não sabe informar

**4 – Se é contra, qual aspecto desfavorável (principal) cita para justificar a resposta?**

- Poluição marinha
- Desequilíbrio ambiental
- Risco à navegação
- Outros \_\_\_\_\_

**5 – O que pensa em relação à proibição da pesca em área de naufrágio na costa do Estado?**

- A favor
- Contra
- Não sabe informar

**6 – Alguma vez já pescou em área de naufrágio na costa do Estado?**

- Sim, poucas vezes (1 vez por mês)
- Sim, com frequência (toda semana)
- Nunca

**7 – Quais apetrechos de pesca utilizados na pescaria em área de naufrágio?**

- Linha e anzol.
- Covos
- Redes
- Arpões
- Outros \_\_\_\_\_

**8 – Qual a melhor época do ano para pescar em área de naufrágio?**

- Verão – meses: \_\_\_\_\_
- Inverno – meses: \_\_\_\_\_
- Não sabe informar

**9 – Qual o valor comercial das espécies capturadas em área de naufrágio?**

- Alto (> R\$15,00 Kg)
- Médio (< R\$15,00 > R\$ 8,00 Kg)
- Baixo (< R\$ 8,00)

**10 – Quantos Kg de pescado captura, em média, em cada pescaria em área de naufrágio?**

- Menos de 5kg
- Menos de 10Kg
- Menos de 15Kg
- Mais de 15Kg

**11 – Dentre os naufrágios existentes na costa do Estado, quais os melhores para a pesca artesanal?**

- Mais próximos da costa
  - Distante da costa
  - Não sabe informar
-

---

**QUESTIONÁRIO PARA MERGULHADORES**

Sexo: M  F

Idade: \_\_\_\_\_

Naturalidade (Estado): \_\_\_\_\_

Residência (Bairro): \_\_\_\_\_

Profissão: \_\_\_\_\_

**1 – Qual a certificação de mergulho que possui?**

- Básico
- Avançado
- Dive master
- Instrutor

**2 – Há quanto tempo pratica mergulho recreativo em naufrágios no litoral de Pernambuco?**

- Menos de 1 ano
- Menos de 2 anos
- Menos de 3 anos
- Menos de 4 anos
- Mais de 5 anos

**3 – Quantas vezes, por mês, em média, pratica mergulho recreativo em naufrágios no litoral do Estado?**

- Entre 1 e 2 vezes
- Entre 3 e 4 vezes
- Entre 5 e 6 vezes
- Entre 7 e 8 vezes
- Mais de 9 vezes

**4 – O que pensa em relação à implantação de recifes artificiais marinhos (naufrágios e outros atratores) no litoral do Recife?**

- A favor
- Contra
- Não sabe informar

**5 – Se é a favor, qual aspecto favorável (principal) cita para justificar a resposta?**

- Incremento do ecoturismo
- Criação de novas áreas destinadas à pesca
- Criação de campos para pesquisas científicas
- Ecológico – Restauração do meio ambiente, aumento da biomassa de vida marinha
- Outros \_\_\_\_\_

**6 – Se é contra, qual aspecto desfavorável (principal) cita para justificar a resposta?**

- Poluição marinha
- Descquilíbrio ambiental
- Risco à navegação
- Outros \_\_\_\_\_

**7 – Como analisa atualmente a forma de exploração dos naufrágios por parte dos mergulhadores e das operadoras de mergulho?**

- Vem sendo realizada de modo ordenado
- Vem sendo realizada de modo desordenado
- Não sabe informar

**8 – Em relação ao comportamento e atitude dos mergulhadores durante os mergulhos, no geral, qual impressão tem sobre a consciência ambiental dos mergulhadores na conservação dos naufrágios?**

- A maioria **evita** mexer nas estruturas e nos animais e **se preocupa** com a conservação dos naufrágios
- A maioria **não evita** mexer nas estruturas e nos animais e **não se preocupa** com a conservação dos naufrágios
- A maioria **não evita** mexer nos naufrágios e nos animais, mas **se preocupa** com a conservação
- Não sabe informar

**9 – O que pensa em relação à prática da pesca artesanal em áreas de naufrágios?**

- A favor desde que realizada de modo sustentável
- Contra
- Não sabe informar



## Concepção, Construção, Implantação e Monitorização de Recifes Artificiais de Betão com Incorporação de Lamas Orgânicas \*

### *Development, Construction, Implantation and Monitorization of Concrete Artificial Reefs with Addition of Organic Sludge*

Jaime P. Dias Santos <sup>@, 1, 2</sup>, Mike Weber <sup>2, 3</sup>, F. Veloso Gomes <sup>1</sup>

---

#### RESUMO

A utilização das tecnologias de habitats artificiais marinhos tem ganho um crescente interesse mundial. Nos países desenvolvidos e em vias de desenvolvimento existem razões para a sua aplicação na resolução de problemas ambientais e económicos. Nas águas costeiras, de praticamente todo o globo, foram implantados milhares de recifes artificiais. Alguns destes recifes são navios e outras estruturas, de grandes dimensões, fora de uso, que servem agora de habitat para os organismos marinhos. Outros são estruturas concebidas propositadamente como Recifes Artificiais com objectivos específicos. Num contexto de desenvolvimento global das tecnologias ligadas aos habitats aquáticos, o presente trabalho centrou-se no estudo do desempenho de módulos recifais construídos em betão enriquecido com lamas orgânicas provenientes de uma Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR). Foi estudada a taxa de colonização biológica e a diversidade de dois recifes formados por módulos com uma composição diferente.

Foi efectuada uma revisão da literatura sobre a tecnologia dos Recifes Artificiais e, com base nesse conhecimento, foram desenvolvidos módulos recifais em betão, com forma cúbica, com os quais se construíram dois pequenos recifes que foram implantados na zona sublitoral da praia da Aguda, no norte de Portugal.

O uso de lamas orgânicas na composição do betão é um contributo inovador deste trabalho. O objectivo foi comparar o desempenho do recife construído com módulos de betão simples com o recife construído com betão enriquecido com lamas no que respeita à colonização, pelas macroalgas e pelos organismos macrobênticos. A colonização, por parte da fauna e flora, e a sucessão biológica foram monitorizadas ao longo de quatro meses.

Os dados recolhidos permitiram compreender a forma como as comunidades faunística e florística reagiram perante a presença destes Recifes Artificiais, de que forma ocuparam este substrato virgem e as diferenças, na abundância e na

---

@ - autor correspondente: [jaimprata@gmail.com](mailto:jaimprata@gmail.com)

1 Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, [vgomes@fe.up.pt](mailto:vgomes@fe.up.pt);

2 Estação Litoral da Aguda - ELA, Rua Alfredo Dias, Praia da Aguda, 4410-475 Arcozelo-VNG [ela.aguda@mail.telepac.pt](mailto:ela.aguda@mail.telepac.pt)

3 Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar - ICBAS, Univ. do Porto, Largo Prof. Abel Salazar 2, 4099-003 Porto, [mweber@icbas.up.pt](mailto:mweber@icbas.up.pt)

diversidade, existentes entre os dois tipos de recife.

Foram calculados as percentagens de cobertura biológica e quatro índices ecológicos: Número de espécies (S), Equitabilidade de Pielou (J'), Diversidade de Shannon (H') e Diversidade de Simpson. A análise dos dados foi efectuada através de técnicas multivariadas não-paramétricas usando o programa PRIMER. Foi utilizada a ordenação multidimensional não-métrica (nMDS) para produzir diagramas de ordenação bi-dimensionais. A análise de similaridade "One-way ANOSIM" foi usada para testar a hipótese nula da não existência de diferenças significativas entre os dois recifes para a cobertura biológica e para a diversidade.

Os resultados obtidos indicam que quer a taxa de cobertura biológica quer a biodiversidade foram significativamente maiores no recife construído com os módulos de betão no qual se incorporaram lamas de depuração de esgoto doméstico do que no recife construído com módulos de betão simples. Os módulos de betão com lamas desenvolveram um biofilme mais espesso, num espaço de tempo mais curto, e também apresentaram um crescimento maior das macroalgas e uma maior diversidade e abundância por parte das espécies animais colonizadoras.

A adição, ao betão, de substâncias capazes de libertar nutrientes localmente, parece ser uma boa opção no sentido de se obter uma colonização biológica eficiente e uma rápida naturalização dos Recifes Artificiais em betão.

Palavras-chave: Recifes artificiais, betão com lamas, monitorização.

### ABSTRACT

The use of artificial habitat technologies is gaining increasing global interest. Opportunities exist in both developed and developing countries to apply these technologies to environmental and economic problems. Beneath the coastal waters of the world lie thousands of artificial reefs. Retired ships and other disposal materials now serve as habitats for marine life, and newer reefs that have been designed and built for specific applications.

With the field of aquatic habitat technology continually growing, the present study focuses on the composition of reef units using cement in conjunction with organic sludge from urban waste water treatment plants. This research includes the monitoring of the biological colonization rate and diversity of two different types of reef units.

Worldwide use of artificial reef technology was reviewed and, on this base, cubic concrete modules were developed and constructed to build two experimental artificial reefs that were placed in the sublittoral zone of the beach of Aguda in North Portugal. The use of organic sludge in concrete composition is a new contribution of this research. The aim was to compare different concrete compositions and the performance of colonization by macroalgae and macrobenthic organisms between the modules built with and without sludge. The colonization by fauna and flora and the biological succession of the two artificial reefs were monitored over four months. The data allowed understanding how the floristic and faunal communities reacted in the presence of these artificial reefs, how they occupied this virgin substrate and how abundance and biodiversity differed between the two different types of reefs. The percentage of biological coverage and four biological indices were calculated: Number of Species (S), Pielou's Evenness (J'), Shannon's Diversity (H') and Simpson's Diversity. Data analysis was performed with non-parametric multivariate techniques using the PRIMER software. Non-metric multidimensional scaling (nMDS) was used to produce two-dimensional ordination plots. One-way ANOSIM was used to test the null hypothesis of no significant differences, between the reefs, for biological coverage and diversity.

The results suggested that either the biodiversity or the percentage biological coverage were significantly greater at the reef constructed with concrete and domestic sludge than at the reef constructed without the sludge. The concrete modules containing sludge developed a thicker biofilm layer on its surface in a shorter time. They also revealed a more intensive and faster growth of macroalgae and a greater diversity and abundance of colonizing organisms.

The addition to the concrete of substances that can release nutrients locally seems to be a good option in order to obtain an efficient colonization and a rapid naturalization of concrete Artificial Reefs.

*Keywords:* Artificial reefs, concrete modules with sludge, monitoring.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Tipos e objectivos dos Recifes Artificiais

Embora os oceanos ocupem cerca de 70% do globo, as zonas verdadeiramente produtivas

representam uma ínfima parte desta imensa área. As zonas profundas, afastadas dos continentes e das ilhas, são essencialmente desertos biológicos. Existe uma produtividade significativa apenas nos locais onde a zona eufótica é, ao mesmo tempo, rica em nutrientes.

Só aí é que se podem estabelecer cadeias alimentares planta-herbívoro-carnívoro (Ross, 1989).

Assim, cerca de metade das pescarias comerciais são efectuadas nas regiões costeiras e nas zonas de "Upwelling" (correntes ascensionais que trazem para a superfície as águas profundas ricas em nutrientes e que ocorrem entre as costas e as principais correntes oceânicas), que representam apenas uma pequena fracção (cerca de 0,1%) da área total dos oceanos (Glantz & Thompson, 1981).

As populações de animais marinhos estão sujeitas a uma tremenda pressão de estação para estação e de ano para ano. Os predadores são muitos: outros animais, o Homem e mais recentemente a poluição e as alterações climáticas (Cushing, 1982).

É neste contexto que a tecnologia dos recifes artificiais (R.A.'s) tem um grande futuro, podendo contribuir de forma decisiva para uma reviravolta no actual estado das pescas, bem como para a preservação dos recursos e sua exploração numa forma rentável e sustentada.

Desde que o Homem começou a capturar peixes e outros animais aquáticos para a sua alimentação se apercebeu que a maioria das espécies são mais abundantes na proximidade de estruturas imersas ou flutuantes (Seaman & Sprague, 1991).

O desenvolvimento da tecnologia dos R.A.'s tem por base este conhecimento, bem como a constatação da maior abundância de organismos aquáticos junto dos recifes naturais em relação às zonas de fundo plano e arenoso adjacentes. Os R.A.'s surgem como um "oásis" no meio das grandes massas pelágicas de água ou das grandes extensões de fundos de areia.

Esta tecnologia, praticada desde a antiguidade, não mais parou de se desenvolver. A princípio, esse desenvolvimento deu-se numa forma incipiente, ao sabor da iniciativa individual de pescadores, mas nos últimos 50 anos tem conhecido uma grande evolução, baseada em estudos científicos e apoiada em programas oficiais de dimensões consideráveis.

Enquanto que as opiniões sobre a eficácia dos R.A.'s, como instrumento de gestão, variam, a reprodução, a presença de grande número de juvenis de elevado valor comercial e a evidência revelada na utilização dos recifes como zona de alimento dão indícios do seu potencial (Pickering & Whitmarsh, 1996).

Em termos de gestão, o Japão e os E.U.A. desenvolveram R.A.'s como locais de reprodução e protecção de juvenis (nursery), como por exemplo locais de desova para o polvo em Washington, e de refúgio para lagostas na Florida (Seaman, Buckley & Polovina, 1989).

Nas zonas costeiras de certos países, como na Costa Rica, os R.A.'s constituem hoje uma alternativa ao modo de gestão tradicional da pesca artesanal, permitindo o estabelecimento de cotas de pesca, regulação de dragagens, controlo do esforço de pesca, limitação de zonas, conservação dos stocks e redução da crescente pressão sobre os ecossistemas (Campos & Gamboa, 1989).

Os recifes artificiais podem ser construídos a partir de módulos fabricados propositadamente para esse efeito, geralmente figuras geométricas de betão, aço, madeira ou combinações destes materiais. São também, no entanto, usados materiais de oportunidade, como cascos de navios obsoletos, materiais de desperdício da construção civil, pneus velhos e diversos tipos de rochas (McGurrin, Stone & Sousa, 1989).

Os objectivos dos recifes artificiais são, sobretudo, a protecção dos recursos haliêuticos, criando um espaço de reserva e servindo como instrumento de gestão pesqueira, o aumento do rendimento da pesca e também o turismo (pesca desportiva e mergulho recreativo).

O arrasto ilegal, alterando as características do substrato e ressuspensão dos sedimentos tem como consequência a sobreexploração dos recursos e a diminuição da qualidade da água, o que se têm revelado um sério problema em certos habitats mais sensíveis. Os R.A.'s têm vindo a ser cada vez mais utilizados como outra forma de resolver este problema (Moreno, Roca, Reñones, Coll & Salamanca, 1994; Guillen, Ramos, Martínez, & Lizaso, 1994; Bombace, 1989).

Os objectivos gerais destas estruturas são fundamentalmente dois:

- Promover a agregação de espécimens e dos animais aquáticos pelágicos facilitando a sua captura e diminuindo o esforço de pesca.
- Aumentar a área de substrato duro disponível para a colonização por parte dos organismos sésseis e hemi-sésseis, servir de local de reprodução, de alimentação e de abrigo para juvenis (nursery).

A estes dois objectivos principais, junta-se actualmente, o de constituírem um instrumento de gestão ambiental. A sua presença é, por si só, uma medida desincentivadora da utilização de arrasto de fundo, e de outras técnicas de pesca pesadas e destrutivas, em determinadas zonas (Bell, 1997).

Os Recifes artificiais podem também ser usados como estruturas biofiltrantes sobretudo quando associados à produção de bivalves. O efeito de depuração das águas costeiras conseguido através da instalação de recifes artificiais colonizados por bivalves filtradores pode ser importante desde que a biomassa seja removida do sistema periodicamente. Finlândia, Suécia e Polónia estão na vanguarda da utilização de R.A.'s com este propósito (Antsulevich, Laihonen & Vuorinen, 2000).

A intensidade da biofiltração depende da composição taxonómica da comunidade e da sua abundância, das condições fisiológicas dos organismos, dos factores abióticos e da forma e composição dos R.A.'s. (Antsulevich & Bugrova, 1989; Baynes & Szmant, 1989; Bohnsack & Sutherland, 1985; Khailov, Zavalko & Kamenir, 1987).

A produção e colheita de animais filtradores como os mexilhões em R.A.'s pode ser um método sustentável de produzir alimento e simultaneamente reciclar nutrientes do mar para terra. Unidades de produção com 2 000 m<sup>2</sup> de superfície filtram a biomassa de fitoplâncton produzido por uma superfície de oceano de cerca de 50 000 m<sup>2</sup>. Quando foram introduzidas 25 unidades de produção de mexilhão, e os mexilhões foram colhidos, a sedimentação de Nitrogénio Orgânico Particulado (PON) foi reduzido em 4% e o nitrogénio dissolvido foi reduzido em 20% (Lindahl, Hart, Hernroth, Kollberg, Loo, Olrog, Rehnstam-Holm, Svensson, Svensson & Syversen, 2005).

No Ocidente foram, desde o início, usadas estruturas mais sólidas, nomeadamente pneus velhos com vários arranjos estruturais, e outros materiais de oportunidade (plataformas petrolíferas, cascos de navios, materiais de desperdício da construção civil, carcaças de automóveis etc.). Estes materiais obtidos a baixo custo e colocados sem grandes modificações a não ser a remoção de substâncias potencialmente nocivas para o ambiente (Woodhead & Jacobson, 1985), constituem hoje em dia 80% das estruturas de

R.A.'s nos Estados Unidos (McGurrin et al., 1989).

Até aos anos oitenta nos Estados Unidos a maioria dos R.A.'s foram fabricados de metal ou fibra de vidro e nos anos mais recentes de betão e plástico (Grove & Sonu, 1983).

Chua & Chou (1994) levaram a cabo estudos comparativos entre R.A.'s feitos com pneus e R.A.'s construídos em betão e concluíram que os módulos em betão eram mais eficientes do que os pneus em termos de abundância de peixe por volume e que tais estruturas podiam incrementar os recursos biológicos em áreas relativamente improdutivas.

Chojnacki (2000) demonstrou experimentalmente em trabalhos desenvolvidos no Sul do Báltico que a superfície áspera das construções em betão era o melhor substrato duro que se pode oferecer para a fixação de organismos sésseis, o que está de acordo com conclusões de outros investigadores, nomeadamente Kung-Hsiung (1985), Relini & Cormagi (1990) e Collins, Jensen & Lockwood (1992).

Um recife artificial, seja qual for a sua estrutura pode funcionar distribuindo a biomassa explorável, aumentando-a pela agregação de biomassa não explorável previamente e contribuindo para um aumento de produção por incremento da sobrevivência e crescimento (Polovina, 1991).

Os recifes artificiais são muito populares no Japão, entre os pescadores artesanais pois diminuem o esforço de pesca e aumentam as pescarias (Yamane, 1989).

Estudos comparativos entre R.A.'s e recifes naturais levados a cabo por Bohnsack (1994) demonstraram que as densidades de peixe e de biomassa total eram maiores nos R.A.'s. Este facto é justificável pela maior complexidade estrutural aí obtida (Ogawa, 1982). Também autores como Chang, Lee, & Shao (1977) referem que quanto maior for o grau de complexidade maior será a eficácia dos recifes.

Há uma enorme quantidade e diversidade de materiais susceptíveis de serem utilizados na construção de R.A.'s, nomeadamente betão, ferro, aço, betão armado, plástico, betão plastificado, material cerâmico, etc. (Grove & Sonu, 1985).

Actualmente o material mais utilizado para a montagem de recifes artificiais é o betão, pois além da sua durabilidade e resistência à água do mar, permite ser moldado na forma pretendida e tem

conduzido a bons resultados no que diz respeito à sua colonização por organismos marinhos. Por outro lado, materiais como a fibra de vidro, o PVC e o plástico tem demonstrado problemas de estabilidade (Pickering, 1996a).

## 1.2 Ecologia dos Recifes Artificiais

Estudos comparativos entre R.A.'s com aberturas e sem aberturas permitiram a Shulman (1984) concluir que os primeiros apresentavam maior densidade total de peixes, maior recrutamento juvenil e maior diversidade de espécies. Segundo a mesma autora, a maior complexidade dos habitats fazia aumentar em média a riqueza em espécies e o número de indivíduos para peixes pequenos de recife.

Os orifícios existentes nos módulos permitem o abrigo de algumas espécies à predação aumentando a sobrevivência de juvenis, o número de espécies e a densidade total de peixes (Shulman, 1984).

O tamanho das aberturas do módulo afecta a biodiversidade e a representatividade das espécies, uma vez que grandes aberturas resultam em abrigos menos eficazes, os peixes menores estão mais sujeitos aos predadores, o que diminui a abundância e o número de espécies, (Hixon & Beets, 1989).

Módulos recifais com orifícios de diâmetro igual ou superior a dois metros não são frequentados por peixes, devendo estas aberturas apresentar diâmetros compreendidos entre 0,15 e 1,5m quando o objectivo for aumentar o rendimento da pesca (Ogawa, 1982).

A configuração dos R.A.'s pode ser orientada no sentido de promover o aumento e protecção dos stocks de espécies com valor elevado. Foi já demonstrado que os R.A.'s podem suportar populações de quatro espécies de crustáceos com significativo valor comercial (duas de lavagantes, *Homarus gammarus* e *H. americanus*, o cavaco, *Scyllarides latus* e a lagosta, *Palinurus vulgaris*) (Spanier, 1991; Spanier, Tom, Pisanty & Almog, 1988).

Outra espécie economicamente importante em Portugal, cujos stocks podem beneficiar com a implantação de R.A.'s é a faneca, *Trisopterus luscus*. Com efeito cardumes destes peixes foram observados nos R.A.'s de Poole bay (USA), poucos dias após a implantação, sendo confirmado posteriormente que se abrigavam e alimentavam nesses recifes (Collins, Jensen & Mallison 1996).

Se a eficácia dos R.A.'s como elementos de gestão levanta algumas dúvidas a autores como Pickering & Whitmarsh (1996), já que consideram que estas estruturas podem apenas funcionar como agregadores de biomassa e portanto apenas redistribuir os recursos numa determinada zona, a sua importância como zonas de alimentação, reprodução e protecção de juvenis reúne hoje consenso geral.

Estudos levados a cabo em Itália, em recifes artificiais de betão permitiram concluir que as capturas de peixe e de mexilhão (*Mytilus* sp.) aumentaram substancialmente (Bombace, 1989).

Estudos comparativos entre R.A.'s e recifes naturais levados a cabo por Bohnsack (1994) demonstraram que as densidades de peixe e de biomassa total eram maiores nos R.A.'s. Este facto é justificável pela maior complexidade estrutural aí obtida (Ogawa, 1982). Também autores como Chang, Lee, & Shao (1977) referem que quanto maior for o grau de complexidade maior será a eficácia dos recifes.

Eggleston, Lipcius, Miller & Coba-Cetina em 1990, constataram que quando a altura de abrigos para lagostas *Palinurus argus* era reduzida de 6 para 3,8 e 1,9cm, havia menor mortalidade dos indivíduos de pequeno e médio porte.

Para Molles (1978), a variação do tamanho da abertura não apresenta correlação com a riqueza em espécies nem com a composição do grupo de espécies que habitam o recife. Também Walsh (1985) afirma que a configuração da abertura parece não ter efeito sobre a composição de espécies que procuram determinado recife durante o dia, tendo no entanto importância durante a noite.

Estudos sobre a colonização biológica por parte dos macrobentos no sistema recifal do Ancão, no Algarve, revelaram que ao fim de três meses de imersão mais de metade da área de superfície estava colonizada por espécies de macrobentos, e após seis meses toda a superfície se encontrava recoberta. Nos primeiros meses, as cracas, os briozoários e os serpulídeos dominaram a colonização, mas ao fim de seis meses as populações destas espécies decresceram dando lugar a uma colonização mais variada, onde predominavam outros grupos de invertebrados como os porífera, antozoa, diferentes políquetas sésseis, crustáceos decápodes e moluscos gastrópodes e bivalves (Boaventura, Moura, Leitão, Carvalho,

Cúrdia, Pereira, Fonseca, Santos & Monteiro, 2006).

O processo de colonização biológica de substratos submersos inicia-se, invariavelmente, pela formação de um biofilme. Biofilmes são associações de microrganismos que colonizam superfícies duras submersas. Cobrem as rochas na zona intertidal e também a superfície externa de algumas plantas e animais marinhos. Estes biofilmes são fundamentais para a ecologia das costas rochosas pois influenciam a fixação dos invertebrados e das algas e constituem um importante recurso alimentar para os animais que se alimentam por raspagem do substrato (grazers). Os biofilmes começam a desenvolver-se rapidamente após a submersão de um objecto segundo uma sequência característica. Os estados iniciais do desenvolvimento de um biofilme são previsíveis e dependem das propriedades físico-químicas da superfície que influenciam a adsorção das substâncias orgânicas e inorgânicas da água circundante. Com o passar do tempo os factores biológicos vão-se tornando progressivamente mais importantes, à medida que as superfícies vão sendo colonizadas por bactérias, diatomáceas, protozoários, leveduras e estados iniciais de plantas e animais marinhos mais complexos (Thompson, Norton & Hawkins, 2004).

### 1.3 Incorporação de outras substâncias no betão

Cinzas industriais de várias procedências têm sido avaliadas como possíveis materiais residuais a incorporar em módulos de recifes artificiais. O desenvolvimento da colonização biológica foi semelhante à dos blocos de betão (Nelson, Savercool, Neth & Rodda, 1994).

A utilização de substâncias que enriquecem em matéria orgânica o bloco recifal permite o desenvolvimento mais rápido de um biofilme composto por microrganismos que por sua vez induzem a colonização por outros organismos (Crisp, 1974).

Em 1985, Woodhead, Parker & Duedall referiam-se a estudos, ainda em fase experimental, sobre a utilização nos R.A.'s de módulos de betão que incluíam na sua composição uma mistura de betão com resíduos da combustão de minérios.

Para minorar os custos de produção de R.A.'s têm sido testados vários materiais residuais tais como cinzas volantes pulverizadas, cinzas de incineradoras

e cinzas de centrais de produção de energia. Embora a resistência física dos módulos construídos com estes materiais não seja a mesma daqueles construídos só com betão, existem evidências a favor da integridade física e ambiental dos módulos construídos com base nestes materiais.

Diferentes espécies de seres vivos têm preferências diferentes em relação a recifes construídos com betão ou com produtos residuais da combustão de minérios, embora os grupos colonizadores sejam os mesmos (Woodhead & Jacobson, 1985).

Também as cinzas de incineração de óleos foram avaliadas como possíveis materiais residuais a incorporar em módulos de recifes artificiais. O desenvolvimento de colonização biológica foi semelhante à dos blocos de betão. Observou-se no entanto uma área significativamente maior de espaço não ocupado, o que se deve a uma maior facilidade com que as cracas *Balanus* sp. são arrancadas devido, provavelmente, à sua menor aderência a este substrato (Nelson et al, 1994).

A interacção química entre os blocos feitos a partir de cinzas de óleos incinerados e a água do mar, durante um período de dois anos e meio, confina-se à camada superficial do bloco (1cm). Monitorização química sobre elementos como Al, Ca, Cu, Mg, Pb, Si, V e Zn demonstrou que os metais se mantêm estáveis e não são retirados dos módulos feitos a partir de cinzas de óleos (Shieh & Duedall, 1994).

O conhecimento sobre a colonização inicial de substratos submersos e formação de biofilmes está bastante desenvolvido. Já em 1935, Zobell e Allen sugeriram que as bactérias marinhas estavam envolvidas na ocupação dos substratos sólidos pelas larvas dos invertebrados. Desde então tornou-se óbvio que os microrganismos exercem uma grande influência na fixação das larvas, imediatamente antes da metamorfose (Scheltema, 1974). O mecanismo desta fixação preferencial parece estar relacionado com a produção de certos compostos pelos microrganismos. Devido a estas evidências, a incorporação de matéria orgânica no betão dos R.A.'s, acelerando a formação do biofilme, parece justificar-se plenamente.

### 1.4 Descrição do projecto

A utilização da tecnologia dos R.A.'s é ainda algo incipiente em Portugal, existindo apenas recifes

artificiais (excluindo estruturas afundadas acidentalmente e estruturas de defesa costeira) no Algarve e na Ilha da Madeira, logo, em condições climáticas e biofísicas diferentes das que se observam na costa noroeste de Portugal. Encontrando-se a actividade pesqueira em crise devido, entre outros factores, à sobrepesca, à poluição e à pressão humana sobre as zonas húmidas que servem de maternidade às espécies, é de todo o interesse o estudo e desenvolvimento de tecnologias que contrariem esta situação e permitam a continuação do consumo de peixe e outros animais aquáticos aos níveis actuais, por parte das populações.

Destas tecnologias, as mais eficazes serão a aquacultura e a instalação de recifes artificiais, sendo a última aquela que permite a manutenção da pesca artesanal e portanto dos postos de trabalho, tendo uma função social importante para além da função económica. É então tempo, de se iniciarem estudos piloto de concepção, instalação e monitorização de recifes artificiais na costa norte, pois só assim será possível acumular os conhecimentos necessários à instalação destas estruturas numa escala industrial quando a sua necessidade se fizer sentir numa forma mais acentuada.

Este projecto-piloto constou da concepção e construção de dois grupos de módulos recifais cúbicos (28 x 28 x 28cm), em que foram testadas duas composições diferentes do betão. Construíram-se módulos de betão simples e módulos de betão ao qual se adicionaram lamas de depuração de esgotos domésticos provenientes de uma Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR). Com estes módulos criaram-se dois pequenos recifes que foram implantados no sublitoral da praia da Aguda, na costa norte de Portugal (Figura 1). Constituídos por oito módulos cada um, estes recifes foram montados num local conhecido como “Poço da Mourela”, situado a cerca de 150 metros da costa numa profundidade de 3 m, relativamente ao Z.H., e com as coordenadas 41° 2,947' N e 8° 39,404' W.

O desenvolvimento deste projecto teve uma justificação técnico-científica, mas também social e económica já que os conhecimentos obtidos poderão ser aplicados, no futuro, na implantação de recifes artificiais de maiores dimensões com objectivos de exploração económica.

A adição de lamas orgânicas de depuração de efluentes domésticos ao betão representou uma abordagem inovadora e teve como objectivo estudar o papel atractivo e potenciador da colonização da incorporação, no betão dos módulos recifais, de substâncias capazes de libertar nutrientes para o meio.

No sentido de atingir o objectivo principal, que era concluir sobre a importância prática da incorporação de matéria orgânica no betão, foram realizados os procedimentos seguintes:

- desenvolvimento de formas e composições adequadas de módulos recifais;
- instalação de conjuntos desses módulos com composições diferentes de betão;
- monitorização da colonização desses recifes por parte de organismos sésseis e também de espécies com vida livre.

## 2. MÉTODOS

### 2.1 Concepção e construção dos módulos

A concepção dos módulos obedeceu a um compromisso entre aquilo que se conhecia quanto à forma mais eficiente para estas estruturas e os meios que estiveram à disposição para a realização deste trabalho. Sendo assim optou-se por fabricar módulos com as medidas de 28 x 28 x 28cm para os tornar relativamente fáceis de transportar e permitir fazer vários tipos de arranjos espaciais.

A sua configuração era a de um cubo com orifícios em todas as faces, ligados a uma cavidade central.

A cofragem foi construída em chapa de aço de 3mm, sendo constituída por uma estrutura em “U” com 0,28m de altura, à qual se aparafusava uma placa rectangular com 0,28m de altura e 0,57m de comprimento. Obteve-se assim uma estrutura quadrangular que era depois subdividida em quatro por uma chapa de aço com 0,28m x 0,57m e duas outras com 0,28m x 0,28m (Figura 2 A).

A cavidade central de cada módulo foi criada por uma bola de papel à qual eram presas seis argolas de plástico com o diâmetro exterior maior que o diâmetro interior criando-se assim as aberturas laterais. Esta cofragem, montada num estrado de aglomerado de madeira permitia fazer quatro módulos recifais de cada vez (Figura 2 B).



Figura 1. Localização da praia da Aguda e do local da implantação dos recifes (seta a vermelho, 2,947' N e 8° 39,404' W). Imagem composta a partir de fragmentos retirados de <http://www.googleearth.com> e <http://www.it-geo.pt> (Portal Geográfico de Portugal).

Figure 1. The localization of Aguda's beach and the place (red arrow, 2,947' N e 8° 39,404' W) where the reefs were implanted. Image composed from <http://www.googleearth.com> and <http://www.it-geo.pt>.



Figura 2. A – Cofragem em chapa de ferro usada para a construção dos módulos. B – cofragem completa e pronta a ser betonada.

Figure 2. A - Mould of iron sheet used for the construction of modules. B – The complete mould ready to be filled with concrete.

A cofragem revelou-se bastante prática e de fácil manutenção. Por ser construída em aço não apresentou problemas de deterioração pela água. Os módulos resultantes apresentavam um peso médio de 30 kgf.

### 2.1.1 O betão

Na construção destes módulos usou-se cimento “Portland” misturado com inertes (areia fina) na proporção de 1:3 (25% de cimento e 75% de areia) e água.

Nos módulos recifais em cuja composição entraram as lamas de ETAR, a quantidade destas traduziu-se sempre numa diminuição da percentagem do inerte (areia) e nunca do ligante (cimento).

### 2.1.2 Incorporação de substâncias no betão

A incorporação, no betão, de lamas de ETAR destinou-se a introduzir neste substâncias capazes de fornecer nutrientes ao meio. A quantidade destas lamas a utilizar foi alvo dum estudo para ver até que ponto se poderia aumentar a sua proporção, sem comprometer demasiado a resistência do betão.

A proporção de lama a incluir foi sempre calculada em função da matéria seca e não do produto integral. As lamas, provenientes da ETAR de Parada, na Maia, tinham um teor médio de matéria seca de 34,76% com uma variabilidade muito grande de acordo com a humidade do ar. Os parâmetros físico-químicos eram os que constam do respectivo boletim de análise (Figura 3).

Constatou-se, porém, que devido ao lapso de tempo entre essa análise (realizada à saída do filtro de banda) e a altura em que as lamas eram utilizadas o teor em humidade variava bastante pelo que se optou por calcular, através de análise laboratorial, o teor em matéria seca das lamas imediatamente antes da sua utilização.

A determinação foi feita por secagem de uma amostra em estufa à temperatura de 105° C. A perda de peso corresponde ao teor de humidade da amostra.

As primeiras análises realizadas conduziram a um valor de matéria seca de 82,5% (média de 3 ensaios). Análises realizadas duas semanas mais tarde indicaram um teor de matéria seca de 67,7% (média de 3 ensaios).

Para se otimizar a quantidade de lama usada no betão foram realizados testes de resistência. Com

composições em que a percentagem de lama variava de 0 a 16%.

Na construção dos módulos que se utilizaram na montagem dos dois recifes e mediante o resultado destes testes optou-se por usar 12% de lama.

A análise à matéria seca da lama efectuada antes da sua incorporação no betão conduziu ao valor de 67,7%. Assim a incorporação de 12% de lama, referido ao teor de matéria seca correspondeu à utilização de 17,7% de lama fresca. Foram construídos dois grupos de módulos recifais com oito módulos cada um, com a composição apresentada na tabela 1.

A incorporação de 12% (matéria seca) de lama no betão dos módulos do recife L, não criou nenhum problema de resistência, não se tendo partido nenhum no momento da descofragem, nem no transporte e afundamento. No mar e durante o período de monitorização, mostraram-se adequados aos objectivos do trabalho.

### 2.1.3 Afundamento e configuração do recife

Os módulos recifais foram transportados numa embarcação de pesca, da frota da Aguda, até ao local de afundamento (41° 2,947' N e 8° 39,404' W).

Neste local a profundidade era de cerca de 3 m em relação ao Z.H., sendo uma zona mais profunda do que os fundos que a rodeiam. Estava protegido da ondulação, na baixa-mar, pela existência de rochas emersas a barlar. A maior altura da coluna de água (+ - 6m) e a configuração do próprio poço conferia uma certa estabilidade ao local durante a preia-mar.

O afundamento foi efectuada a partir da embarcação posicionada por cima do “Poço da Mourela”, os módulos foram descidos do barco até ao fundo com um cabo e seguidamente dois mergulhadores montaram os dois recifes experimentais, um com módulos de betão simples (recife B) e outro com módulos em cuja composição entraram lamas de ETAR (recife L). Cada recife era constituído por oito módulos, empilhados quatro a quatro, formando estruturas cúbicas, distanciadas três metros entre si.

Para que os módulos não sofressem deslocamentos, foram todos presos uns aos outros com abraçadeiras plásticas, formando assim blocos coesos com o peso de 240 kgf (Figura 4). Esta medida revelou-se prática e eficaz. Nenhum módulo sofreu

| Determinações analíticas   |          | Resultados     |
|--|----------|----------------|
| pH 1:5   |          | 5,50           |
| Humidade a 100 °C  | %        | 65,24          |
| Matéria seca   | %        | 34,76          |
| Matéria orgânica (Tinsley)   | %        | 21,55          |
| Carbono Orgânico   | %        | 12,50          |
| Azoto Total (Kjeldhal)   | %        | 0,48           |
| Azoto Amoniacal  | %        | 0,00           |
| Azoto Nítrico (método Devarda)                                       | %        | 0,03           |
| Cloretos (NaCl)  | %        | 0,04           |
| Fósforo Total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )                       | %        | 0,68           |
| Cálcio Total (CaO)   | %        | 0,86           |
| Magnésio Total (MgO)   | %        | 0,06           |
| Potássio Total (K <sub>2</sub> O)                                    | %        | 0,04           |
| Sódio Total (Na)   | %        | 0,02           |
| Fósforo Solúvel em H <sub>2</sub> O (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | %        | 0,01           |
| Cálcio Solúvel em H <sub>2</sub> O (Ca)                              | %        | 0,14           |
| Magnésio Solúvel em H <sub>2</sub> O (Mg)                            | %        | 0,02           |
| Potássio Solúvel em H <sub>2</sub> O (K <sub>2</sub> O)              | %        | 0,02           |
| Sódio Solúvel em H <sub>2</sub> O (Na)                               | %        | 0,01           |
| Enxofre (S)  | %        | 0,25           |
| Razão Carbono /Azoto   |          | 26             |
| Cobre (Cu)   | mg/Kg    | 184            |
| Zinco (Zn)   | mg/Kg    | 616            |
| Ferro (Fe)   | mg/Kg    | 1974           |
| Manganês (Mn)  | mg/Kg    | 144            |
| Crómio (Cr)  | mg/Kg    | 63             |
| Cobalto (Co)   | mg/Kg    | Vestigios      |
| Chumbo (Pb)  | mg/Kg    | 43             |
| Cádmio (Cd)  | mg/Kg    | Não detectável |
| Níquel (Ni)  | mg/Kg    | 21             |
| Condt. Eléctrica 1:5   | mmhos/cm | 3,053          |

**Ministério da Agricultura**  
**Direcção Regional de Entre-Douro e Minho**  
**Divisão de laboratórios**  
**Rua da Restauração, 336**  
**4050 Porto**

**Nome:** ETAR de Parada (Luságua S.A.)

**Endereço:** Rua Rodrigo Gonçalves Lage  
 Águas Santas 4470 Maia

**Produto:** Lama (composto final)

**Acondicionamento:** saco plástico

**Nº de Laboratório:** 260



**Obs.:** Os valores referem-se à substância original

Figura 3. Lamas utilizadas na construção dos módulos e sua composição química.

Figure 3. Chemical composition of the sludge used for the construction of the modules.

Tabela 1. Composição dos dois grupos de módulos.

Table 1. Composition of the two groups of modules.

| Componente | Grupo B (beto simples) | Grupo L (beto + lama) |
|------------|------------------------|-----------------------|
| Areia      | 75%                    | 63%                   |
| Cimento    | 25%                    | 25%                   |
| Lama       | 0,0%                   | 12%                   |

deslocamentos nem foi arrastado do local, mantendo-se no seu lugar até ao fim dos trabalhos.

#### 2.1.4 Acompanhamento e monitorização

Depois de atentamente estudados os métodos de monitorização de recifes, chegou-se à conclusão que nenhum deles se adaptava completamente ao trabalho



Figura 4. Recife artificial depois de montado no fundo. Os oito módulos que o constituem estão presos uns aos outros com abraçadeiras de plástico (esquerda). Pormenor da ligação entre os módulos (direita).  
Figure 4. Artificial reef after set-up on the bottom, and the eight modules attached to each other by plastic clips (left). Detail of the attachment of the modules (right).

em curso, já que a pequena dimensão dos recifes em causa permitia a sua observação e quantificação dos seres vivos na totalidade. Assim, elaborou-se um procedimento de compromisso entre os métodos consagrados.

Procedimento adoptado: o mergulhador/observador, imediatamente a seguir à sua chegada junto do recife fazia uma observação a uma distância de cerca de um metro (dependendo da visibilidade), durante cinco minutos; em seguida aproximava-se do recife e fazia uma contagem dos animais escondidos, bem como daqueles que não era possível ver do local da primeira observação; fazia ainda uma quantificação dos organismos sésseis e das algas. Este procedimento é repetido para cada um dos dois recifes, sendo a ordem das observações alterada em cada mergulho, minimizando-se assim o efeito na quantificação da fuga dos peixes entre os recifes e para outras áreas devido à presença do mergulhador. Com esta técnica era possível efectuar uma monitorização completa dos dois recifes em cerca de 30 minutos, o que era perfeitamente compatível com o tempo total de mergulho disponível.

O plano de monitorização teve que ser flexibilizado de acordo com o estado do mar e o cumprimento de princípios básicos de segurança. Realizaram-se, em média, dois mergulhos mensais com o objectivo de recolha de dados e um outro de

observação geral e destinado à cobertura fotográfica dos recifes (Figura 5). Foram efectuados um total de 16 mergulhos neste local e efectuadas sete amostragens com intervalos médios de quinze dias entre elas.

Os animais e as algas presentes nos recifes eram quantificados e os dados eram registados no local numa placa de fórmica para posterior tratamento. A monitorização, efectuada directamente por contagem integral dos organismos macroscópicos presentes em cada recife em cada mergulho/amostragem, revelou-se eficiente. Apenas o estado do mar e a má visibilidade na zona constituíram por vezes um obstáculo, ultrapassado sem problemas de maior pelo conhecimento do local e experiência dos mergulhadores envolvidos.

A utilização de placa de fórmica e lápis de grafite para o registo dos dados é um método simples e que conduz a bons resultados. A cobertura fotográfica dos recifes revelou-se problemática, pois a fraca visibilidade subaquática não possibilita, grande parte das vezes, a captação de boas imagens. Este facto impede que estudos subaquáticos, realizados na costa norte do país, desenvolvam o plano de monitorização baseado principalmente em métodos fotográficos.

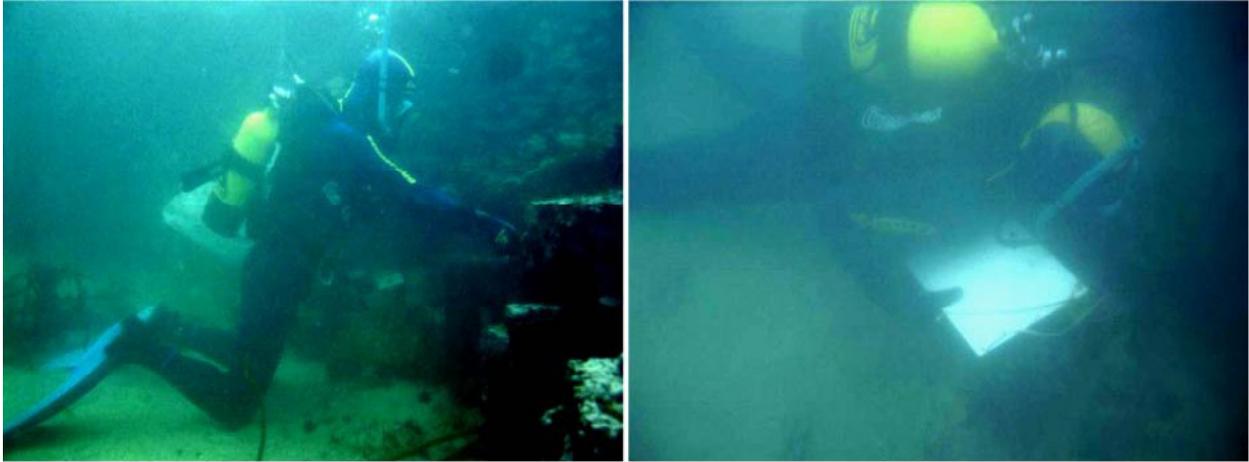


Figura 5. Monitorização dos recifes artificiais “Poço da Mourela”.  
Figure 5. Monitorization of the artificial reefs, “Poço da Mourela”.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Estudo comparado dos recifes

A colonização biológica dos dois recifes foi monitorizada durante 90 dias. Ao longo deste período foram efectuados sete mergulhos de monitorização, cujos resultados se resumem nas Tabelas 2 e 3 e nos gráficos das Figuras 6, 7, 8 e 9.

Com os dados recolhidos nas seis observações (na sétima observação os recifes encontravam-se assoreados) foi possível calcular a abundância, traduzida em número de indivíduos e a biodiversidade pelo cálculo da riqueza em espécies (S), índice de Shannon (H'), índice de equitabilidade de Pielou (J') e índice de Simpson.

Para estes cálculos usaram-se apenas os dados referentes aos animais pois não foi possível identificar as algas, em fase inicial de crescimento. No caso das algas apenas se contabilizou a área ocupada por algas verdes e por algas vermelhas.

A quantificação das algas foi efectuada por percentagem de cobertura da superfície livre da face superior dos recifes. A evolução temporal da respectiva taxa de cobertura e do comprimento das macroalgas está representada nos gráficos das Figuras 6 e 7.

As macroalgas verdes pertenciam ao género *Ulva* e foram quantificadas em conjunto pois nos primeiros estádios de desenvolvimento a sua identificação *in loco* não é possível.

As algas vermelhas também não puderam ser identificadas devido ao seu incipiente estágio de desenvolvimento.

O recife B não chegou a ser colonizado por algas vermelhas durante o período de monitorização.

A rápida ocupação pelas algas da superfície dos recifes e o seu crescimento acentuado é um factor importante na naturalização dos recifes artificiais, contribuindo para um eficaz desenvolvimento do ecossistema. Com efeito a presença das algas atrai os herbívoros que por sua vez atraem os predadores atingindo-se rapidamente altos níveis de produção.

A maior área de ocupação das algas no recife com módulos de betão enriquecido com lamas (recife L) é muito evidente (Figura 6) e deve-se, provavelmente, ao facto dos esporos encontrarem aí melhores condições de nidacção e crescimento, devido ao melhor desenvolvimento do biofilme, o que está de acordo com estudos publicados sobre este tema específico (Crisp, 1974; Nelson et al, 1994; Woodhead & Jacobson, 1985; Scheltema, 1974; Zobell, 1935).

O crescimento das algas foi substancialmente maior no recife L do que no recife B (Figura 7), aproximando-se mesmo de um crescimento exponencial no caso das algas verdes. Esta diferença no crescimento poderá ser explicada pela libertação de nutrientes a partir do betão enriquecido com lamas. As algas são organismos que absorvem nutrientes da água directamente através da fronde pois não possuem raízes. Sendo assim, em face destes resultados, poder-

se-á colocar a hipótese de que o ligeiro aumento da concentração de nutrientes em solução na água na proximidade do recife L foi responsável por estas diferenças de crescimento.

Em relação aos animais o número de indivíduos presentes no recife L foi superior ao apresentado pelo recife B em três das seis amostragens, atingindo um valor quase duas vezes superior na última amostragem. O aumento constante do número de indivíduos no recife L contrasta com a oscilação desse número no recife B, o que pode ser indício de uma maior permanência e menor mobilidade dos indivíduos que colonizaram o recife L (Figura 8).

As oscilações da abundância nas primeiras três amostragens poderão estar relacionadas com o padrão de excesso, do número de espécies ou de indivíduos recrutados, que surge na primeira colonização dum

recife recém-criado de que falam autores como Prince & Maugham (1979) e Grant, Wilson, Grover, & Togstad, (1982).

Quanto à diversidade verificou-se que o número de espécies (S), foi sempre superior no recife L do que no recife B. Esta maior diversidade em espécies deve-se provavelmente à maior riqueza e abundância da cobertura de algas (Figura 9 A).

A equitabilidade, ou seja, a distribuição do número de indivíduos pelas espécies presentes, apresentou sempre valores significativamente mais elevados para o recife de betão com lamas (recife L) (Figura 9 B).

A diversidade medida pelo índice de Shannon (H') apresentou valores significativamente maiores no recife L do que no recife B, em todas as amostragens (Figura 9 C).

Tabela 2. Espécies e indivíduos observados no recife B (módulos de betão simples).

Table 2. Species and individuals observed at ref B (modules of simple concrete).

| Recife B   | Amostragens |             |             |             |             |             |            | Total |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------|
|  | A<br>19 Jun | B<br>28 Jun | C<br>8 Jul  | D<br>19 Jul | E<br>2 Ago  | F<br>13 Ago | G<br>1 Set |       |
| ouriço-do-mar<br>( <i>Paracentrotus lividus</i> )    |             | 25          | 20          | 55          | 45          | 35          | -          | 180   |
| estrela-do-mar<br>( <i>Asterias rubens</i> )         |             |             |             |             |             |             | -          |       |
| estrela-do-mar<br>( <i>Marthasterias glacialis</i> ) |             |             |             |             |             |             |            |       |
| anémone ( <i>Anemonia sulcata</i> )                  |             |             |             | 2           | 4           | 4           | -          | 10    |
| navalheira ( <i>Necora puber</i> )                   | 1           | 2           | 1           |             |             |             | -          | 4     |
| gastrópode<br>( <i>Gibbula umbilicalis</i> )         |             | 1           |             | 1           |             |             | -          | 2     |
| gastrópode<br>( <i>Calliostoma zizyphinum</i> )      |             |             |             |             |             |             | -          |       |
| choco ( <i>Sepia officinalis</i> )                   |             |             |             |             |             |             | -          |       |
| maragota<br>( <i>Parablennius gattorugine</i> )      |             |             |             | 2           | 1           | 2           | -          | 5     |
| maragota<br>( <i>Coryphoblennius galerita</i> )      |             |             |             |             |             |             | -          |       |
| caboz ( <i>Gobius</i> sp.)                           |             |             |             |             | 1           |             | -          | 1     |
| bodião ( <i>Symphodus melops</i> )                   |             |             |             |             | 1           |             | -          | 1     |
| sargo ( <i>Diplodus</i> sp.)                         |             |             |             |             |             |             | -          |       |
| Total de espécies                                    | 1           | 3           | 2           | 4           | 5           | 4           | -          | 7     |
| Total de indivíduos                                  | 1           | 28          | 21          | 60          | 52          | 41          | -          | 203   |
| algas verdes<br>(taxa de ocupação e comprimento)     | 0%          | 10%<br>1 cm | 30%<br>2 cm | 60%<br>4 cm | 60%<br>5 cm | 25%<br>5 cm | -          |       |
| algas vermelhas<br>(taxa de ocupação e comprimento)  | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          | 0%          |            |       |

Tabela 3. Espécies e indivíduos observados no recife L (módulos de betão com lamas).  
 Table 3. Species and individuals observed at reef L (modules of concrete with sludge).

| Recife L   | Amostragens |             |             |             |              |              |            | Total |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|------------|-------|
|  | A<br>19 Jun | B<br>28 Jun | C<br>8 Jul  | D<br>19 Jul | E<br>2 Ago   | F<br>13 Ago  | G<br>1 Set |       |
| ouriço-do-mar<br>( <i>Paracentrotus lividus</i> )    | 3           | 16          | 17          | 23          | 30           | 35           | -          | 124   |
| estrela-do-mar<br>( <i>Asterias rubens</i> )         |             |             |             |             | 1            | 1            | -          | 2     |
| estrela-do-mar<br>( <i>Marthasterias glacialis</i> ) | 1           |             |             | 1           | 1            |              | -          | 3     |
| anêmona ( <i>Anemonia sulcata</i> )                  | 1           |             | 2           | 4           | 10           | 10           | -          | 27    |
| navalheira ( <i>Necora puber</i> )                   |             | 2           | 2           | 2           | 2            | 3            | -          | 11    |
| gastrópode<br>( <i>Gibbula umbilicalis</i> )         |             |             |             | 2           |              | 2            | -          | 4     |
| gastrópode<br>( <i>Calliostoma zizyphinum</i> )      |             | 2           |             |             |              | 2            | -          | 4     |
| choco ( <i>Sepia officinalis</i> )                   |             |             |             |             | 1            |              | -          | 1     |
| maragota<br>( <i>Parablennius gattorugine</i> )      | 1           | 3           | 4           | 2           | 2            | 3            | -          | 15    |
| maragota<br>( <i>Coryphoblennius galerita</i> )      |             |             |             | 2           | 1            | 4            | -          | 7     |
| caboz ( <i>Gobius</i> sp.)                           |             |             |             | 1           |              | 1            | -          | 2     |
| bodião ( <i>Symphodus melops</i> )                   |             |             |             | 1           | 2            | 2            | -          | 5     |
| sargo ( <i>Diplodus</i> sp.)                         |             |             |             | 2           | 1            | 6            | -          | 9     |
| Total de espécies                                    | 4           | 4           | 4           | 10          | 10           | 11           |            | 13    |
| Total de indivíduos                                  | 6           | 23          | 25          | 40          | 51           | 69           |            | 214   |
| algas verdes<br>(taxa de ocupação e comprimento)     | 0%          | 50%<br>2 cm | 60%<br>4 cm | 60%<br>7 cm | 70%<br>10 cm | 70%<br>15 cm | -          |       |
| algas vermelhas<br>(taxa de ocupação e comprimento)  | 0%          | 0%          | 0%          | 30%<br>1 cm | 30%<br>2 cm  | 30%<br>3 cm  | -          |       |

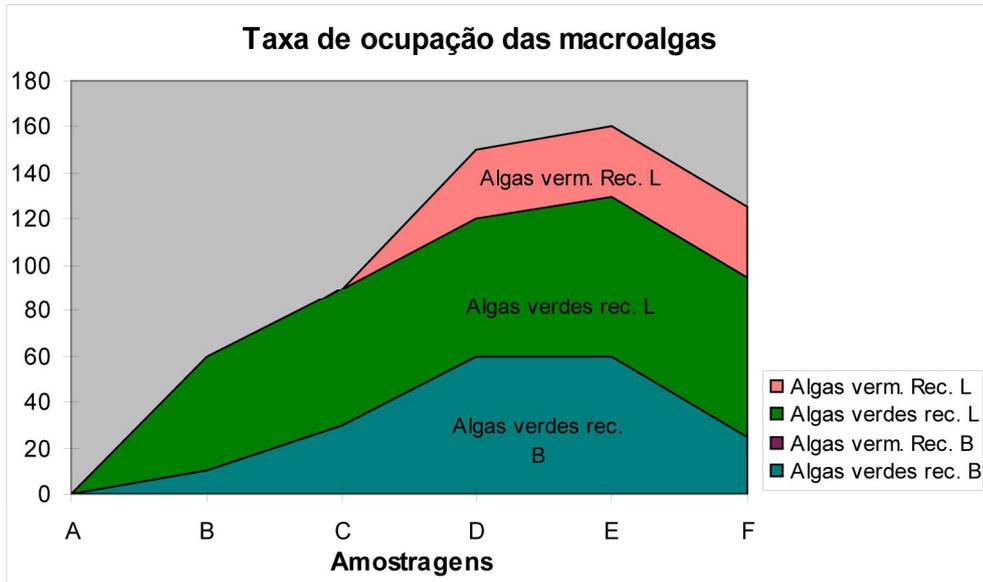


Figura 6. Taxa de ocupação das macroalgas representada em áreas relativas. A área ocupada pelas macroalgas verdes foi sempre maior no recife L do que no recife B. As algas vermelhas colonizaram o recife L sensivelmente a meio do período de monitorização, nunca chegando a crescer no recife B.

Figure 6. Coverage rate of macroalgae represented by relative areas. The area occupied by the green macroalgae was always greater on the reef L than on the reef B. The red algae colonized the reef L in the middle of the study period but they never grew on the reef B.

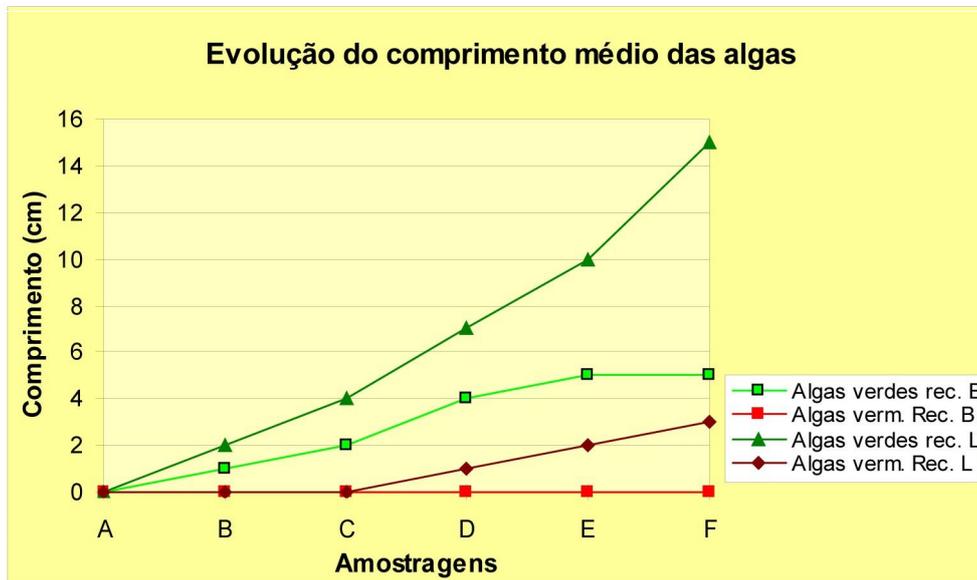


Figura 7. Evolução do comprimento médio das macroalgas nos recifes B e L. As algas verdes apareceram primeiro e cresceram mais no recife L do que no recife B. As algas vermelhas não chegaram a crescer no recife B.

Figure 7. Evolution of the mean length of the macroalgae on the reefs B and L. The green algae showed up first and grew more on the reef L than on the reef B. The red algae did not grow at all on reef B.

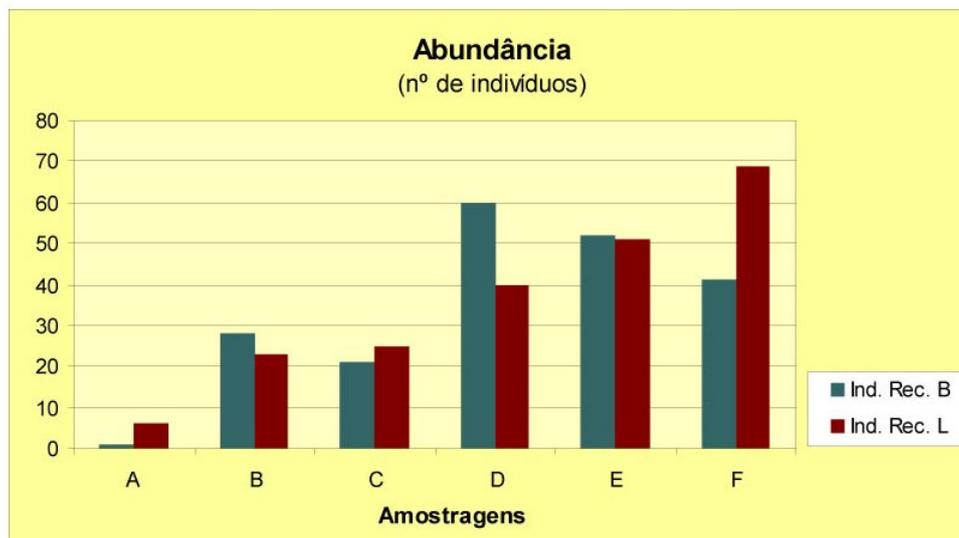


Figura 8. Evolução temporal da abundância (número de indivíduos) nos recifes B e L.

Figure 8. Temporal evolution of the abundance (number of individuals) at the reefs B and L.

Também o índice de diversidade de Simpson teve sempre valores superiores no recife L do que no recife B (Figura 9 C).

Na atracção dos animais marinhos pelos recifes, o recurso alimento assume uma menor importância do que o abrigo, pelo menos no início da colonização, já que os peixes colonizam os R.A.'s num espaço de tempo muito curto, quando estes ainda não lhes podem fornecer alimento (Sale, 1980).

Mottet (1981) afirma que os recifes artificiais ou naturais não têm necessariamente que produzir alimento para atrair os peixes.

Neste trabalho verificou-se que os animais marinhos apresentam uma apetência e curiosidade inatas por estruturas susceptíveis de lhes proporcionar abrigo, observando-se que alguns segundos após a colocação dos módulos recifais no "Poço da Mourela", os mesmos foram rodeados por peixes curiosos (blenídeos e sargos). A 19 de Junho, quatro dias após a sua implantação, era já possível encontrar nos recifes, para além dos peixes, alguns crustáceos como as navalheiras (*Necora puber*) (Figura 10).

Nas Figuras 11 e 12 pode observar-se o estado de colonização biológica em que se encontravam os recifes no dia 15 de Julho, um mês após a sua implantação. O domínio dos ouriços (*Paracentrotus*

lividus) no recife B (Figura 11), indicando baixa diversidade, contrasta com o maior desenvolvimento das algas e a maior diversidade encontrada no recife L (Figura 12).

No mergulho efectuado em 1 de Setembro verificou-se que os recifes estavam assoreados. O recife L encontrava-se assoreado em 50% e o recife B estava completamente assoreado (Figura 13). Este facto impediu a recolha de dados nesse dia, que seria a última amostragem. Ultrapassadas as questões logísticas, o assoreamento pode constituir um obstáculo ao estudo da colonização biológica de recifes artificiais e ao pleno desempenho destas estruturas.

Visto que, normalmente, faz sentido implantar Recifes Artificiais onde os fundos são arenosos, pois é aí que a sua implantação vai fazer diferença, o assoreamento é, obviamente, um problema. Esta questão pode ser ultrapassada pelo aumento da dimensão do Recife Artificial e também pelo seu design, introduzindo, por exemplo, uma base, permeável à areia, que aumente a altura do recife em relação ao fundo e que, em caso de assoreamento, permita que a parte mais importante do recife continue a ser utilizada pelos seres vivos.

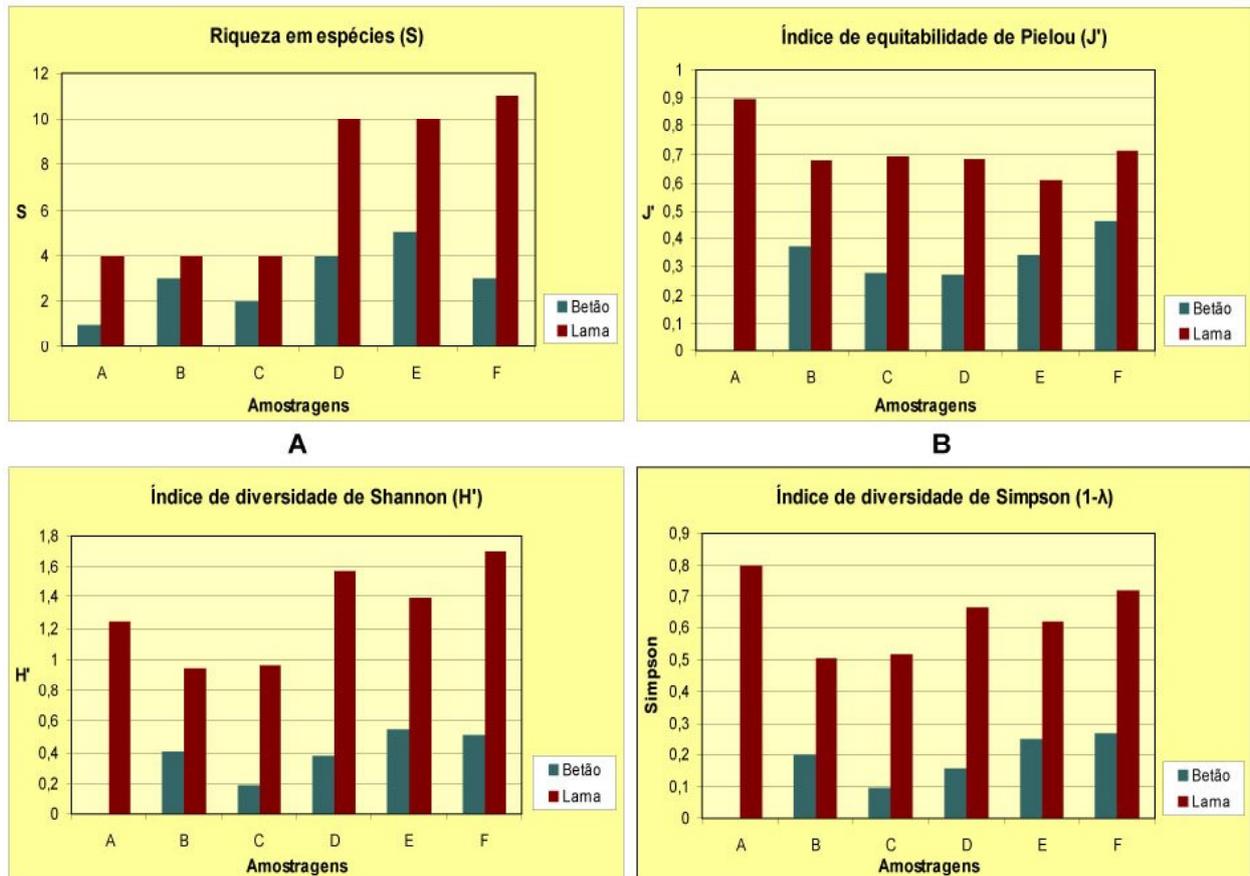


Figura 9. Evolução temporal da diversidade e equitabilidade. Recife de betão simples versus recife de betão com lama de ETAR.

Figure 9. Temporal evolution of diversity and equitability. Concrete reef versus concrete reef enriched with sludge

### 3.2 Análise dos dados

#### Abundância

Os dados foram analisados com técnicas multivariadas não-paramétricas. A similaridade das amostras foi calculada através do coeficiente de Bray-Curtis depois dos dados terem sido transformados pela raiz-quadrada (Clarke & Gorley, 2001). Foi usada a ordenação multidimensional não-métrica (nMDS) para produzir diagramas de ordenação bidimensionais (Figura 14).

A análise de similaridade foi efectuada através do teste One-way ANOSIM. Testou-se a hipótese nula da não existência de diferenças significativas entre os locais de amostragem para a abundância traduzida pelo número de indivíduos.

As amostragens foram tratadas em dois conjuntos

pois, se analisadas globalmente, a variabilidade dentro dos grupos era maior que a variabilidade entre grupos diferentes e assim mascarava as diferenças entre os grupos em estudo.

Para que fosse possível tratar os dados referentes às algas em conjunto com os dados referentes aos animais, estabeleceu-se uma correspondência entre a taxa de cobertura e o número de indivíduos atribuindo-se 25 indivíduos a cada 10% de taxa de cobertura.

A Figura 14 mostra os diagramas de ordenação multidimensional não-métrica (nMDS) para as 6 amostragens, agrupadas em dois conjuntos, que englobam as três primeiras amostragens (A, B e C) e as três seguintes (D, E e F). Note-se que o valor do stress é sempre inferior a 0,1 o que significa que os diagramas constituem uma boa ordenação servindo



Figura 10. Maragotas (*Parablennius gattorugine*) e uma navalheira (*Necora puber*) no recife artificial, quatro dias após a sua implantação.

Figure 10. Blennies (*Parablennius gattorugine*) and a velvet swim crab (*Necora puber*) at the artificial reef, four days after its implantation.



Figura 11. Recife B no dia 15 de Julho. As algas verdes estavam ainda no início do seu desenvolvimento. O ouriço-do-mar *Paracentrotus lividus* era a espécie dominante.

Figure 11. Reef B at the 15<sup>th</sup> of July. The green algae were still in the beginning of their development. The sea-urchin *Paracentrotus lividus* was the dominant species.



Figura 12. Recife L no dia 15 de Julho. As algas verdes apresentam-se já bem desenvolvidas. Observava-se um maior equilíbrio nas espécies presentes.

Figure 12. Reef L at the 15<sup>th</sup> of July. The green algae are already well developed. A better equilibrium between the species showed up.



Figura 13. Recife completamente assoreado. Apenas é possível observar as extremidades das abraçadeiras de plástico.

Figure 13. Reef completely covered by sand. It was only possible to observe the extremities of the plastic clips.

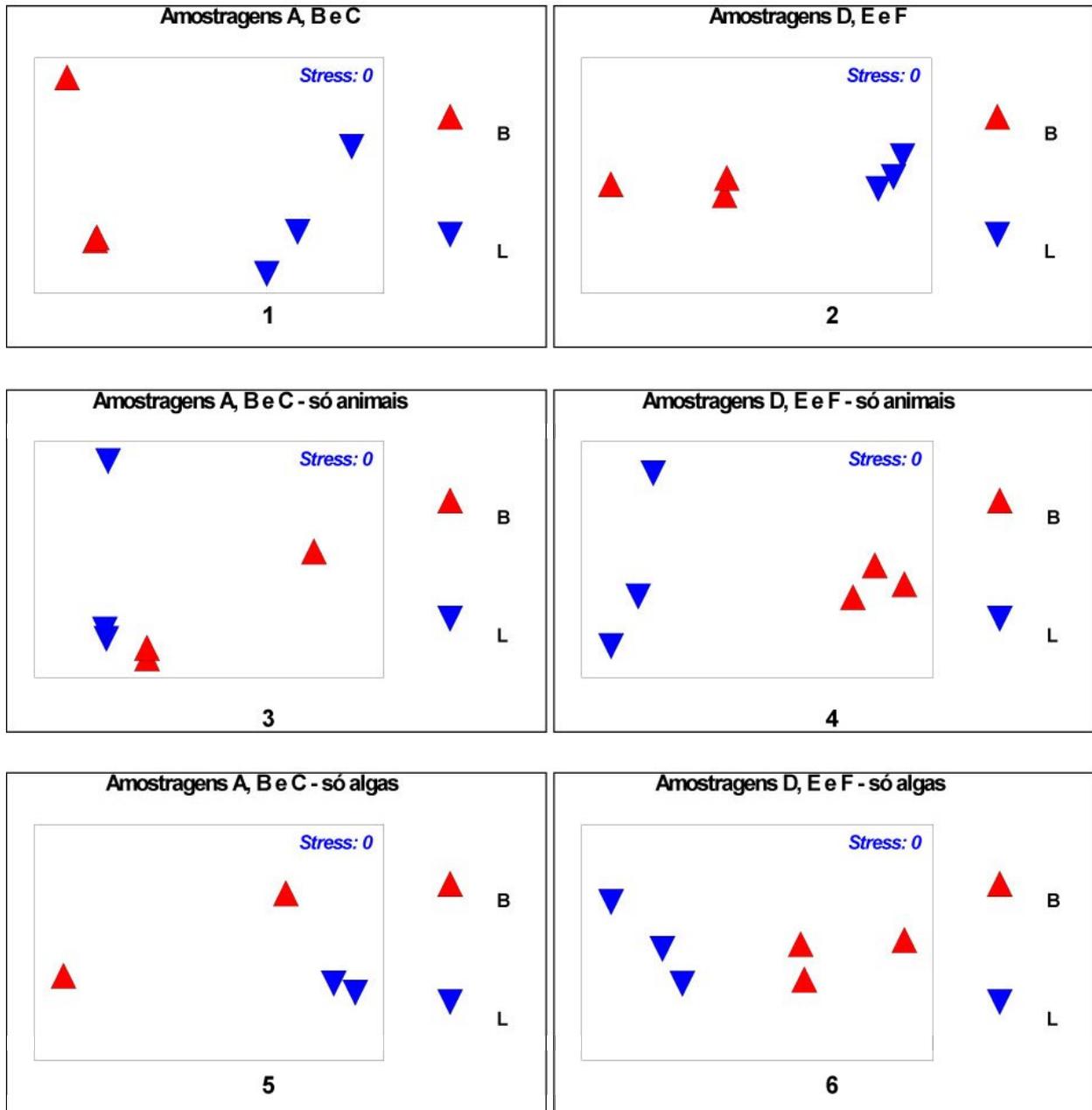


Figura 14. Diagramas de ordenação multidimensional não-métrica (nMDS) para os dois conjuntos de amostragens A, B, C e D, E, F. Os diagramas 1 e 2 consideram a totalidade dos organismos, enquanto que os diagramas seguintes separam os animais das algas.

Figure 14. Two-dimensional MDS ordination plots (n-MDS) for 2 groups of samples (A, B, C and D, E, F). The plots 1 and 2 consider the totality of organisms. The other plots separated animals from algae.

para verificar as similaridades ou diferenças significativas entre os grupos nessa amostragem. Pode então referir-se que, em relação à abundância, no conjunto das três primeiras amostragens, um período de aproximadamente 40 dias, as diferenças entre o recife de betão simples e o recife de betão com incorporação de lama eram estatisticamente significativas para a fauna e a flora em conjunto e para as algas isoladamente. Em relação à abundância faunística, embora o número de indivíduos seja superior no recife L (com lama) do que no recife B (betão simples) as diferenças não se mostram estatisticamente significativas.

Para o conjunto das três amostragens seguintes, também um período de cerca de 40 dias, a hipótese nula de não existência de diferenças entre os dois tipos de recife é sempre rejeitada, sendo as diferenças entre o recife de betão simples e o recife de betão com incorporação de lama estatisticamente significativas quer seja considerada a fauna e a flora isoladamente ou em conjunto. Os valores de R (Tabela 4) confirmam a análise efectuada com base nos diagramas nMDS.

#### Diversidade

Tal como se procedeu na análise dos dados para a abundância, também para a biodiversidade os dados foram analisados com técnicas multivariadas não-

paramétricas. A similaridade das amostras foi calculada através da distância Euclidiana normalizada (Normalised Euclidean Distance), dado que os valores dos índices tinham diferentes escalas de medida (Clarke & Gorley, 2001). Neste caso os dados não sofreram transformações. Foi usada a ordenação multidimensional não-métrica (nMDS) para produzir diagramas de ordenação bidimensionais (Figuras 15, 16 e 17).

Biodiversidade - índices S, J', H' e Simpson

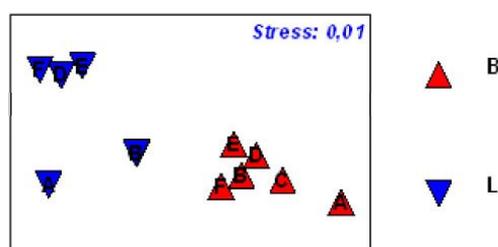


Figura 15. Diagrama de ordenação multidimensional não-métrica (nMDS) para os quatro índices ecológicos analisados em conjunto.

Figure 15. Two-dimensional MDS ordination plots (nMDS) for the four ecological indices, analyzed together.

Tabela 4. One-way ANOSIM. R Global e probabilidade associada.

# não-significativo: R demasiado pequeno;  $p > 0,05$ .

Table 4. One-way ANOSIM. Global R and associated probability.

# non-significant: R too small;  $p > 0,05$ .

| AMOSTRAS             | R GLOBAL | P       |
|----------------------|----------|---------|
| A, B, C              | 1        | 0,001   |
| A, B, C - só animais | # 0,296  | 0,001   |
| A, B, C - só algas   | 0,5      | # 0,333 |
| D, E, F              | 1        | 0,001   |
| D, E, F - só animais | 1        | 0,001   |
| D, E, F - só algas   | 1        | 0,001   |

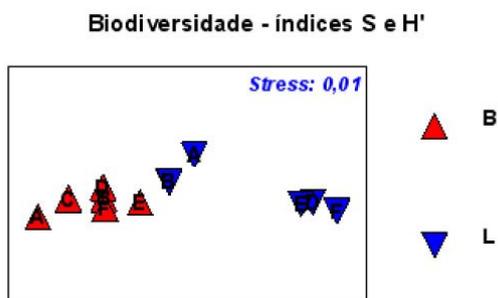


Figura 16. Diagrama de ordenação multidimensional não-métrica (nMDS) para a riqueza em espécies (S) e índice de diversidade de Shannon (H').

Figure 16. Two-dimensional MDS ordination plots (nMDS) for the richness of species (S) and Shannon's diversity (H').

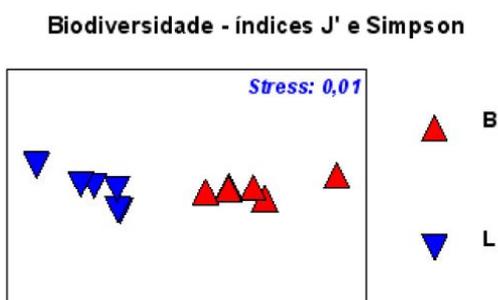


Figura 17. Diagrama de ordenação multidimensional não-métrica (nMDS) para o índice de equitabilidade de Pielou (J') e índice de diversidade de Simpson.

Figure 17. Two-dimensional MDS ordination plots (nMDS) for Pielou's evenness (J') and Simpson's diversity.

A análise de similaridade foi efectuada através do teste One-way ANOSIM. Testou-se a hipótese nula da não existência de diferenças significativas entre os locais de amostragem para a biodiversidade (Tabela 5).

Os índices ecológicos foram tratados em conjunto de modo a permitir a análise multivariada (Clarke & Gorley, 2001). Numa primeira fase analisaram-se os quatro índices em conjunto (Figura 15) e depois realizou-se uma análise dois a dois, agrupando-se os índices que dão mais ênfase à quantidade de espécies presente (S e H') (Figura 16) e os que atribuem maior importância à equitabilidade (J' e Simpson) (Figura 17).

Tabela 5. One-way ANOSIM. R Global e probabilidade associada.

Table 5. One-way ANOSIM. Global R and associated probability.

| ÍNDICES             | R GLOBAL | P     |
|---------------------|----------|-------|
| S, J', H' e Simpson | 0,85     | 0,002 |
| S e H'              | 0,64     | 0,002 |
| J' e Simpson        | 0,95     | 0,002 |

Desta análise pode retirar-se que no que respeita à biodiversidade o recife de betão simples (B) e o recife de betão com lamas (L) apresentavam diferenças estatisticamente significativas. A biodiversidade do recife L foi sempre superior à do recife B quer do ponto de vista do número de espécies quer da equitabilidade. Outra ilação que se pode obter da análise dos diagramas de ordenação das Figuras 15 e 16 é que as amostragens no recife L formam dois grupos distintos, sendo um deles constituído pelas três primeiras amostragens (A, B, e C) e o outro pelas três restantes (D, E e F). As amostragens no recife B não evidenciaram grupos distinguíveis entre si. Este facto significa que do início para o fim da experiência houve um aumento estatisticamente significativo da diversidade no recife L, não acontecendo o mesmo no recife B. Este aumento de diversidade no recife L relacionou-se com o número de espécies, já que na equitabilidade, como se pode ver no diagrama da Figura 17, não existe uma separação de grupos no recife L.

#### 4. CONCLUSÕES

As águas costeiras portuguesas possuem características hidrológicas e físico-químicas que lhes conferem uma alta produtividade, nomeadamente nas zonas e alturas do ano em que ocorrem fenómenos de "upwelling" e nas proximidades de estuários. Os nutrientes, devido ao grande número de cursos de água que desaguam na costa, também nunca foram um factor limitante. Estas condições permitiram sempre boas pescarias e fomentaram o desenvolvimento de inúmeras localidades piscatórias e portos que alcançaram notoriedade. Também no que respeita aos recursos humanos Portugal se

salientou, sendo os pescadores portugueses reconhecidos em todo o mundo como ótimos profissionais, destacando-se na pesca ao bacalhau, na pesca do atum e na arte do cerco à sardinha. Todavia as pescas atravessam, no país, um período de crise com várias causas, das quais a má gestão dos stocks, a falta de fiscalização eficaz e o abandono do sector pelas camadas mais jovens são as principais e as mais vezes citadas.

Com uma costa bastante extensa e uma Zona Económica Exclusiva (Z.E.E.) das maiores entre os países europeus, tem de ser feito um esforço para inverter tal situação.

A tecnologia dos Recifes Artificiais tem, assim, uma grande aplicabilidade em Portugal pois todos papéis, reconhecidamente desempenhados por estas estruturas, teriam o seu lugar numa gestão integrada e sustentável do mar português.

Os R.A.'s podem ser usados em Portugal como forma de fomentar as pescarias criando novos habitats em locais pouco produtivos e também para proteger espécies economicamente importantes que se encontram em declínio. Podem ser utilizados como forma de prevenir a penetração do arrasto ilegal em zonas interditas a esta arte de pesca, transformando-se assim em instrumentos de gestão das pescas. Servir como estruturas para a defesa costeira é outra das vocações dos R.A.'s que também pode ser posta em prática na costa ocidental portuguesa.

A natureza do material não é o mais importante nos R.A.'s mas sim a textura e rugosidade das superfícies. O betão, tido como melhor material para fabricar módulos recifais por vários autores devido à facilidade com que pode ser moldado em formas estruturais complexas, viu neste trabalho confirmada essa excelência pois só um material com as características do betão permite a incorporação de substâncias que forneçam nutrientes ao meio, propósito principal deste trabalho.

A colonização dos módulos de betão é eficiente e rápida e a incorporação de lamas de ETAR no betão mostrou ser fundamental na aceleração dessa colonização. O recife construído com módulos em cuja composição entraram lamas na proporção de 12% (matéria seca) foi o que apresentou um crescimento mais precoce e acentuado da camada secundária de colonização biológica. Os animais

mostraram ter preferência por este recife, que apresentou valores significativamente mais elevados para a abundância e para a diversidade.

A incorporação de lamas de ETAR no betão é fácil e não prejudica acentuadamente a sua resistência constituindo uma tecnologia a ser usada no futuro.

Hoje em dia as lamas de ETAR têm múltiplos aproveitamentos, já não sendo um produto de desperdício como há alguns anos atrás. No entanto, como as quantidades utilizadas são pequenas, será sempre possível, no futuro, estabelecer protocolos com câmaras municipais no sentido de se obterem lamas com custos reduzidos.

A costa ocidental portuguesa e a economia nacional teriam muito a ganhar com a instalação de vários pequenos recifes nas zonas menos produtivas que poderiam ser geridos e explorados por comunidades de pescadores da sua área de influência, supervisionadas pelo respectivo ministério através dos institutos ligados às pescas e ao mar.

Como dificuldades à implementação destas políticas podem referir-se as dificuldades de associação e as divisões patentes na classe piscatória bem como o excesso de entidades ligadas à gestão do litoral com a consequente e nefasta dispersão e indefinição de competências.

Uma melhor definição dessas competências e uma maior capacidade associativa dos pescadores são então necessárias para o êxito de projectos de instalação de R.A.'s no nosso país.

A par das questões técnicas, as quais são já bem dominadas nos nossos dias, colocam-se as questões logísticas, sendo essencial para o sucesso destes projectos a existência de meios adequados e de um bom planeamento.

## BIBLIOGRAFIA

### Artigos:

Antsulevich, A.E. & Bugrova, L.A. (1989) - Hydrobiological criterias for design for artificial reefs. SU Conference for Scientific and Technical Problems of Mariculture in the Country, Vladivostok:220-221.

Antsulevich, A.E., Laihonon, P. & Vuorinen, I. (2000) - Employment of Artificial Reefs for Environmental Maintenance in the Gulf of

- Finland. in A.C. Jensen et al (eds), *Artificial Reefs in European Seas*:319-329.
- Baynes, T.W. & Szmant, A.M. (1989) - Effect of current on the sessile benthic community structure of an artificial reef. *Bulletin of Marine Science* 44(2):547-566.
- Boaventura, D., Moura, A., Leitão, F., Carvalho, S., Cúrdia, J., Pereira, P., Cancela da Fonseca, L., Santos, M.N. & Monteiro C.C. (2006) - Macrobenthic colonization of artificial reefs on the southern coast of Portugal (Ancão, Algarve). *Hydrobiologia* 555:335-343.
- Bombace, G. (1989) - Artificial Reefs in the Mediterranean Sea. *Bull. Mar. Sci.* 44:1023-1032.
- Bohnsack, J.A. (1994) - Effects of Reef Size on Colonization and Assemblage Structure of Fishes at Artificial Reefs of Southeastern Florida, U.S.A. *Bull. Mar. Sci.* 44:631-645.
- Bohnsack, J.A., & Sutherland, D.L. (1985) - Artificial Reef Researches: a review with recommendations for future priorities. *Bulletin of Marine Science.* 37(1):11-39.
- Campos, J.A. & Gamboa, C. (1989) - An Artificial Tile-Reef in a Tropical Marine System: a Management Tool. *Bull. Mar. Sci.*, 44(2):757-766.
- Chang, K., Lee, S.C. & Shao, K.T. (1977) - Evaluation of Artificial Reef Efficiency Based on the Studies of a Model Reef Fish Community Installed in North Taiwan. *Bull. Inst. Zool. Acad. Sinica*:16-23.
- Chojnacki, J.C. (2000) - Environmental Effects of Artificial Reefs in the Southern Baltic (Pomeranian Bay). *Artificial Reefs in European Seas*, 307-317. A.C. Jensen et al. (eds), Kluwer Acad. Publs.
- Collins, K.J., Jensen, A.C. & Lockwood, A.P.M. (1992) - Stability of coal waste artificial reef. *Chemistry and Ecology.* 6:79-93.
- Collins, K.J., Jensen, A.C. & Mallison, J.J. (1996) - Observations of wrasse on an artificial reef. In Sayer, M.D.J., Treasurer, J.W. & Costello, M.J. (eds) *Wrasse: Biology and Use in Aquaculture.* Oxford: Blackwell Scientific Ltd.:47-54.
- Chua, C.Y.Y. & Chou, L.M. (1994) - The Use of Artificial Reefs in Enhancing Fish Communities in Singapore. NATL Univ. Singapore, dept zool.,10 Kent. Ridge Crescent, Singapore 0511, Singapore JN: *Hydrobiologia*, Vol.285, N°1-3:177-187 IS: 0018-8158 AB.
- Eggleston, D.B., Lipcius, R.N., Miller, D.L. & Cobaceta, L. (1990) - Shelter Scaling Regulates Survival of Juvenile Caribbean Spiny Lobster *Palinurus argus*. *Marine Ecology Prog. Series* 63:79-88.
- Grant, J.J., Wilson, K.C., Grover, A. & Togstad, H.A. (1982) - Early Development of Pendleton Artificial Reef. *Mar. Fish. Rev.* 44 (6-7):53-60.
- Guillén, J.E., Ramos, A.A., Martínez, L. & Lizaso, J.L.S. (1994) - Anti-Trawling Reefs and the Protection of *Posidonia oceanica* (L.). *Delile Meadows in the Western Mediterranean Sea: demands and aims*, *Bull. Mar. Sci.*, 55(2-3):645-650.
- Hixon, M.A. & Beets, J.P. (1989) - Shelter Characteristics and Caribbean Fish Assemblages: Experiments With Artificial Reefs. *Bulletin of Marine Science* 44:666-668.
- Khailov, K.M., Zavalko, S.E. & Kamenir, Y.G. (1987) - Biological and physical parameters of marine fouling and artificial reef design. *Actas da SU Conf. (Artificial reefs for fishery)*, VNIRO, Moscow:35-57.
- Kung-Hsiung, C. (1985) - Review on artificial reefs in Taiwan: emphasising site selection and effectiveness. *Bulletin of Marine Science.* 37(1):143-150.
- Lindahl, O., Hart, R., Hernroth, B., Kollberg, S., Ioo, I., Olrog, L., Rehnstam-Holm, A., Svensson, J., Svensson, S. & Syversen, U. (2005) - Improving Marine Water Quality by Mussel Farming: A Profitable Solution for Swedish Society. *Ambio*, Vol. 34, No. 2:131-138.
- McGurrin, J.M., Stone, R.B. & Sousa, R.J. (1989) - Profiling United States Artificial Reef Development. *Bulletin of Marine Science* 44:1004-1013.
- Molles, M.C. (1978) - Fishes Species Diversity on Model and Natural Patch Reefs: Experimental Insular Biogeography. *Ecological Monographs* 42:289-305.
- Moreno, I., Roca, I., Renones, O., Coll, R. & Salamanca, M. (1994) - Artificial Reef Program in Balearic Waters (Western Mediterranean). *Bull. Mar. Sci.*, 55(2-3):667-671.
- Nelson, W.G., Savercool, D.M., Neth, T.E. & Rodda, J.R. (1994) - A Comparison of the Fouling Community-Development on Stabilized Oil-Ash

- and Concrete Reefs. *Bulletin of Marine Science*, Vol.55, N°.2-3:1303-1315.
- Pickering, H. J. (1996) - Artificial Reefs of Bulk Waste Materials: A Scientific and Legal Review of the Suitability of Using the Cement Stabilised By-Products of Coal Fired Power Stations. *Marine Policy journal*:1996-7.
- Pickering, H.J. & Whitmarsh, D. (1996) - Artificial Reefs: A Tool for the Exploitation and Conservation of Living Resources. *Littoral'96*, Portsmouth (U.K.), Eurocoast, 1996.
- Prince, E.D. & Maugham, O.E. (1979) - Attraction of Fishes to artificial Tire Reefs in Smith Mountain Lake, Virginia:19-25 in D.L. Johnson and R.A. Stein, ed. *Response of Fishes to Habitat Structures In Standing Water*. North Central Division, American Fisheries Society, Spec. Publ. 6.
- Relini, G. & Cormagi, P. (1990) - Colonisation patterns of hard substrata in the Loano artificial reef (Western Ligurian Sea). *FAO Fisheries Report of the first session of the working group on artificial reefs and mariculture*, Ancona, 27-30 Nov. 1989. 428:108-113.
- Ross, D.A. (1989) - *Introduction to Oceanography*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, Woods Hole Oceanographic Institution, New Jersey - 7632.
- Sale, P.F. (1980) - The Ecology of Fishes on Coral Reefs. *Annual Review of Oceanography and Marine Biology* 18:367-421.
- Scheltema, R.S. (1974) - Biological Interactions Determining Larval Settlement of Marine Invertebrates. *Thalassia Jugo*, 10:263-96.
- Seaman, Jr., W., Buckley, R.M. & Polovina, J.J. (1989) - Advances in Knowledge And Priorities For Research, Technology And Management Related To Artificial Aquatic Habitats. *Bulletin of Marine Science* 44:527-532.
- Shieh, C.S. & Duedall, I.W. (1994) - Chemical Behavior of Stabilized Oil in Artificial Reef at Sea. *Bulletin of Marine Science*, vol.55, n° 2-3:1295-1302.
- Shulman, M.J. (1984) - Resource Limitation and Recruitment Patterns in a Coral Reef Assemblages. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 74:85-109.
- Spanier, E., Tom, M., Pisanty, S. and Almog, G. (1988) - Seasonality and shelter selection by the slipper lobster *scyllarides latus* in the south-eastern Mediterranean. *Mar. Biol. Prog. Ser.* 42: 247-255.
- Thompson, R.C., Norton, T.A. & Hawkins, S.J. (2004) - Physical stress and Biological control regulate the producer-consumer balance in intertidal biofilms. *Ecology* 85: 1372-1382.
- Walsh, W.J. (1985) - Reef Fish Community Dynamics on Small Artificial Reefs. The Influence of Isolation, Habitat Structure and Biogeography. *Bulletin of Marine Science* 36:357-376.
- Woodhead, P.M.J. & Jacobson, M.E. (1985) - Epifaunal Settlement, the Process of Community Development and Sucession Over Two Years on an Artificial Reef in the New York Bight. *Bulletin of Marine Science* 37:364-376.
- Yamane, T. (1989) - Status and Future Plans of Artificial Reef Projects in Japan. *Bulletin of Marine Science* 44:1038-1040.
- Zobell, C.E. & Allen, E.C. (1935) - The Significance of Marine Bacteria in the Fouling of Submerged Surfaces. *Journal of Bacteriology* 29:239-51.
- Livros:
- Bell, M. (1997) - *Marine Artificial Reefs*. Office of Fisheries Management: South Carolina Dept. of Natural Resources, 155 p.
- Clarke, K.R. & Gorley R.N. (2001) - *User Manual/ Tutorial*. PRIMER-E Ltd., 91 p.
- Crisp, D.J. (1974) - Factors Influencing the Settlement of Marine Invertebrate Larvae. In *Chemoreception in Marine Organisms*, P.T. Grant and Macke (eds.):177-265. Acad. Press. N.Y.
- Cushing, D.H. (1982) - *Climate and Fisheries*. Academic Press, London, 373p.
- Glantz, M.H. & Thompson (1981) - *Resource Management and Environmental Uncertainty. Lessons From Coastal Upwelling Fisheries*. Wiley Interscience, New York, 34 p.
- Grove, R.S. & Sonu, C.Y., (1985) - Fishing Reef Planning in Japan :187-251 in F.D'Itri ed. *Artificial Reefs: Marine and Freshwater Applications*. Lewis Publishers, Inc. Chelsea, Michigan.
- Seaman Jr., W. & Sprague L.M. (1991) - *Artificial Habitats for Marine and Freshwater Fisheries*. Academic Press, inc. Harcourt Brace Jovanovich, Publishers. 285 p.
- Spanier, E. (1991) - Artificial reefs to insure protection of the adult Mediterranean slipper lobster. *Scyllarides latus* (Latreille, 1803). In Boudouresque,

- C.F., M. Avon e V. Gravez (eds). "Les Espèces Marines à Protéger en Méditerranée". Pub. GIS Posidonie, France:174-185.
- Woodhead, P.M.J., Parker, J.H. & Duedall, I.W. (1985). The Use of By Products From Coal Combustion for Artificial Reef Construction:265-292 in F.D'Itri, ed. Artificial reefs: Marine and Freshwater Applications. Lewis Publishers, Inc., Chelsea, Michigan.
- Relatórios técnicos:
- Grove, R.S. & Sonu, C.Y. (1983) - Review of Japanese Fishing Technology. Tech. Rep. 83-RD-137. Southern California Edison Company, Rosemead, California.
- Mottet, M.G. (1981) - Enhancement of the Marine Environment for Fisheries and Aquaculture in Japan. Washington Department for Fisheries, Olympia, Tec. Rep. 69.
- Ogawa, Y. (1982) - The Present Status and Future Prospects of Artificial Reefs: Development Trends of Artificial Reef Units:pp. 23-41 in S.F. Vik, editor. Japanese artificial reef technology:Translations of selected recent Japanese literature and an evaluation of potential applications in the U.S.A.. Technical Report 604. Aquabio, Inc., Belleair Bluffs, Florida.
- Polovina, J. (1991) - A Global Perspective on Artificial Reefs and Fish Aggregating Devices in V.L.C. Pietersz. Symposium on Artificial Reefs and Fish Aggregating Devices as Tools for The Management and the Enhancement of Marine Fishery Resources. Colombo, Sri Lanka, 14-17 May 1990, Bangkok, rapa report 1991/11:251-257.
- Sítios da *Internet*:
- <http://www.googleearth.com>
- <http://www.it-geo.pt> (Portal Geográfico de Portugal)



## Caracterização Sedimentológica da Área de Fundeio de dois naufrágios na Plataforma Continental Pernambucana \*

### *Sedimentological Characterization of Shipwrecks on the Pernambuco Continental Shelf*

Mirella Borba S. F. Costa <sup>@, 1</sup>, Daniele L. B. Mallmann <sup>1</sup> & Núbia C. Guerra <sup>1</sup>

---

#### RESUMO

No ano de 2006, a Associação de Empresas de Mergulho do Estado de Pernambuco (AEMPE), juntamente com duas instituições públicas de ensino e pesquisa do mesmo Estado (Universidade Federal de Pernambuco - UFPE e Universidade Rural de Pernambuco - UFRPE), decidiram liderar o Projeto Parque dos Naufrágios Artificiais de Pernambuco (PNAPE), cujo objetivo consistiu em fundear três navios do tipo rebocador - Taurus, Saveiros e Mercurius - sob condições controladas e com propósitos científicos e comerciais. Entre os critérios de escolha da área foram consideradas a morfologia e a composição do fundo, de forma a buscar locais de fundo arenoso e evitar a proximidade de bancos algálicos ou recifes naturais. Entre os objetivos específicos do projeto foram incluídas a caracterização dos sedimentos de fundo e a análise temporal dos aspectos sedimentológicos nas áreas de fundeio dos navios Mercurius e Saveiros. Por questões operacionais, o rebocador Taurus não pôde ser contemplado pela pesquisa. A dificuldade na coleta dos sedimentos por amostradores do tipo draga levou ao teste da coleta por mergulho autônomo, o qual se mostrou eficaz por ser pontual e não sofrer deriva, permitindo que a amostragem ocorresse sempre em locais idênticos. Os resultados obtidos mostraram que no entorno do Mercurius (bombordo e boreste) a granulometria apresentou, durante todo o período examinado, uma distribuição bimodal, com altas frequências das frações areia e cascalho biodetrítico. Os dois bordos analisados do naufrágio não demonstraram variações significativas entre si. Já a boreste de Saveiros, a população mais freqüente foi classificada como areia fina, existindo pouco cascalho, enquanto que a bombordo do mesmo naufrágio, foram verificadas variações significativas durante os meses, sugerindo uma tendência de diminuição da quantidade de cascalho entre os meses de agosto (34,36%) a dezembro (2,75%), o que pode indicar a formação de uma zona de sombra no local. Os elevados percentuais de cascalho encontrados em todos os pontos amostrais estão associados à presença de fragmentos de organismos

---

@ - autor correspondente - mirella\_borba@yahoo.com.br

1 - Laboratório de Oceanografia Geológica do Departamento de Oceanografia, UFPE - Universidade Federal de Pernambuco, Av. Arquitetura s/n, Recife, Pernambuco, Brasil, CEP: 50740 550

---

\* Submissão - 22 Janeiro 2009; Avaliação - 30 Março 2009; Recepção da versão revista - 29 Junho 2009; Disponibilização on-line - 14 Janeiro 2010

e seus tamanhos. As constatações feitas ao longo do estudo estão de acordo com as características de plataformas cobertas por sedimentos biogênicos e biodetríticos, caracterizadas por intensa atividade organogênica e pouca influência continental, como é o caso da plataforma continental pernambucana, localizada no nordeste do Brasil.

Palavras-chave: recifes artificiais; plataforma carbonática; nordeste do Brasil.

### ABSTRACT

The State Association of Dive Companies of Pernambuco State (northeast Brazil), together with the Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE and Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, decided to initiate a project named Pernambuco's Shipwrecks Park (PNAPE), that involves the sinking of three decommissioned tug boats - Taurus, Saveiros and Mercurius - under controlled conditions, for both commercial and scientific purposes. The exact spots, about 12 Km offshore, between the isobaths of 20 and 30 m, were chosen upon consideration of several factors, including seabed morphology and composition, (preferred sandy bottom local, avoiding proximity to natural reefs or banks algae); maritime traffic (the least possible); proximity of Recife Port (in order to facilitate touristic usage); etc. However, the introduction of a structure on the seabed, in general, changes the pattern of currents, sediment dynamics and, thus, leads erosion and depositional processes in the surrounding area. So it is essential to evaluate, through sedimentological studies, the conditions of substrates in areas like deliberated shipwrecks, and the changes caused by the presence of the submerged structure, to better understand the adaptation process of colonization species. In that sense, a monitoring of the artificial reef area were made, including bottom sediments characterization and temporal analyze of the sediment cover surrounding the wrecks of Mercurius and Saveiros. Due to operational issues, Taurus could not be included in this research. This article shows the results of the study between the months of August and December 2006 identifying the sediment cover in terms of statistical grain parameters and calcium carbonate content. The samples were collected monthly on both sides (boreste - BE and bombordo - BB) of the shipwrecks, always at the same spot, by divers to depths of about 30 m. The data shows bimodal distribution patterns of grain size around the Mercurius (BE and BB) in the monitored period, with high frequencies of sand and biodetrític gravel. The two sides of the shipwreck showed no significant variations between them, which shows that the wreck is not significantly influenced bottom sediments. The most frequent population (BE) Saveiros was classfied as fine sand, with just little gravel. In contrast, Saveiros BB showed significant variations during the months, presenting declining amounts of gravel from August (34.36%) to December (2.75%) which might indicate the formation of a shadow area. The high percentages of gravel found in all sampling points are associated with the presence of fragments of organisms and their sizes. This assertion is supported by high rates of  $\text{CaCO}_3$  found. The visual comment of the samples, allows inferring that the composition of bottom sediments is constituted, essentially, for Halimeda and Lithothamnium, among others calcareous algae, and small amount of coral. The results obtained so far not only clarify important issues regarding the characterization of sedimentary environments of the Pernambuco continental shelf near Artificial Shipwrecks Park, but also attest the efficiency of the use of diving as a satisfactory tool for geological surveys in small areas.

*Keywords:* artificial reefs; carbonates shelf; Brazil northeast.

---

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas, o uso de recifes artificiais marinhos foi intensificado em torno do globo (Seaman & Seaman, 2000), de modo que o afundamento de estruturas, incluindo os navios descomissionados, visando à formação de recifes artificiais já é utilizado em diversos locais. Entre os países que já licenciam e empregam formalmente tais estruturas, constam Finlândia, França, Grécia, Israel, Itália, Malta, Polônia, Portugal, Romênia, Espanha, Holanda, Turquia e Ucrânia. Outros, tais como Reino Unido, Dinamarca, Irlanda, Rússia e Suécia, demonstram interesse, embora ainda não possuam estruturas do gênero instaladas. A Noruega, por sua

vez, tem desenvolvido unidades experimentais baseadas no uso do concreto (Jensen, 2002). Chou (1997) menciona alguns países asiáticos que já fazem uso de recifes artificiais, seja por meio de programas nacionais específicos (Malaysia, Tailândia, Filipinas e Taiwan), ou em caráter experimental (Singapura e Indonésia), bem como aqueles que demonstram interesse no assunto (Hong Kong). Outros países, ainda, têm programas relacionados em andamento, entre os quais podem ser citados Austrália (Branden et al., 1994), Estados Unidos (Seaman & Sprague, 1991; Johnson, et al., 1994.), Japão (Nakamura, 1985; Thierry, 1988), Coréia (Kim, et al., 1994; Lee & Kang, 1994) e Cuba (Conceição & Monteiro Neto, 1998).

No Brasil, estão em andamento estudos baseados na instalação de recifes artificiais em diversos estados, tais como Paraná, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Ceará (Araújo & Brotto, 1997; Brandini, 2000; Godoy & Coutinho, 2002; Zalmon et al., 2002; Conceição & Monteiro Neto, 1998).

As duas justificativas mais comuns para este tipo de intervenção são os incrementos na pesca e na diversidade biológica. No entanto, a simples instalação de estruturas no fundo marinho não garante tais impactos positivos. Atualmente existe um grande debate na comunidade científica acerca das alterações promovidas por um recife artificial sobre a produtividade marinha – existe realmente um incremento na produtividade dos ecossistemas marinhos (Seaman & Seaman, 2000; Alencar et al., 2003) ou tais estruturas funcionam apenas atraindo a biota para suas adjacências, podendo, inclusive, facilitar a sobrepesca? (Bohnsack, 1989; Polovina, 1991; Munro & Balgo, 1995) – no caso específico de Pernambuco, uma lei estadual (n. 23.394/2001) proíbe a pesca comercial em torno de naufrágios (naturais ou programados) (Santos et al., 2008).

Com o intuito de avolumar o presente conhecimento acerca do uso de estruturas marítimas descomissionadas como recifes artificiais, no ano de 2006, a Associação de Empresas de Mergulho do Estado de Pernambuco (AEMPE), juntamente com duas instituições públicas de ensino e pesquisa do mesmo Estado (Universidade Federal de Pernambuco - UFPE e Universidade Rural de Pernambuco - UFRPE), decidiram liderar um projeto, denominado Parque dos Naufrágios Artificiais de Pernambuco (PNAPE), cujo objetivo consistiu em fundear três navios do tipo rebocador - Taurus, Saveiros e Mercurius - sob condições controladas e com propósitos científicos e comerciais (Santos et al., 2008). Dentro da expectativa do projeto incluiu-se a produção de informações sobre o grau de influência que um naufrágio pode causar nas características dos sedimentos em seu entorno.

A introdução de estruturas no fundo marinho, em geral, altera o padrão das correntes, da dinâmica sedimentar e, conseqüentemente, induz a processos erosivos e deposicionais nas suas proximidades. Em áreas deposicionais marinhas, fatores hidrodinâmicos como as ondas, as correntes, as marés e a influência

fluvial promovem modificações nos padrões de transporte e deposição sedimentar, alterando tais ambientes, bem como sua disponibilidade enquanto substrato para a vida marinha (Pagliosa, 2006). A distribuição espacial da biota marinha, por sua vez, em especial no que se refere aos organismos bentônicos, é particularmente sensível às mudanças naturais e induzidas sobre os sedimentos, de modo que é imprescindível avaliar, por meio de estudos sedimentológicos, as condições dos substratos nas áreas passíveis de naufrágios programados. Ademais, para que se compreenda melhor o processo de adequação das espécies colonizadoras, faz-se necessário estudo acerca das alterações provocadas pela presença da estrutura submersa nas características prévias do local.

O estudo sedimentológico permite a caracterização e a classificação dos sedimentos, além da sua correlação com as áreas de ocorrência, permitindo inferências sobre sua gênese, transporte e deposição. Quando aplicado à análise da natureza e à delimitação da distribuição espacial dos sedimentos, auxilia na determinação da relação entre a biota e seu meio. A caracterização sedimentológica permite, ainda, a individualização de cada unidade sedimentar que serve de substrato para a colonização de macro e microfítobentos, os quais funcionam como refúgios às espécies de invertebrados e fonte direta e indireta de alimento para a fauna local.

O presente estudo buscou caracterizar as feições sedimentares dos substratos nas áreas onde foram fundeados os naufrágios Mercurius e Saveiros, realizados para cumprir o propósito estabelecido pelo projeto supracitado, subsidiando a identificação de ambientes propícios para a colonização e permanência das espécies e o entendimento acerca das variações temporais nas características deste substrato. Os resultados aqui apresentados se referem ao estudo realizado no local entre os meses de agosto e dezembro de 2006, com identificação de unidades sedimentares de acordo com os parâmetros granulométricos e estatísticos associados, além do teor de carbonato de cálcio.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

### 2.1 Localização

O presente trabalho foi desenvolvido junto ao Parque dos Naufrágios Artificiais de Pernambuco, próximo à costa de Recife, no quadrante compreendido entre as coordenadas 08°03'00" e 08°04'00"S e 34°45'00" e 34°43'00"W. Nessa área, entre as isóbatas de 20 e 30m, foram afundados três rebocadores, Mercurius, Taurus e Saveiros (Figura 1). A escolha da área baseou-se principalmente nos seguintes critérios: morfologia e composição do fundo (foram favorecidas áreas de fundo arenoso, isentas de bancos algálicos ou recifes naturais); navegação (os naufrágios deveriam estar em locais onde não constituíssem empecilho ao tráfego marinho) e, por fim, a distância da costa (próximo o suficiente para permitir operações de mergulho recreativo, ou seja, atividades turísticas) (Santos et al., 2008). Assim, mediante estudo ambiental simplificado realizado previamente, os três rebocadores foram afundados próximo ao Porto do Recife no dia 26 de Maio de 2006.

Devido a questões operacionais, este estudo contemplou apenas dois naufrágios, Mercurius e Saveiros, tendo em vista que em cada campanha poderiam ser realizados apenas 2 mergulhos. Optou-se pelos mesmos por ambos possuírem dimensões iguais (29,1m) e estarem numa mesma profundidade (30m).

### 2.2 Aspectos climatológicos

O clima da região é classificado como tropical úmido, com precipitação anual em torno de 2.050mm distribuídos em duas estações, seca e chuvosa. Os meses de maio, junho e julho são os mais chuvosos (70 a 75% do total anual), enquanto outubro, novembro e dezembro são os mais secos (CPRH, 2003).

As temperaturas variam entre 25°C e 30°C, não apresentando variações expressivas. Os ventos dominantes vêm de E-SE e apresentam velocidades médias entre 3 e 5 m/s, sendo os ventos alíseos e as brisas marinhas os fenômenos de maior influência nas condições climáticas da costa pernambucana (Manso et al., 2006).

### 2.3 Aspectos hidrológicos

A área recebe aporte de água doce, sedimentos e nutrientes principalmente dos rios Capibaribe e Beberibe. O primeiro nasce no agreste do estado e apresenta uma área de drenagem de 7.716 km<sup>2</sup>, desembocando no oceano Atlântico junto à cidade do Recife. Já o segundo, cuja área de drenagem é igual a 108 km<sup>2</sup>, nasce na zona da mata e tem parte da sua bacia no município de Olinda, onde encontra o Capibaribe e desemboca no oceano (Macêdo et al., 2004).

### 2.4 Aspectos oceanográficos

A área apresenta marés do tipo semi-diurna que, em termos de amplitude, são classificadas como meso-marés, com variações médias de 0,7 m na quadratura e 2,0 m na sizígia (Manso et al., 2006). As ondas incidentes, assim como ocorre em todo o litoral pernambucano, têm direção predominante E-SE e estão associadas a ventos de mesma direção. A altura destas ondas varia entre 1,0 e 1,5 m e o período entre 5 e 7 s (Oliveira, 2000).

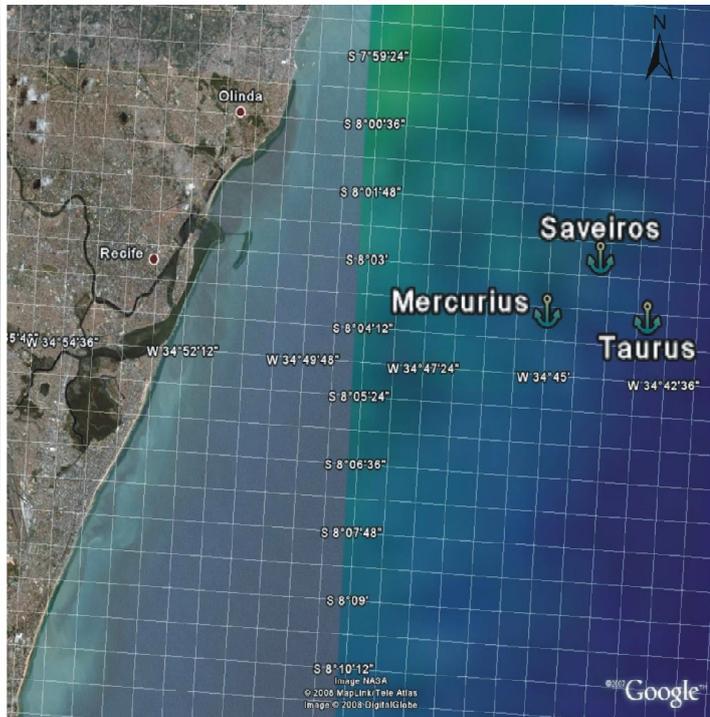
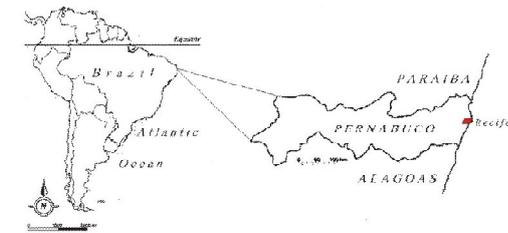
Os parâmetros temperatura e salinidade apresentam-se bastante sazonais, em resposta às flutuações no aporte de rios costeiros. De acordo com Muehe (2006), as águas que cobrem a plataforma continental apresentam temperaturas superficiais entre 27,0 e 28,7°C. Já os valores de salinidade mais elevados são observados em períodos secos e atingem 37,16% enquanto valores mais baixos chegam a 28,8% e são verificados durante o período chuvoso.

### 2.5 Aspectos geológicos

O Parque localiza-se na plataforma continental pernambucana em profundidades que, segundo Coutinho (1976) correspondem à zona da plataforma média. Esta zona, situada entre 20 e 40 m de profundidade, apresenta relevo bastante irregular. Ainda no que se refere às características morfológicas, a região apresenta uma largura aproximada de 36,96 km, com a quebra da plataforma a uma profundidade em torno de 65m e declividade suave (1:558) (Gorini et al., 1996). Arenitos de praia (beachrocks) são encontrados no local e representam indicadores geológicos de variação do nível do mar (Araújo et al., 2004).

## Localização dos Naufrágios do Parque dos Naufrágios de Pernambuco - PNAPE

Localização da área de estudo:



Fonte:  
 - Google Earth

Informações sobre os naufrágios:

| Naufrágio                            | <i>Mercurius</i>   | <i>Saveiros</i>    |
|--------------------------------------|--------------------|--------------------|
| Coordenadas Geográficas              | 08°04'S<br>34°45'W | 08°03'S<br>34°44'W |
| Profundidade (m)                     | 30                 | 30                 |
| Distância da Costa (milhas náuticas) | 8,04               | 7,93               |

Figura 1. Localização da área de estudo.  
 Figure 1. Index map of the study area.

## 2.6 Aspectos sedimentológicos

O litoral pernambucano está situado na província sedimentar da costa brasileira que se estende desde Fortaleza (CE) até Cabo Frio (RJ). Esta plataforma apresenta como característica principal a presença de bioclastos (Schmiegelow, 2004). Segundo sua origem, estes sedimentos são classificados como do tipo biogênico, ou seja, compostos por materiais produzidos por organismos, sendo formados a partir da fragmentação de partes duras da biota, tais como conchas, ossos, dentes e tecas e incluem elevados teores de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). De acordo com Carannante et al. (1988), a abundância de sedimentos biogênicos se deve à localização da área na porção da plataforma continental brasileira na qual predominam as algas calcárias verdes (*Halimeda*) seguidas das algas coralíneas ramificadas e dos briozoários e foraminíferos.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Procedimento de Campo

Para a realização da análise temporal foram coletadas amostras mensais a uma distância de 4 m de cada bordo dos naufrágios *Saveiros* e *Mercurius*, boreste (BE) e bombordo (BB), conforme esquematizado na Figura 2. Optou-se por realizar a coleta próxima a cada um dos bordos para verificar possíveis alterações sedimentológicas em função da presença da estrutura.

As coletas foram feitas com o uso da técnica de mergulhos autônomos (SCUBA diving) objetivando que o local de amostragem fosse sempre o mesmo, considerando que o uso de dragas do tipo Van Veen poderia acarretar erros espaciais devido, principalmente, à ação de correntes e à conseqüente deriva.

Para acessar o local foram utilizadas as embarcações *Van Gogh* (Aquáticos) e *Adventure* (Seagate). Como acessórios foram usados cabos de amarração para auxiliar na descida.

As amostras de sedimentos foram retiradas da porção superficial do fundo com uso de espátula (Figuras 3 e 4), armazenadas em depósitos plásticos com capacidade volumétrica de 700 g, devidamente identificadas e encaminhadas ao Laboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO) para posterior análise.

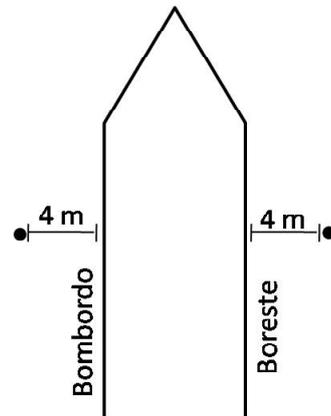


Figura 2. Localização dos pontos de coleta em relação aos naufrágios.

Figure 2. Location of samples sites for shipwrecks.



Figuras 3 e 4. Procedimento de coleta de sedimentos por meio de mergulhos autônomos.

Figures 3 and 4. Procedure for sediment sampling through SCUBA diving.

### 3.2 Procedimento Laboratorial

As análises granulométricas e a determinação de teor de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) foram realizadas no LABOGEO, lotado no Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e incluíram as etapas descritas a seguir.

#### 3.2.1 Análise Granulométrica

As amostras de sedimentos coletadas foram analisadas segundo a metodologia de Suguio (1973), a qual inclui: quarteamento e seleção de uma alíquota com 100 g; peneiramento úmido com uso de peneiras com malhas de aberturas de 2 e 0,062 mm; secagem em estufa à temperatura de 60°C, durante 24h; nova pesagem das frações cascalho e areia; peneiramento seco da fração areia em agitador Rot up por 12 min utilizando conjunto de peneiras sedimentológicas de aberturas de malha correspondentes aos limites de Wentworth (1922), modificado por Krumbein (1934) e, por fim, nova pesagem do material retido em cada peneira e no aparador. Em seguida foram estimados os percentuais de ocorrência de cada fração sedimentológica.

Em plataformas dominadas por sedimentos carbonáticos, onde a ocorrência de organismos marinhos como corais e algas calcárias atuam como fontes de sedimentos, o tamanho do grão depende, entre outros fatores, da arquitetura desses organismos (Flügel, 2004), podendo eventualmente ocorrer classes entre 4 e 64 mm (classificadas como cascalho fino, médio e grosso). Contudo, este estudo integrou as frações acima de 2 mm numa única classe denominada de cascalho.

A quantificação da fração fina (< 0,062 mm) foi realizada a partir do cálculo do peso quarteado da amostra (100 g) subtraído do peso total (soma dos pesos retidos em todas as peneiras). Para a classificação granulométrica, os pesos de cada fração obtidos no peneiramento seco e o cálculo da fração fina foram convertidos em informações numéricas e gráficas através do software Sysgran 2.4.

#### 3.2.2 Análise estatística

Os parâmetros estatísticos utilizados foram tendência central, grau de dispersão, assimetria e

curtose. Os mesmos foram obtidos segundo o método sugerido por Folk & Ward (Suguio, 1973), com o uso do software Sysgran 2.4.

#### 3.2.3 Teor de Carbonato

O teor de carbonato de cálcio das amostras de sedimento foi determinado através de método que consiste na dissolução do  $\text{CaCO}_3$  por ácido clorídrico (HCl). Assim, alíquotas secas de 10 g de cada amostra bruta foram postas sob reação com solução de HCl 40% a frio. Devido à grande quantidade de bioclastos, a reação durou 24 h, período após o qual, considerou-se todo o  $\text{CaCO}_3$  dissolvido.

Após este procedimento, as alíquotas foram lavadas com água destilada por três vezes, levadas à estufa para secagem a 60°C e, depois de secas, aferidas em balança de precisão. A diferença entre as massas inicial e final corresponde à massa de  $\text{CaCO}_3$  foi expressa em percentagem.

#### 3.2.4 Análise Multivariada

Os dados referentes aos percentuais de cada fração (cascalho, areia e finos) e de teor de carbonato foram registrados numa matriz e usados para fazer uma análise de similaridade com o uso do software Primer 5.0. Esta análise teve como propósito identificar e integrar compartimentos distintos ao longo do ambiente marinho estudado.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Análise temporal

#### 4.1.1 Mercurius

##### 4.1.1.2 Bombordo

A classificação das amostras pela média para Mercurius BB revelou sedimentos pobremente selecionados com predominância da fração areia grossa. A amostra coletada em agosto, no entanto, apresentou como classe mais freqüente os sedimentos com diâmetro de 0,250 mm ( $2\Phi$ ) classificados como areia média, em detrimento da população cascalho ( $-1\Phi$ ), a qual mostrou-se pouco expressiva, representando 7,14% da amostra (Figura 5).

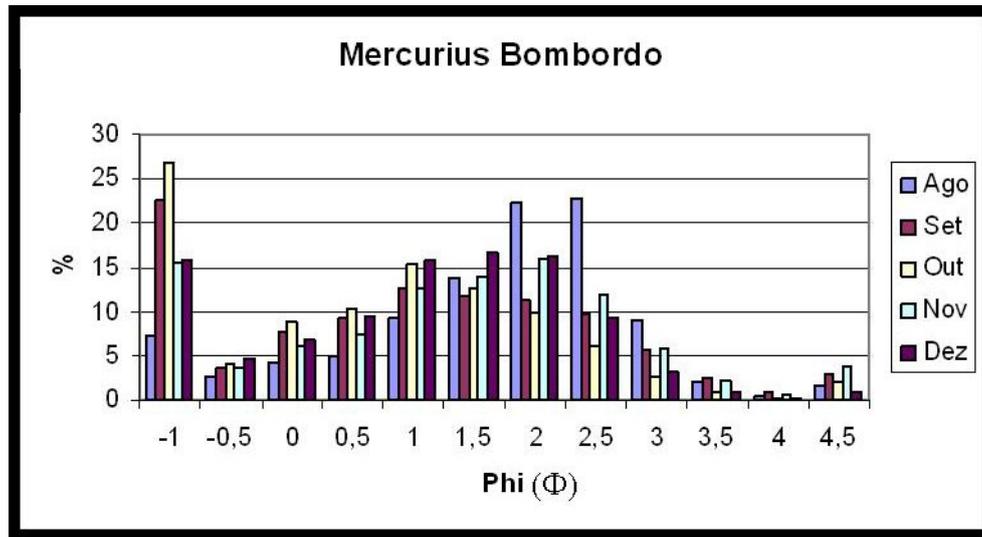


Figura 5. Gráfico de colunas representando a distribuição dos sedimentos nas classes granulométricas  $\Phi$  do período de agosto a dezembro das amostras Mercurius BB.  
 Figure 5. Bar chart representing the distribution of sediments in class size  $\Phi$  for the period from August to December of samples from Mercurius BB.

As amostras de setembro e outubro apresentaram uma distribuição bastante parecida entre si. A análise modal dessas duas amostras indicou uma bimodalidade na curva, com picos nas populações cascalho (22,58% em setembro e 26,81% em outubro) e areia grossa (12,65% em setembro e 15,35% em outubro). Os meses novembro e dezembro, assim como verificado para setembro e outubro, apresentaram características semelhantes. A bimodalidade se revelou expressiva nas populações cascalho (15,48% em novembro e 15,88% em dezembro) e areia média (16,08% em novembro e 16,29% em dezembro).

#### 4.1.1.2 Boreste

Pela média, as amostras referentes a Mercurius BE foram classificadas como areia grossa, sendo classificadas pela seleção entre moderada e pobremente selecionada (Figura 6).

As distribuições granulométricas de agosto, outubro e novembro apresentaram características semelhantes entre si, apresentando duas populações expressivas: cascalho ( $-1\Phi$ ), representando a maior parte da amostra nos três meses (23,28% em agosto, 23,33% em outubro e 20,28% em novembro) e areia grossa ( $1\Phi$ ), representando a segunda fração mais

frequente (15,13% em agosto, 15,01% em outubro e 15,66% novembro).

As amostras de setembro e dezembro apresentaram como classe mais frequente  $1\Phi$ , sedimentos classificados como areia grossa (22,21% em setembro e 19,24% em dezembro). A população cascalho também se mostrou expressiva durante estes meses, representando 10,74% da amostra total de setembro e 10,51% em dezembro.

Todas as amostras coletadas a boreste de Mercurius apresentaram similaridades em relação às duas populações mais frequentes (cascalho e areia grossa). Assim como observado para as amostras de Mercurius BB, a análise modal evidenciou duas classes com frequências expressivas indicando uma bimodalidade na curva do gráfico.

#### 4.1.2 Saveiros

##### 4.1.2.1 Bombordo

Considerando a média como parâmetro de classificação, as amostras deste bordo de Saveiros foram classificadas como areia grossa, à exceção do mês de dezembro, quando predominou a fração areia média (Figura 7). Quanto ao desvio-padrão, os sedimentos foram classificados entre moderada e pobremente selecionados.

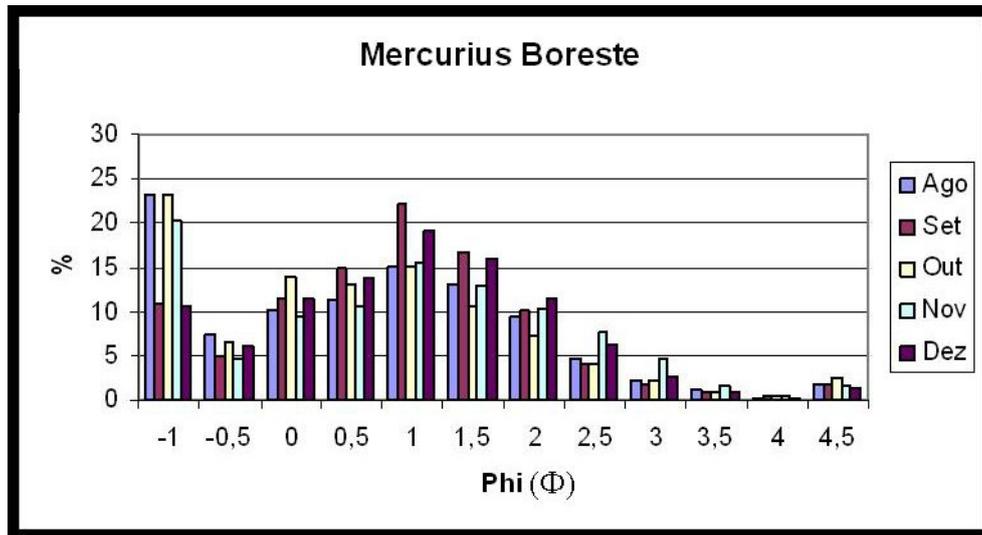


Figura 6. Gráfico de colunas representando a distribuição dos sedimentos nas classes granulométricas  $\Phi$  do período de agosto a dezembro das amostras Mercurius BE.  
 Figure 6. Bar chart representing the distribution of sediments in class size  $\Phi$  for the period from August to December of samples from Mercurius BE.

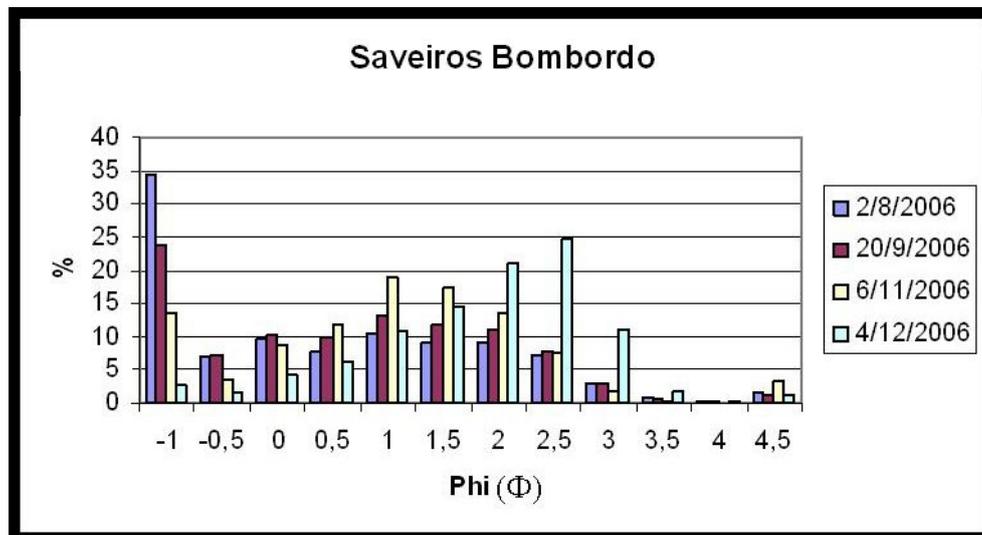


Figura 7. Gráfico de colunas representando a distribuição dos sedimentos nas classes granulométricas durante os meses de agosto, setembro, novembro e dezembro das amostras Saveiros BB.  
 Figure 7. Bar chart representing the distribution of sediments in class size  $\Phi$  during the months of August, September, November and December of samples from Mercurius BE.

A distribuição ao longo dos meses analisados a bombordo do naufrágio Saveiros apresentou variações relevantes. A população cascalho ( $-1\Phi$ ) foi decaindo de agosto a dezembro (34,36% em agosto, 23,77% em setembro, 13,39% em novembro e 2,75% em dezembro), enquanto a população areia grossa foi bem expressiva no período compreendido entre agosto e novembro. No mês de dezembro, a população dominante foi representada pela classe  $2,5\Phi$  (areia fina).

#### 4.1.2.2 Boreste

Neste bordo, a classificação segundo a média revelou sedimentos predominantemente pertencentes à população areia média. No que se refere ao grau de seleção, os mesmos, a exemplo do que ocorreu no bordo anterior, se enquadraram nas categorias moderada e pobremente selecionados (Figura 8).

As duas classes mais frequentes das amostras coletadas a boreste de Saveiros foram  $2,5\Phi$  e  $3\Phi$  para todos os meses analisados. Tais classes englobam areias com diâmetros de 0,125 mm a 0,180 mm classificadas como finas. A população cascalho foi

pouco representativa para este ponto amostral, variando entre 1,98% e 7,82% durante o período analisado.

#### 4.3 Teor de carbonato

A análise do teor de carbonato revelou, para todas as amostras, valores elevados (superiores a 92%), sem importantes variações espaço-temporais. As tabelas a seguir (Tabelas 1 e 2) mostram os valores encontrados para cada uma das amostras próximas aos dois naufrágios estudados.

As amostras mensais de Mercurius apresentaram uma leve distinção de teor de carbonato de cálcio entre os dois bordos, sendo que o bombordo possui taxas em média 1,42% mais altas. O mesmo não se verifica para Saveiros, que não possui um padrão de distinção entre os dois bordos. Saveiros, no entanto, apresentou teores de carbonato mais altos que qualquer amostra coletada no Mercurius (Figura 9).

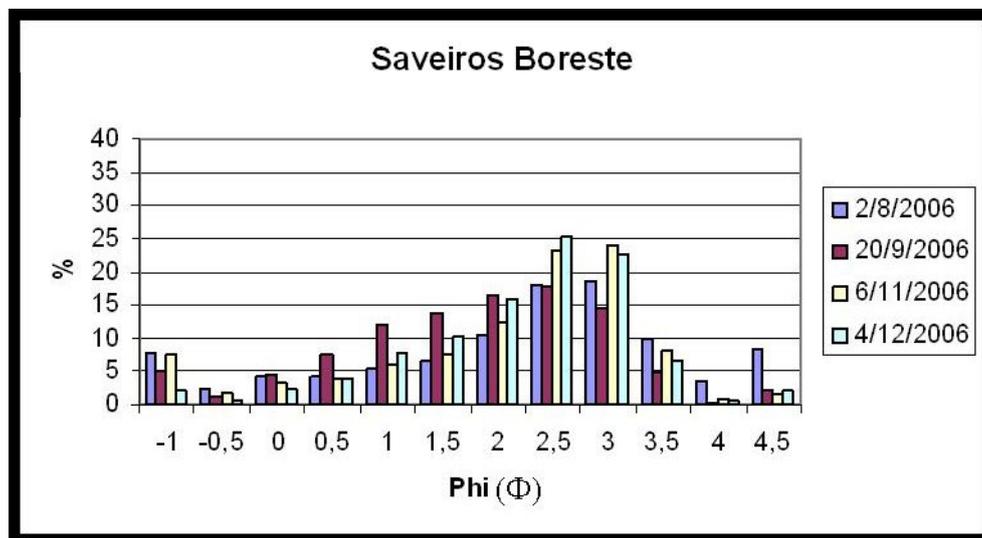


Figura 8. Gráfico de colunas representando a distribuição dos sedimentos nas classes granulométricas  $\Phi$  durante os meses de agosto, setembro, novembro e dezembro das amostras Saveiros BE.

Figure 8. Bar chart representing the distribution of sediments in class size  $\Phi$  during the months of August, September, November and December of samples from Saveiros BE.

Tabela 1. Teor de carbonato, em porcentagem, nas amostras mensais a boreste e bombordo do naufrágio Mercurius.

Table 1. Carbonate content, in percentage, in the monthly samples from boreste and bombordo of the shipwreck Mercurius.

| <i>Mercurius</i> |     |                       |
|------------------|-----|-----------------------|
| Bordo            | Mês | Teor de Carbonato (%) |
| BB               | Ago | 94,6                  |
| BE               | Ago | 93,5                  |
| BB               | Set | 95,0                  |
| BE               | Set | 92,9                  |
| BB               | Out | 96,2                  |
| BE               | Out | 93,8                  |
| BB               | Nov | 93,8                  |
| BE               | Nov | 93,9                  |
| BB               | Dez | 95,4                  |
| BE               | Dez | 93,8                  |

Tabela 2. Teor de carbonato, em porcentagem, nas amostras mensais a boreste e bombordo do naufrágio Saveiros.

Table 2. Carbonate content, in percentage, in the monthly samples from boreste and bombordo of the shipwreck Saveiros.

| <i>Saveiros</i> |     |                       |
|-----------------|-----|-----------------------|
| Bordo           | Mês | Teor de Carbonato (%) |
| BB              | Ago | 97,9                  |
| BE              | Ago | 98,8                  |
| BB              | Set | 97,8                  |
| BE              | Set | 96,5                  |
| BB              | Out | Não Amostrado         |
| BE              | Out | Não Amostrado         |
| BB              | Nov | 98,8                  |
| BE              | Nov | 96,3                  |
| BB              | Dez | 97,7                  |
| BE              | Dez | 97,2                  |

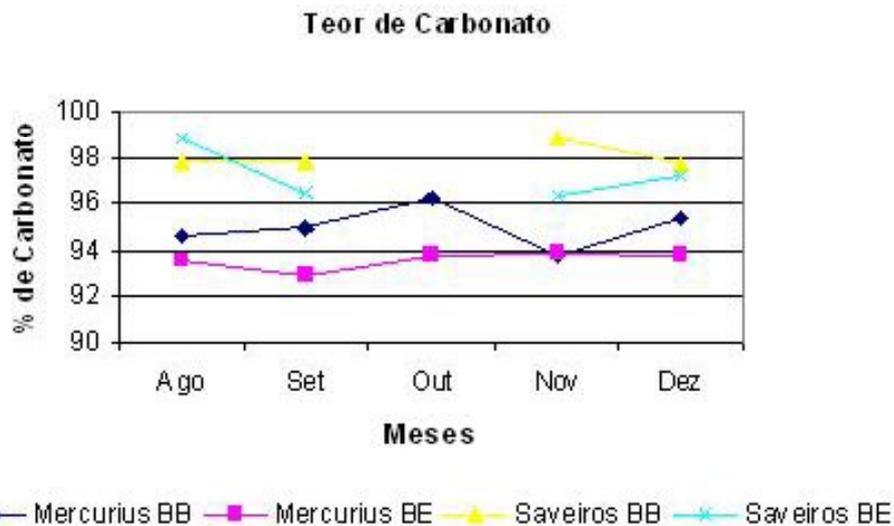


Figura 9. Teor de carbonato em cada bordo de Mercurius e Saveiros (Observação: não houve coleta para Saveiros em outubro).

Figure 9. Carbonate content of each board from Mercurius and Saveiros (Note: there was no sampling for Saveiros in October).

#### 4.4 Análise multivariada

Com base na distribuição espaço-temporal das propriedades sedimentológicas, somente uma amostra se destacou do conjunto, apresentando, ainda assim, grande similaridade com as demais (96%) (Figura 10).

A referida amostra trata-se de Saveiros BE (agosto/2006), a qual se destacou das demais em função de seu elevado percentual de finos (8,4% contra uma média de 2,39% de todas as amostras).

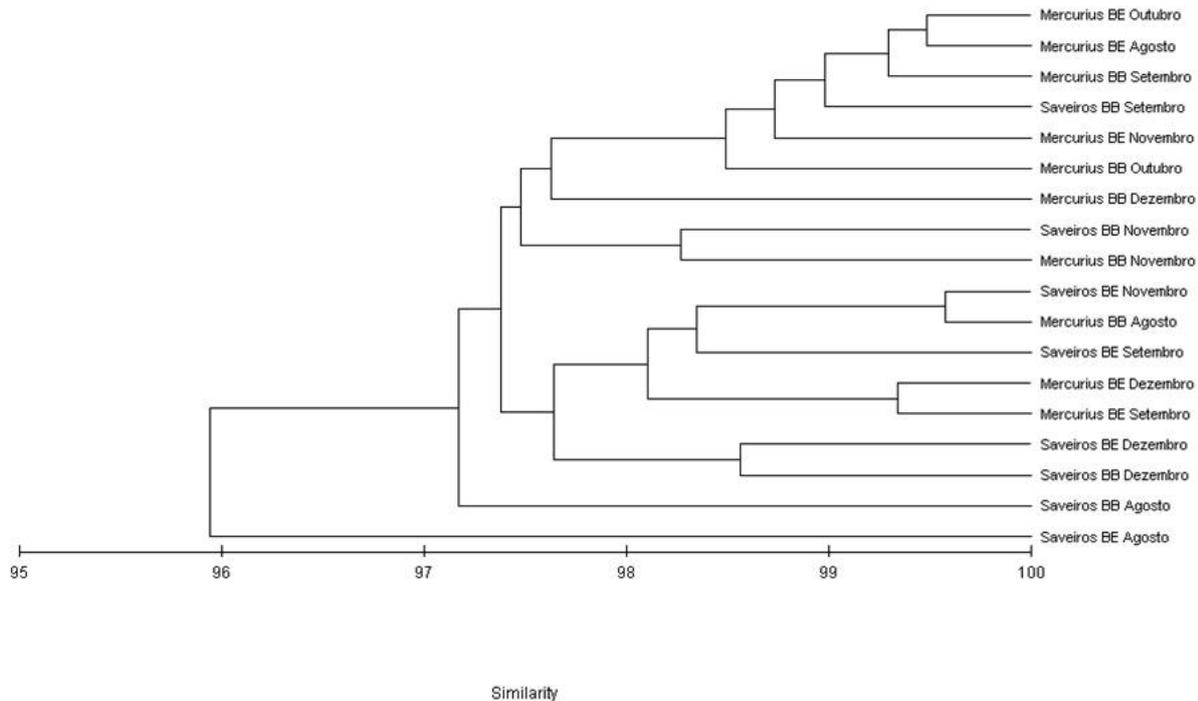


Figura 10. Dendrograma gerado pela análise de similaridade.  
Figure 10. Dendrogram generated by the similarity analysis.

## 5. DISCUSSÃO

Os resultados dos estudos sedimentológicos foram analisados isoladamente em cada naufrágio para inferir sobre sua variação temporal. Cabe advertir, antes de qualquer discussão, que a classificação adotada seguiu os padrões observados pela análise da moda, a exemplo do apresentado por Dias (2004). De acordo com este autor, se a distribuição de partículas a que a curva se refere for constituída por duas ou mais subpopulações distintas, a mesma afasta-se da normalidade estatística e os parâmetros utilizados passam a constituir descritores menos eficientes, ou mesmo ineficientes.

O caso mencionado é observado no comportamento das amostras analisadas, com exceção de uma delas, que teve distribuição considerada normal. Nos demais casos houve comportamento bimodal e as distribuições apresentaram caráter típico de plataformas, que em muito difere dos casos em que as distribuições se aproximam da normalidade. Esta situação é influenciada pelo tipo de sedimento, que é essencialmente bioclástico com granulometria

superior a 2 mm. Portanto, embora os parâmetros estatísticos sejam de grande aplicação em estudos sedimentológicos, foram aqui considerados apenas como uma primeira aproximação ao conhecimento das características granulométricas dos sedimentos da região. Para este estudo a classificação tomou como base a classe de maior frequência.

Comparando todas as amostras coletadas entre si, percebe-se que a distribuição granulométrica seguiu um padrão, no qual é possível identificar em todas as amostras um caráter bimodal com picos na população cascalho e areia média ou grossa (classes limitantes entre si).

Os resultados granulométricos demonstraram, para Mercurius, uma homogeneidade entre os bordos. Em ambos, as frações dominantes foram cascalho e areia grossa e o grau de seleção foi classificado como pobre. Já em Saveiros, observou-se diferença entre os bordos, sendo que BB apresentou predominantemente areia grossa e BE, média. Ambos os bordos apresentaram grau de seleção variável entre moderado e pobre.

No que se refere ao entorno de Saveiros, foram verificadas variações temporais nas características do sedimento. É possível que as variações nas características dos mesmos no ponto amostral - com aumento da proporção de sedimentos biodetríticos granulometricamente classificados como areia fina nas amostras, em detrimento da fração cascalho - estejam relacionadas às modificações na hidrodinâmica local. Esta, por sua vez, decorre do posicionamento do navio, o qual pode ter facilitado a deposição de sedimentos finos a bombordo da estrutura, criando uma zona de sombra no local.

De acordo com Bastos & Veronez (2005) a posição do navio no leito marinho, de forma geral, influencia na remobilização dos sedimentos. Os mesmos autores concluíram que no caso do navio Victory, afundado no sudeste do Brasil, a ausência de uma influência maior sobre os processos que ocorrem no entorno se deve ao posicionamento do navio, paralelo às correntes predominantes na área, minimizando as alterações sobre os processos que atuam no fundo. É possível que esteja acontecendo o mesmo para Mercurius, uma vez que de acordo com Hazin & Araújo (2007) as correntes locais apresentam sentido paralelo à costa e ao posicionamento do navio, variando apenas sua direção de nordeste para sudoeste ao longo dos meses do ano.

Ainda no que se refere às alterações hidrodinâmicas, embora este trabalho não tenha contemplado a correntometria, em estudo realizado previamente ao afundamento das embarcações, Hazin & Araújo (2007) colocam que não são esperados impactos significativos quanto ao regime hidrodinâmico e de transporte de sedimentos em virtude do afundamento dos rebocadores, haja vista serem estruturas de pequeno porte e incapazes de causar bloqueio na corrente costeira

Os resultados das análises sedimentares das adjacências dos dois pontos de afundamento indicam uma constituição, em sua maioria, de sedimentos grossos compostos de material biogênico, o que é confirmado pelo teor de  $\text{CaCO}_3$  nas amostras analisadas. Esta constatação, somada à observação visual das amostras, permite inferir que a composição de fundo na área estudada é constituída, essencialmente, por cascalho de Halimeda e Lithothamnium, entre outras algas calcárias, podendo-se ainda observar uma pequena quantidade de corais.

Os elevados percentuais de cascalho encontrados em todos os pontos amostrais estão associados à presença de fragmentos de organismos e de seus tamanhos. As constatações estão de acordo com aquelas feitas por Coutinho (1995), que caracterizou esta porção da plataforma como predominantemente carbonática e, ainda, com as características de plataformas cobertas por sedimentos biogênicos e biodetríticos, onde ocorre intensa atividade organogênica e pouca influência continental. Sendo um dispositivo de atração e agregação da biota, um naufrágio aumenta a complexidade ambiental, em geral incrementando a atividade biológica em seu entorno e, ainda, atuando como fonte de nutrientes para a coluna d'água, de tal forma que o esperado seria de fato um incremento dos teores de  $\text{CaCO}_3$  nos sedimentos dos entornos. O mesmo autor menciona as algas calcárias verdes (Halimeda) e as algas coralinas ramificadas (Lithothamnium) como principais responsáveis pela abundância desses sedimentos no local, o que é corroborado por levantamento biológico paralelo a este estudo sedimentológico e que, através da identificação taxonômica, observou que o grupo predominante de algas calcárias foi a Melobesiae, tendo a família Corallinaceae a maior representatividade, e Halimeda (Hazin & Araújo, 2007).

A influência da estrutura submarina na composição geoquímica dos sedimentos do local não pode ser melhor discutida neste momento, pois não há maiores informações de controle que possam ser usadas como referência para a caracterização da região previamente ao afundamento. É fato que, a exemplo do que acontece em outros naufrágios (Bastos & Veronez, 2005) a atividade biológica abundantemente presente na estrutura do navio pode estar atuando como fonte de sedimentos carbonáticos, pois determinados organismos fornecem constantemente suas carapaças ou seus esqueletos carbonáticos para o sedimento. Para confirmar esta possibilidade, no entanto, seriam necessárias, além de informações prévias, uma amostragem temporal mais extensiva e uma estratégia amostral distinta, que permitisse uma análise radial.

A análise de similaridade entre os parâmetros percentuais de cascalho, areia e finos e teor de  $\text{CaCO}_3$  de todas as amostras revelou grande similaridade entre elas. A mesma confirma as pequenas variações entre as estações, entre os meses e também a constância da

bimodalidade das curvas de distribuição granulométrica e dos elevados teores de  $\text{CaCO}_3$ . Uma única amostra se dissocia, correspondendo ao mês de Agosto. Diante da constatação e com base nos dados de pluviometria para o ano de 2006 é possível especular que o elevado percentual de finos pode estar relacionado à maior pluviosidade do mês de agosto (Figura 11), o qual representa o final do período das chuvas, que tem início em março. Um maior índice pluviométrico indica uma drenagem continental mais eficiente e uma maior descarga de água doce e sedimentos terrígenos para a plataforma continental, contribuindo para a dissociação da amostra deste mês em relação aos demais.

## 5. CONCLUSÕES

Como destaques, citam-se duas observações importantes: a primeira está relacionada à variação temporal expressiva verificada para a fração cascalho em Saveiros (BB), sendo que no bordo oposto, tal variação foi pouco pronunciada. Os percentuais de cascalho encontrados neste ponto foram, em geral, menores do que nos demais pontos amostrais. A segunda constatação é de que os resultados do monitoramento das características granulométricas mostraram pouca variação temporal nos dois bordos de Mercurius, o que demonstra que o navio não está

influenciado significativamente os sedimentos de fundo

A opção pela análise da moda mostrou-se adequada aos objetivos do estudo devido à bimodalidade das curvas de distribuição, a qual se revelou comum nos dados obtidos. A eficiência dos pacotes de estatística multivariada deve ainda ser lembrada, tendo em vista as possibilidades oferecidas por estas ferramentas. Conforme atestado no presente estudo, uma das facilidades é a identificação de unidades com as mesmas características sedimentológicas, ou unidades sedimentares homogêneas.

Os resultados obtidos até o momento não só elucidam importantes questões no que tange à caracterização dos ambientes sedimentares da plataforma continental pernambucana junto ao Parque dos Naufrágios Artificiais, como também atestam a eficiência do uso do mergulho autônomo como ferramenta para amostragens geológicas em áreas de pequenas dimensões. Ressalta-se que, apesar das dificuldades – turbidez da água, correntes intensas junto ao fundo, erros de amostragem nas etapas iniciais do Projeto - tal técnica oferece segurança e baixo custo se comparada às metodologias de arrasto.

Ainda no que diz respeito ao método de amostragem, o mergulho autônomo mostrou-se uma

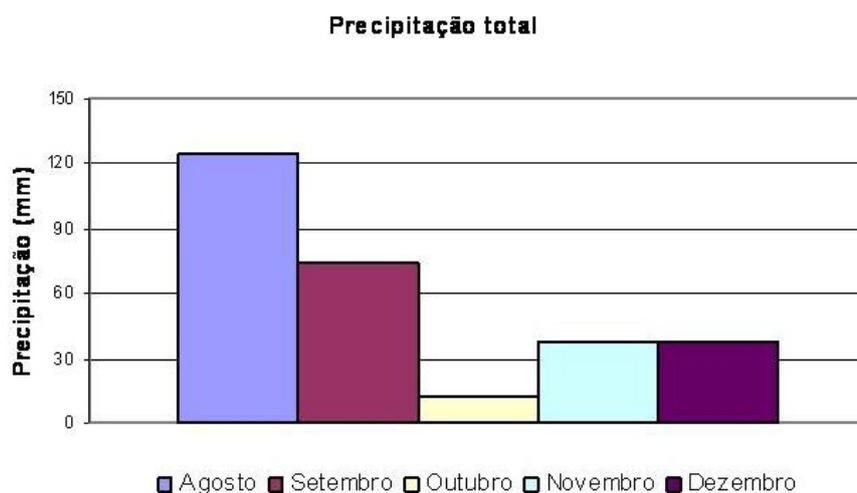


Figura 11. Precipitação nos meses amostrados (Fonte: [www.redegoverno.gov.br](http://www.redegoverno.gov.br)).  
Figure 11. Rainfall during the sampled months (Source: [www.redegoverno.gov.br](http://www.redegoverno.gov.br)).

técnica adequada ao estudo por se tratar de uma área bem específica e muito próxima aos bordos dos naufrágios, o que requer precisão no ato da coleta. O uso de amostrador do tipo Van Veen poderia acarretar erros de localização proporcionados pela precisão de equipamentos GPS e pelas correntes marinhas atuantes. Ademais, tal forma de amostragem representa um impacto ambiental mais ameno em relação às metodologias que utilizam amostradores do tipo draga.

O conhecimento das características sedimentares do ambiente, assim como do tipo de deposição e da taxa de sedimentação, é essencial para a compreensão dos processos de colonização e permanência da biota numa estrutura recentemente posicionada no fundo marinho. Assim, ressalta-se a importância da continuidade no acompanhamento da sedimentação ao longo do tempo para que o uso deste tipo de estrutura como ecossistema marinho possa ser embasado cientificamente e recomendado, quando couber. Outra possibilidade oferecida por esse tipo de estudo é a detecção de áreas de maior ou menos potencial biológico.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IBAMA, CPRH, Marinha do Brasil, Capitania dos Portos de Pernambuco, Agência Wilson Son's e as operadoras de mergulho Aquáticos e Seagate pelo apoio ao Projeto. São gratos também aos demais integrantes da equipe do projeto PNape pelo apoio no procedimento de campo.

#### BIBLIOGRAFIA

- Alencar C.A.G., Silva, A.S. & Conceição R.N.L. (2003) - Texto Básico de Nivelamento Técnico Sobre Recifes Artificiais Marinhos. <http://www.marbrasil.org/marbrasil/admin/arquivos/biblioteca/Recifes%20Artificiais.pdf>. Brasília, Brasil. (Acedido em Ago06).
- Araújo, F.G & Brotto, D.S. (1997) - Uso de estruturas artificiais como habitat por organismos marinhos. Anais do VII Congresso Latino Americano sobre Ciências do Mar, 1:46-47.
- Araújo, T.C.M., Seoane, J.C.S. & Coutinho, P.N. (2004) - Geomorfologia da plataforma continental de

- Pernambuco. In: Eskinazi-Leça, E., Neumann-Leitão, S. & Costa, M.F. (eds), *Oceanografia: um Cenário Tropical*, pp. 39-57, ed. Bagaço, Recife, Brasil.
- Bastos, A.C. & Veronez, J.R. (2005) - Monitoramento Ambiental. "Projeto Recifes Artificiais Marinhos (RAM): Victory 8B", Departamento de Ecologia e Recursos Naturais, UFES, 2º Relatório, 171 p., Vitória, Brasil. <http://www.dern.ufes.br/oceano/Victory8B.htm>. (Acedido em Nov06).
- Bohnsack, J. A., Ecklund, A.M. & Szmant, A.M. (1997) - Artificial reef research: is there more than the attraction production issue? *Fisheries*, 22: 14-16.
- Branden, K.L., Pollard, D.A. & Reimers, H.A. (1994) - A review of an artificial reef, recent developments in Australia. *Bulletin of Marine Science*, 55(2):982-994.
- Brandini, F.P. (2000) - Hydrography and characteristics of the phytoplankton in shelf and oceanic waters off Southeastern Brazil during winter (July/August 1982) and summer (February/March 1984). *Hydrobiologia*, 196:111-148.
- Carannante, G., Esteban, H., Milliman, J.D. & Simone, L. (1988) - Carbonate lithofacies as paleoatidade indicators: problems and limitations. *Sedimentary Geology*, 60(1): 333-346.
- Chou, L.M. (1997) - Artificial reefs of southeast Asia - do they enhance or degrade the marine environment? *Environmental Monitoring and Assessment*, 44:45-52.
- Conceição, R.N.L. & Monteiro Neto, C. (1998) - Recifes Artificiais Marinhos. *Biotecnologia*, 6:14-17.
- Coutinho, P.N. (1976) - Geologia marinha da plataforma continental Alagoas-Sergipe. Dissertação de Doutorado, 119p., Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.
- Coutinho, P.N. (1995) - Sedimentos carbonáticos da plataforma continental brasileira. *Revista de Geologia*, 1(1/2):1-18.
- CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (2003) - Diagnóstico Sócio-ambiental do Litoral Sul de Pernambuco. In: <http://www.cprh.pe.gov.br>. (Acedido em Ago06).
- Dias, J.A. (2004) - A Análise Sedimentar e o Conhecimento dos Sistemas Marinhos: uma introdução à oceanografia geológica. (Versão Preliminar). <http://w3.ualg.pt/>

- jdias/JAD/e\_books.html. Faro, Portugal. (Acedido em Nov06).
- Flugel, E. (2004) – *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application*. 976 p., Springer, Berlin, Heidelberg.
- Godoy, E.A.S. & Coutinho, R. (2002) - Can artificial beds of plastic mimics compensate for seasonal absence of natural beds of *Sargassum furcatum*? *Journal of Marine Science*, 59:111-115.
- Gorini, M.A., Souza, E.A., Silva, C.G. & Alves, E.C. (1996) - Geomorfologia e distribuição de sedimentos da plataforma continental entre Natal (RN) e Rio de Janeiro (RJ): Uma re-interpretação com base em dados pré-existentes. *Anais do XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia*, 3:454-456.
- Hazin, F.V. & Araújo, M.E. (2007) - Acompanhamento do processo de colonização e ocupação biológica dos naufrágios Taurus, Mercurius e Saveiros. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Relatório Parcial, 24 p. Recife, Brasil.
- Jensen, A.C. (2002) - Artificial reefs in Europe: Perspective and future. *ICES Journal of Marine Science*, 59:3-13.
- Johnson, T.D., Barnett, A.M., De Martini, E.E., Craft, L.L., Ambrose, R.F., & Purcell, L.J. (1994) - Fish production and habitat utilization on a southern California artificial reef. *Bulletin of Marine Science*, 55(2):709-723.
- Kim, C.G., Lee, J.W., Park, J.S. (1994) - Artificial reef designs for Korean coastal waters. *Bulletin of Marine Science*, 55(2):858-866.
- Krumbein, W.C. (1934) – Size frequency distributions of sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 4:65-77.
- Lee, J.W. & Kang, Y.S. (1994) - Variations of fish community and fish density on artificial reefs. *Bulletin of Korean Fish*, 27(51):535-548.
- Macêdo, S.J., Muniz, K. & Montes, M.J.F. (2004) - Hidrologia da região costeira e plataforma continental do Estado de Pernambuco. In: Eskinazi-Leça, E., Neumann-Leitão, S. & Costa, M.F. (eds), *Oceanografia: um Cenário Tropical*, pp. 255-286, ed. Bagaço, Recife, Brasil.
- Manso, V.A.V., Coutinho, P.N., Guerra, N.C. & Soares, C.F.A. (2006) - Pernambuco. In: Muehe, D. (ed), *Erosão e Progradação no Litoral Brasileiro*, pp. 179-196, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, Brasil.
- Muehe, D. (2006) - Erosão e Progradação no Litoral Brasileiro. <http://www.mma.br>. Brasília, Brasil. (Acedido em Jan07).
- Munro, J.L. & Balgos M.C. (1995) - Artificial Reefs in the Philippines. 56p., ICLARM Conf. Proc., Rome, Italy.
- Nakamura, M. (1985) - Evolution of artificial fishing reef concepts in Japan. *Bulletin of Marine Sciences*, 37:271-278.
- Oliveira, J.A.R. (2000) - Estudo do comportamento sedimentológico e morfodinâmico entre as praias de Porto de Galinhas e Gamboa, Litoral Sul de Pernambuco. Dissertação de Mestrado, 171 p., Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.
- Pagliosa, P.R. (2006) - Distribuição da macrofauna bêntica do entremarés ao sublitoral em uma praia estuarina da Baía da Babitonga, sul do Brasil. *Biotemas*, 19(1):25-33.
- Polovina, J.J. (1991) - Ecological considerations on the applications of artificial reefs in the management of artisanal fishery. *Trop. Coastal Area Manage*, 6(1/2):1-4.
- Santos, D.C. dos, Hazin, F.V., Fisher, A.F., Feitosa F.N. & Araújo, M.A. (2008) - The creation of a shipwreck park off the coast of Pernambuco, Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, 3(1):91-97.
- Schmiegelow, J.M.M. (2004) - O planeta azul: uma introdução às ciências marinhas. 202 p., Editora Interciência, Rio de Janeiro, Brasil.
- Seaman, W. & Seaman W.Jr. (2000) - Artificial reef evaluation with application to natural marine habitats. 246 p., CRC Press, New York, USA.
- Seaman, W.Jr. & Sprague, L.M. (1991) - Artificial Habitats for Marine and Freshwater Fisheries. 285 p., Academic Press, Florida, USA.
- Suguio, K. (1973) - Introdução à sedimentologia. 310 p., Edgard Blücher, São Paulo, Brasil.
- Thierry, J.M. (1988) - Artificial reefs in Japan - a general outline. *Aquacultural Engineering* 7: 321-348.
- Wentworth, C.K. (1922) - A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30(5):377-392.
- Zalmon, I.R., Novelli, R., Gomes, M.P. & Faria, V.V. (2002) - Experimental results of an artificial reef programme on the Brazilian coast north of Rio de Janeiro. *ICES Journal of Marine Science*, 59: 83-87.



## O mosaico dos poderes públicos em zona costeira numa região ultraperiférica da União Europeia: o caso da criação dos recifes artificiais na Martinica

### *The mosaic of public authorities in the coastal area of an Outermost Region of the European Union: the case of the creation of artificial reefs in Martinique*

Pierre Angelelli <sup>1</sup>, Pascal Saffache <sup>@</sup>

---

#### RESUMO

Situada no centro do arco das Pequenas Antilhas a leste do Mar do Caribe, a Martinica é uma ilha com 1.100 km<sup>2</sup>. Ela faz parte integrante da República francesa e da União Europeia, onde é reconhecida como uma das sete regiões ultraperiféricas, com as ilhas Canárias (Espanha), a Madeira e os Açores (Portugal).

Um projecto de recifes artificiais foi iniciado no ano 2000 para facilitar o repovoamento haliéutico e permitir, após um período de interrupção da pesca, uma exploração optimizada.

Este artigo pretende mostrar que, em termos de gestão costeira, a criação de recifes artificiais na Martinica é interessante porque é um exemplo de fragmentação e sobreposição de responsabilidades a nível local, nacional, europeu e internacional e de divergências entre os objectivos ambientais e os objectivos de exploração económica. O “mosaico” dos poderes públicos e a evolução dos objectivos aumentam a dificuldade de participação dos pescadores profissionais na implementação de recifes artificiais – e, de maneira mais geral, a dificuldade em associar os utilizadores do mar a um programa de gestão costeira.

Paradoxalmente, esta situação contém em si soluções inovadoras para a “governança” das zonas costeiras na Europa. Com efeito, contrariamente aos Estados independentes ou aos territórios autónomos das Pequenas Antilhas, na Martinica

---

@ - autor correspondente – pierre.angellesi@martinique.univ-ag.fr; co-autor: pascal.saffache@martinique.univ-ag.fr

1 - Centre d'Etude et de Recherche en Economie, Gestion, Modélisation et Informatique Appliquée - Center for research and studies in economics, marketing, modelisation and applied computer science (CEREGMIA – EA 2440) – Université des Antilles et de la Guyane, Université Antilhas e Guiana, campus de Schoelcher, BP 7207, 97275 Schoelcher Cedex, Martinique (FWI), Phone : 05.96.72.74.00, Fax : 05.96.72.74.03.

a unidade institucional do meio marinho pode ser obtida por um suplemento de procedimentos e a utilização de instrumentos complexos da União europeia.

Palavras-chave: recifes artificiais, gestão costeira, fragmentação e sobreposição de responsabilidades, instrumentos de gestão

### ABSTRACT

Located at the centre of the arc of the Lesser Antilles in the East of the Caribbean Sea, Martinique is an island of 1.100 km<sup>2</sup>. It is part of the French Republic and also of the European Union where it is recognized like one of the seven Outermost Regions, with the Canary islands (Spain), Madeira and the Azores (Portugal).

A project of artificial reefs was initiated since 2000 to facilitate fish repopulation and allow, after a period of interruption of fishing, an optimal exploitation.

The purpose of this paper is to show that, in terms of coastal management, the creation of artificial reefs in Martinique is interesting because it is an example of fragmentation and superposition of public responsibilities on local, national, European and international level, and divergences between the environmental and economic objectives. The "mosaic" of the public authorities and the evolution of the objectives increase the difficulty of participation of the professional fishermen in the creation of the artificial reefs - and, in a more general way, the problem to associate the users of the sea to coastal management.

Paradoxically, this situation contains in it innovating solutions for the "governance" of the coastal areas in Europe. Indeed, contrary to the independent States or non-self-governing Territories of the Lesser Antilles, in Martinique the institutional unity of the sea can be obtained by a supplement of procedure and the use of complex instruments of the European Union.

*Keywords:* artificial reefs, coastal management, fragmentation and superposition of responsibilities, management instruments

## 1. INTRODUÇÃO

Situada no centro do arco das Pequenas Antilhas (ou Índias Ocidentais) a leste do Mar do Caribe e enquadrada pelas ilhas da Dominica a Norte e a Santa Lúcia a Sul, a Martinica é uma ilha de 400.000 habitantes com uma superfície de 1.100 km<sup>2</sup>.

A Martinica tem o estatuto de Département français d'Outre-mer (Departamento francês ultramarino) desde 1946 e faz parte integrante da República francesa e da União Europeia, onde é reconhecida como uma das sete regiões ultraperiféricas, com a Guadalupe, a Guiana francesa, a ilha da Reunião no Oceano Índico, as ilhas Canárias (Espanha), a Madeira e os Açores (Portugal).

Este artigo pretende mostrar que, em termos de gestão costeira, a implementação de recifes artificiais na Martinica é interessante porque é um exemplo de fragmentação e sobreposição de responsabilidades a nível local, nacional, europeu e internacional. Paradoxalmente, este complexo "mosaico" contém em si soluções inovadoras para a governança das zonas costeiras.

## O artigo está estruturado como segue:

- I. Descrição do projeto
  - Quadro geral
  - Descrição do projeto e os procedimentos seguidos
- II. Contexto legal e administrativo dos recifes artificiais em Martinica
  - Contexto Nacional
  - Contexto Europeu
  - Contexto Internacional
- III. Identificação e análise das questões-chave
  - Mosaico dos poderes públicos e fragmentação das decisões
  - Divergências entre os objectivos ambientais e os objectivos de exploração económica
  - Participação dos pescadores profissionais
- IV. Perspectivas de soluções - Conclusões.

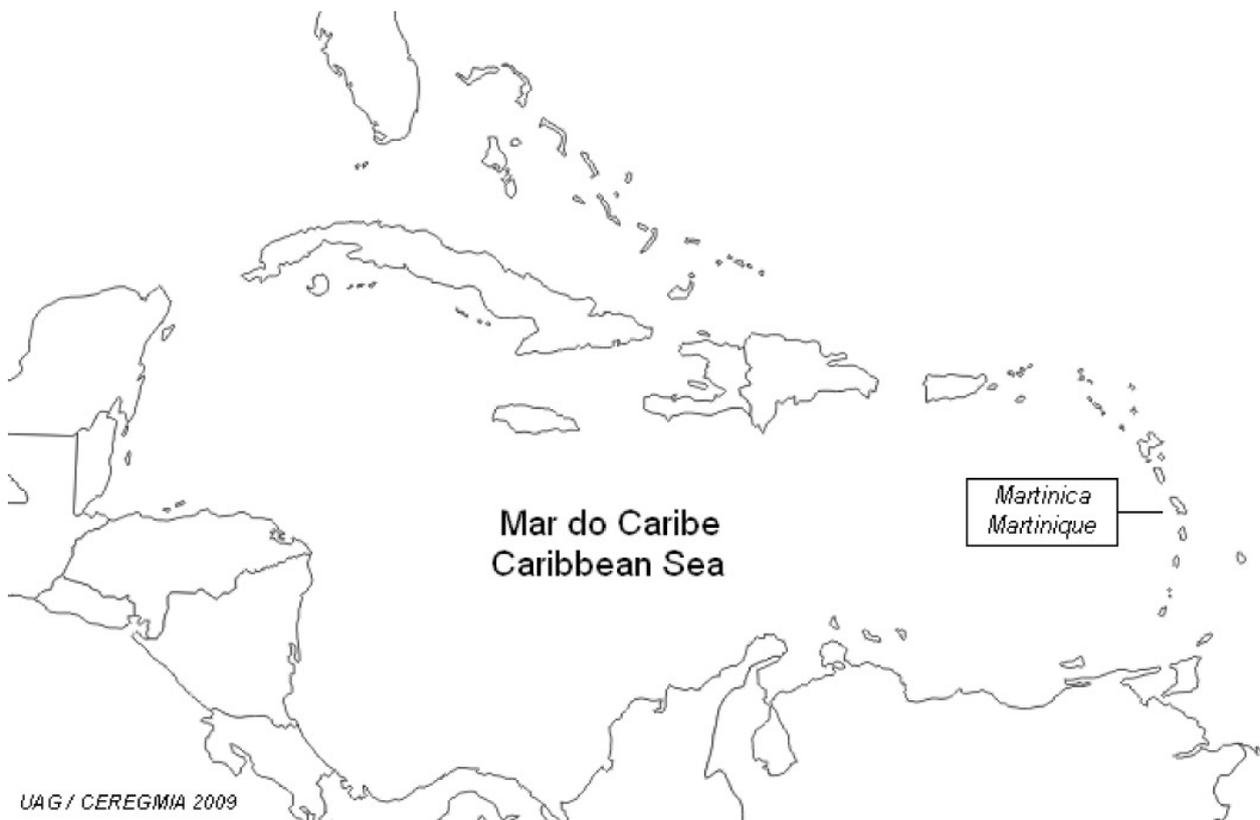


Figura 1. Mapa geral do Mar do Caribe.  
Figure 1. General chart of the Caribbean Sea.

## 2. DESCRIÇÃO DO PROJECTO

De acordo com uma das definições geralmente admitidas, os recifes artificiais são estruturas imersas colocadas deliberadamente no fundo do mar para imitar as características naturais (Baine, 2001). Mas os objectivos visados (repopoamento dos fundos marinhos para benefício da pesca (Neves Santos & Costa Monteiro, 1998); aquicultura extensiva (Seaman, 2007); protecção dos fundos contra actividades de pesca de arrasto; conservação das espécies; valorização de sítios para mergulho (Van Treeck & Schuhmacher, 1998) ou actividades recreativas (Sutton & Bushnell, 2007); luta contra a erosão costeira (Ten Voorde et al., 2008); protecção contra tsunamis; ajuda à reconstituição de corais naturais (Oren & Benayahu, 1997), etc.) e os meios utilizados podem tornar difícil a avaliação dos resultados e criar efeitos contraditórios (Morton, 1996).

Na Martinica, a vontade de gerir e aumentar os

recursos haliêuticos em benefício dos pescadores foi o motivo essencial da criação de recifes. Contudo, as medidas de limitação de pesca associadas aos recifes - e em especial o acoplamento da sua implantação com as áreas marinhas protegidas - inseriram-se, na prática, numa política geral de protecção do ambiente marinho apoiado aos níveis francês, europeu e internacional.

### 2.1 Quadro geral

Na Martinica, a pesca praticada para um mercado local por um milhar de profissionais que trabalham mais de 99% deles a bordo de barcos de dimensão inferior a 12 metros apresenta características próximas da praticada nas outras ilhas do arco das Pequenas Antilhas (Brown & Pomeroy, 1999). Com efeito, trata-se das mesmas espécies alvo (peixes, crustáceos e moluscos dos recifes coralinos, peixes pelágicos); das mesmas técnicas e engenhos de pesca (barcos

frequentemente pequenos, com saídas de menos de 24 horas, com utilização de linhas e de redes, e, num período recente, do desenvolvimento de novas técnicas como os engenhos de concentração de peixes); de fraca estruturação da profissão, e de baixa centralização dos locais de desembarque dos produtos da pesca.

Os profissionais da pesca lamentam-se de maneira recorrente de uma baixa dos desembarques de produtos da pesca. A ideia foi criar recifes susceptíveis, por um lado, de aumentar o rendimento em zonas não coralinas pouco povoadas - permitindo uma reprodução dos peixes adultos através da protecção de lugares de postura, reunindo espécies dispersas para favorecer a captura - e, por outro lado, de diminuir os custos - pela diminuição dos tempos de trajecto e de investigação. Esta ideia concretizou-se no fim dos anos '90.

Por razões práticas, a implantação de recifes registou-se em paralelo com a criação de áreas marinhas protegidas onde qualquer forma de pesca era proibida. Tratava-se de completar o dispositivo geral de redução do esforço de pesca na faixa costeira e da reorganização da pesca artesanal para os engenhos de concentração de peixes implantados ao largo (Laisné & Angelelli, 2000). Tratava-se também de tirar partido da criação pelo governo francês de áreas marinhas protegidas na ilha (Sygut, 2006), a fim de implantar recifes sem ter de recorrer novas proibições.

A partir do fim dos anos '60 foram realizadas várias experiências em França: carroçarias de automóveis foram assim imersas ao largo das costas mediterrânicas francesas para repovoamento haleútico. Perseguido o mesmo objectivo, a Région Languedoc-Roussillon tomou a iniciativa de implantar também (desde 1984) recifes em 5 locais (Pary, 2004). Mais recentemente, a Cidade de Marselha decidiu implantar 35.000 metros cúbicos de estruturas artificiais sobre uma superfície de cerca de 200 hectares (a uma profundidade de 30 m) com o objectivo de criar "um novo ecossistema"!

## 2.2 Descrição do projeto e os procedimentos seguidos

O projecto de construção de recifes artificiais foi iniciado em 2000 pelo Conseil Régional de la Martinique

(Conselho Regional da Martinica) para apoiar o sector da pesca artesanal.

Concretamente, o projecto consistiu na imersão de 4 recifes artificiais em zonas marinhas protegidas - Baía da Trinité/Sainte-Marie e Baía do Robert (na costa Atlântica da ilha), e "Ilet-à-Ramiers" (Trois-Ilets) e Case-Pilote, na costa do Caribe. Estes recifes têm em comum uma forma caótica piramidal com um volume de cerca de 500 m<sup>3</sup> e uma área de ancoragem de menos de 2000 m<sup>2</sup>. Em contrapartida, as profundidades de imersão são diferentes, em conformidade com os fundos locais entre as cotas -7 m e -30 m, assim como os materiais constituintes: três recifes são constituídos por rochas naturais e o quarto por betão e tubos.

O custo total dos 4 recifes foi de aproximadamente 230.000 euros (320.000 USD). A União Europeia interveio com uma comparticipação até 75% das despesas através do Conseil Régional. O financiamento foi totalmente de origem pública, tendo em conta o carácter experimental do projeto e a dificuldade em atribuir os custos e em avaliar e individualizar as receitas directas e indirectas.

O Conseil Régional confiou ao Comité Régional des Pêches maritimes et des Elevages marins (CRPMEM), organismo semipúblico representando os pescadores, a realização da operação.

A verificação dos rendimentos dos recifes artificiais é contudo recente, devido à complexidade dos habitats artificiais; estes permitem aumentar até 40 vezes a biomassa (Charbonnel et al., 2002) e antecipar em meio tropical uma produção anual muito mais rica que nos recifes coralinos, sendo de encarar uma valorização económica directa para a pesca ou indirecta (aumento do recrutamento de peixes e das capturas em redor do recife ou ainda melhoria da qualidade das águas (Whitmarsh et al., 2008)).

Segundo os biólogos do projecto "Estas estruturas, verdadeiros oásis do mar, permitiram a instalação de novos ecossistemas produtivos e diversificados sobre desertos de areia. A abundância das populações de peixes adultos ou jovens ultrapassa a que encontramos nos recifes coralinos" (Barnabé, 2007).

Um projecto de implantação de recifes artificiais inclui dois aspectos: administrativo e financeiro, com sequências distintas, sendo importante entender que

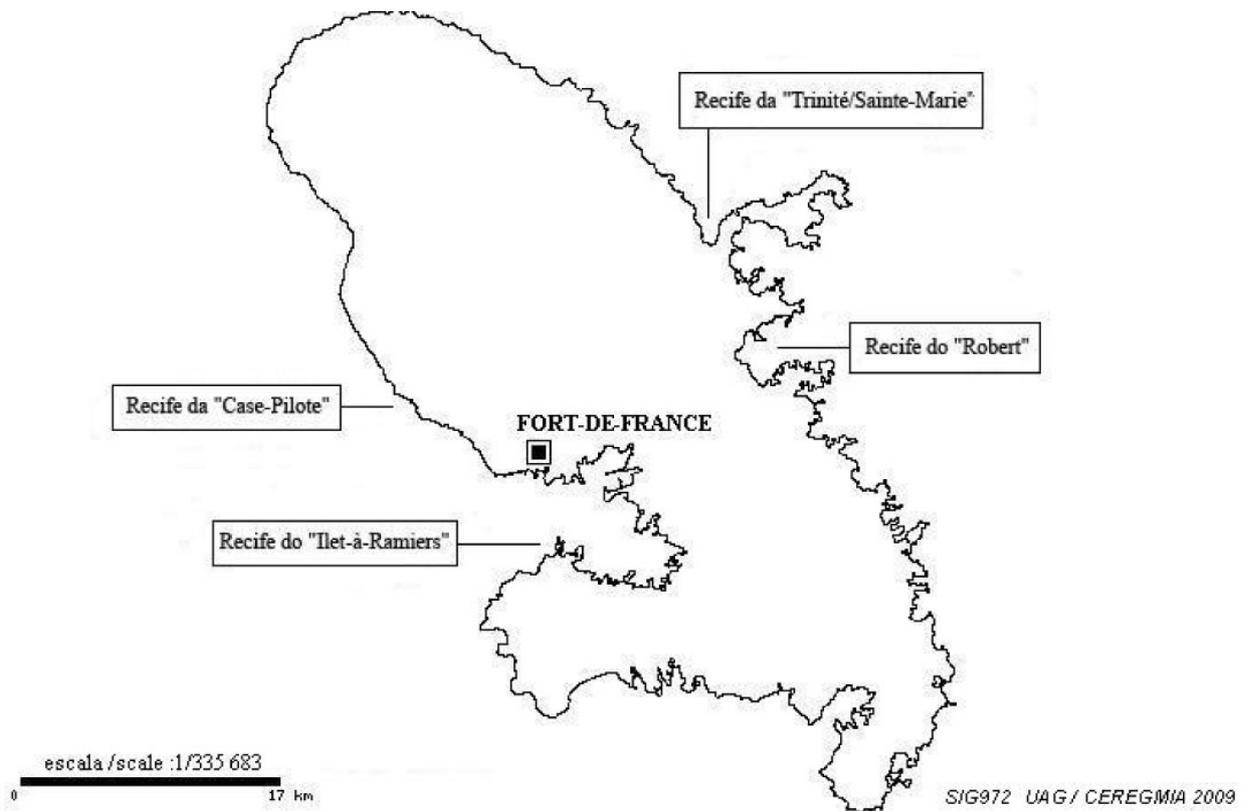


Figura 2. Mapa de Martinica com a localização geral dos recifes artificiais.  
Figure 2. Chart of Martinique with the indication of the artificial reefs.

o status de departamento ultramarino não significa que tenha mais autonomia. Significa, pelo contrário, que as leis aprovadas pelo parlamento francês são aplicáveis em todos os Départements da Europa continental e ultramarina, apelando a uma integração mais forte ao território nacional.

*Aspecto administrativo.* A implantação de recifes artificiais no fundo do mar territorial necessita de autorizações de imersão atribuídas pelo representante local do governo central (Préfet) após um procedimento especial dito de “criação de estabelecimentos de pesca marítima”.

Um pedido é formulado pelo CRPMEM e submetido a um procedimento de instrução conduzido pelos serviços dos Assuntos Marítimos; este procedimento consiste numa longa consulta e pareceres das autoridades públicas responsáveis. No final da instrução, o Préfet emite a “concessão”. Quatro anos após o arranque do projecto (2004), as

concessões para a implantação dos 4 recifes da Martinica foram atribuídas para uma duração de 5 anos.

Por último, um terceiro procedimento administrativo relativo às imersões no mar de destroços não foi conduzido devido à natureza de recifes artificiais – que não são nem escombros de dragagens nem detritos mas “depósitos de matérias destinados a outros fins para além da sua simples eliminação” (Nações Unidas, 1982b).

*Aspecto financeiro.* A estas obrigações administrativas ligadas à implantação dos recifes, acrescentam-se procedimentos de financiamento da operação.

Após a descentralização (abaixo 3.1. Contexto nacional), o Conseil Régional assegura por si só o financiamento da parte nacional dos projetos de desenvolvimento da pesca e da aquacultura. O governo central deixa de intervir, mas continua a gerir os fundos europeus.

Na Martinica, devido ao afastamento e à insularidade – como noutras regiões europeias ultramarinas –, a União Europeia credita a implantação dos recifes artificiais com subvenção de 75% aos “trabalho anteriores à implantação, incluindo os estudos, [...] os componentes, [...] a sinalização, [...] o transporte e [...] a montagem das instalações, bem como [...] o acompanhamento científico” (União Europeia, 2007).

A sequência do tratamento financeiro do projecto apresenta-se normalmente desta maneira. Um pedido de concurso financeiro é formulado junto do Conseil Régional pelo CRPMEM. Uma comissão dita “sectorial” composta por eleitos políticos decide atribuir o financiamento em nome do Conseil Régional. Depois, uma outra comissão especializada presidida pelo Préfet intervem para formular um parecer técnico antes da consulta da comissão “interfundos”, designada para gerir os fundos atribuídos pelo ministério da Agricultura e da Pesca à Martinica, ao título do Fundo Europeu para as Pescas (FEP).

### 3. CONTEXTO LEGAL E ADMINISTRATIVO DOS RECIFES ARTIFICIAIS EM MARTINICA

#### 3.1 Contexto nacional

Até ao fim dos anos '70, a França era dirigida por um governo central que agia directa ou indirectamente pelos seus serviços locais (Préfectures ou serviços ditos “técnicos” que representam os ministérios). As Communes (Municípios) e os Départements (Departamentos) eram as únicas entidades territoriais (Collectivités locales) e tinham pouca autonomia.

A Martinica era antes de 1946 uma das colónias francesas. Estas colónias ultramarinas, que contribuíram para a vitória contra a Alemanha e os seus aliados, viram reconhecido pela Metrópole (França continental) um direito à emancipação. Neste quadro, a Martinica obteve o estatuto de departamento francês ultramarino (a “départementalisation”) para dar aos seus habitantes os mesmos direitos que os da França metropolitana e, conseqüentemente, reforçar a integração na República francesa.

A partir dos anos '80, a França relançou um vasto programa destinado a transferir uma parte do poder

do governo central para as entidades territoriais eleitas – Départements e Communes - ao qual se acrescentaram as Régions. Nalguns processos de planeamento, relativos a territórios que apresentam especificidades - como Paris, a Córsega, as entidades ultramarinas -, esta dinâmica foi idêntica para todas as entidades territoriais eleitas. Importa notar que, desde esta época, e como nos outros Départements d'outre-mer (Guadalupe, Guiana, Reunião), a Martinica acumula sobre o mesmo território uma Région e um Département.

Na prática, no sector da pesca, ou mais amplamente no sector do mar, as Régions (Conseils régionaux) receberam as atribuições em matéria de desenvolvimento económico. No domínio marítimo, os Départements ocuparam-se doravante da gestão dos portos de pesca e os Communes “herdaram” do governo central a gestão dos portos comunais. As competências dos Communes em matéria de regulamento de banhos e de actividades náuticas na faixa litoral dos 300 metros, sob reserva dos poderes conferidos a outras autoridades do governo central, foram igualmente clarificadas.

Além disso, a Martinica, a exemplo das outras Regiões ultramarinas, obteve do governo central as competências de regulamentação das pescas marítimas em mar territorial, mas estas competências transferidas em 2000 necessitam da publicação de decretos de aplicação que não foram dispensados pelo governo central (Governo francês, 2000).

O governo central reorganizou igualmente em 1991-1992 a representação profissional do sector da pesca com o Comité régional des Pêches maritimes et des Elevages marins (CRPMEM).

Paralelamente a este processo de descentralização, há um crescente envolvimento das instituições europeias, o que reforça o efeito de “mosaico” da organização dos poderes públicos, particularmente na zona costeira.

#### 3.2. Contexto europeu

##### 3.2.1 Objectivo europeu de exploração dos recursos das pescas

Não prevista inicialmente pelo Tratado de Roma de 1957, que institui a Comunidade Económica Europeia, a política comum das pescas vai emergir desde os anos '70 e tomar uma dimensão directamente

vinculativa para os pescadores (União Europeia, 1983). Em termos de metodologia, esta política vai cobrir um aspecto de incentivo, constituído por subvenções ligadas quer ao apoio dos mercados dos produtos da pesca, quer à realização de programas, e um aspecto normativo ou coercivo, ligado à promulgação pela União Europeia de regras impostas directa ou indirectamente aos profissionais da pesca.

Em matéria de recifes artificiais, a intervenção da União Europeia apresenta três caracteres: não faz apelo primordial ao regulamento, mas antes ao estímulo financeiro; as normas europeias que dizem respeito às águas litorais são, desde a origem, sobretudo medidas que resultam da conservação do meio ambiente terrestre e de água doce, mais do que medidas de gestão costeira. Por último, as medidas específicas da gestão do ambiente costeiro são influenciadas fortemente pelas convenções internacionais.

A competência europeia afirmou-se em matéria de exploração dos recursos de pesca através da regulamentação das actividades de alto mar, da coabitação entre as diferentes frotas europeias e da partilha dos recursos haliêuticos comuns. Mas, essencialmente, os Estados europeus ficaram livres para regulamentar, eles próprios, o núcleo das actividades na faixa costeira.

As normas europeias no domínio marítimo continuam a ser reservadas sobretudo aos “elementos móveis”, ou que participam na mobilidade das pessoas, mercadorias ou factores de produção que interessam ao território da União e ao Mercado único.

Os aspectos “marítimos” ou “marinhos” não possuem a mesma mobilidade e, por conseguinte, não intervêm ao mesmo nível na realização do mercado interno europeu, estando principalmente dependentes dos programas de ajuda financeira e da livre escolha dos governos europeus (orientados pelas entidades territoriais, pelos interesses privados ou pelas organizações não governamentais). Assim, os recifes artificiais, devido ao fraco papel no Mercado único e igualmente à massa dos interesses divergentes a coordenar, estão dependentes dos mecanismos europeus de incentivo financeiro.

A partir de 1986, a vertente normativa da política europeia das pescas foi complementada por uma vertente financeira. A noção de recife artificial, na

falta do termo, é precisada a partir do Regulamento europeu de 1986, que considera “que é oportuno que zonas costeiras sejam protegidas através da instalação de estruturas artificiais destinadas a facilitar a repovoamento haliêutico e a permitir, após um período de interrupção da pesca, uma exploração óptima dessas zonas”; em consequência (União Europeia, 1986), é fixado que “1. A Comissão [europeia] pode conceder apoio financeiro comunitário a projectos públicos, semipúblicos ou privados relativos: (...) b) as acções de protecção e de valorização das zonas marinhas costeiras através da instalação, aquém da isóbata de 50 metros, de elementos fixos ou móveis destinados a delimitar zonas protegidas e a permitir a protecção ou o desenvolvimento dos recursos haliêuticos”.

O Regulamento de 2006 relativo ao Fundo Europeu para as Pescas (FEP) confirma o apoio aos recifes com a dupla vocação de desenvolvimento dos recursos aquáticos e melhoramento do meio ambiente (União Europeia, 2006).

Os fundos europeus podem ser solicitados em complemento de uma subvenção da Région para os projectos, tais como os recifes artificiais. O Instrumento Financeiro de Orientação das Pescas (União Europeia, 1999) participou até 75% do custo total do projeto. Estes fundos (IFOP e FEP) são distribuídos pelo Préfet.

### *3.2.2 Objectivo europeu de protecção do ambiente marinho*

Paralelamente às medidas de incentivo financeiro, foram implementadas normas europeias que interessam às águas litorais, mas resultam sobretudo da preservação do ambiente terrestre e, para simplificar, da “água doce”, mais do que das medidas de gestão costeira. Na União Europeia (e, portanto, na Martinica), as medidas de gestão costeira permanecem assuntos nacionais.

A revisão da política europeia das pescas preparada pelo Conselho de Santa Maria da Feira (Portugal) de 2000 confirmou a integração das preocupações ambientais na política das pescas, em conformidade com o Tratado que instituiu a Comunidade Europeia (União Europeia, 1997).

Nesta perspectiva, a União Europeia colocou em destaque quatro domínios “terrestres” de intervenção

que têm um impacto sobre a gestão costeira: a redução da poluição do meio aquático (União Europeia, 1976b), a qualidade das águas balneares (União Europeia, 1976a), a qualidade das águas conquícolas (para as criações em mar dos mexilhões, ostras e outros mariscos) (União Europeia, 1979) e a recolha, o tratamento e a rejeição das águas urbanas residuais, bem como o tratamento e a rejeição das águas usadas que provêm de sectores industriais (União Europeia, 1991). Apesar das águas costeiras serem aqui objecto de uma definição ampla (União Europeia, 1991), elas são encaradas unicamente como o meio receptor de poluições provenientes de terra e geridas no âmbito de bacias hidrográficas.

Com a “Directiva-Quadro no domínio da água” que se refere às águas doces, mas igualmente às águas costeiras situadas até “uma distância de uma milha marinha para além do ponto mais próximo da linha de base” (União Europeia, 2000a), a União Europeia efectuou em 2000 uma vasta síntese qualificada de “política integrada” (União Europeia, 2000b): (i) da protecção das águas destinadas ao consumo humano, (ii) das espécies aquáticas, (iii) das águas balneares, (iv) dos habitats e das espécies envolvidas nos sítios da rede Natura 2000 (União Europeia, 1992), (v) do tratamento das águas urbanas residuais e (vi) dos seus compromissos internacionais em matéria de poluição do meio marinho. Principalmente consagrado às águas doces, a Directiva-Quadro no domínio da água integra, com instrumentos de medida mas sem verdadeiros instrumentos de gestão, as águas territoriais inclusive as águas costeiras num dispositivo terrestre de “distritos hidrográficos”.

### 3.3 Contexto internacional

O contexto internacional das medidas de gestão do ambiente marinho e costeiro (Desse & Saffache, 2005) foi fornecido pelo primeiro relatório sobre o estado do ambiente no mundo, estabelecido em 1951 pela União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais (UICN – International Union for Conservation of Nature), e a sucessão das iniciativas mundiais de 1972, 1982, 1992 e 2002: o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), resultante da Conferência sobre o ambiente reunida em Estocolmo em 1972, a Conferência mundial sobre o ambiente e o

desenvolvimento realizada no Rio de Janeiro em 1992 (Saffache & Moutamalle, 2006) – e o famoso capítulo 17 da agenda 21, interessando simultaneamente a gestão integrada das zonas costeiras e o desenvolvimento sustentável das pequenas zonas insulares – a Cimeira mundial sobre o desenvolvimento sustentável reunida em Joanesburgo em 2002 – e as suas temáticas sobre as ilhas, os oceanos e a biodiversidade – e, entretanto, a Convenção das Nações Unidas sobre o direito do mar celebrada em Montego Bay (Jamaica) em 1982.

Esta última convenção coloca o direito soberano dos Estados a explorar os respectivos recursos naturais “em conformidade com o dever de proteger e preservar o meio marinho” (Nações Unidas, 1982c). Mas apresenta igualmente um interesse do ponto de vista da gestão dos recifes artificiais, definindo, por um lado, de maneira universal – e simbolicamente no seu artigo primeiro – “a poluição do meio marinho” (Nações Unidas, 1982a) e, por outro, permitindo um tratamento especial para as implantações de recifes, cuja Convenção nos diz que, por excepção à definição comum e à obrigação dos Estados de “prevenir, reduzir e dominar a poluição do meio marinho por imersão” (Nações Unidas, 1982d), “o termo “imersão” não visa “o depósito de matérias para outros fins que não sejam os da sua simples eliminação” (Nações Unidas, 1982b).

O PNUMA, quanto a ele, permitiu regionalizar a luta contra a poluição proveniente de navios ou de terra bem como a conservação dos ecossistemas marinhos e das espécies nos mares regionais. A Martinica, à semelhança das outras ilhas das Antilhas (Singh & Mee, 2008), está envolvida pela Convenção para a protecção e desenvolvimento do ambiente marinho na região das Caraíbas dita “Convenção de Cartagena”, adoptada em 1983, e pelo respectivo Protocolo, adoptado em Kingston em 1990, que estende aos ecossistemas, e não unicamente às espécies, a obrigação de protecção da biodiversidade marinha e tenta equilibrar os objectivos ecológicos e económicos.

As Convenções de Montego Bay e de Cartagena são doravante “pilares” importantes tanto dos textos europeus como dos textos franceses em matéria de protecção do ambiente litoral e da imersão no mar de desperdícios e de outras matérias.

#### 4. IDENTIFICAÇÃO DAS QUESTÕES-CHAVE NA CRIAÇÃO DE RECIFES EM MARTINICA, E ANÁLISE SUMÁRIA

##### 4.1 Mosaico dos poderes públicos e fragmentação das decisões

A França não escapa por conseguinte a uma realidade descrita por Ehler (Ehler, 2003): “Most countries continue to manage their ocean resources and space on a sector-by-sector regulatory basis. One law, one agency, and one set of regulations may be applicable to a single-purpose regime (e.g., oil and gas development, fisheries, water quality, navigation, or protecting endangered species), and a single ocean area may be subject to a plethora of regulatory management regimes ». (...) “The fragmentation of governmental agencies is both horizontal and vertical. At the present time, management of the marine environment is carried out at local, state, regional and national (and, in some cases, marine transportation, for example, international) levels of government. At any given level, various functions are carried out by a wide array of separate agencies and organizations, with limited or sporadic coordination. As a result, fragmentation is the general rule and many situations are poorly or inefficiently managed.”

A tabela 1 resume de maneira não exaustiva a repartição das principais competências das autoridades públicas, em relação à problemática dos recifes artificiais na Martinica.

Contrariamente às outras economias insulares que lhe são comparáveis em tamanho, a “co-gestão” da zona costeira na Martinica não se limita a partilhar a responsabilidade entre o governo e os grupos de interesses (Pomeroy et al., 2004). Vários elementos devem ser realçados.

Primeiro, a fragmentação das competências caracteriza a estrutura do Estado em França (Dauvin et al., 2004) e, portanto, na Martinica.

A terra de Montesquieu e da separação de poderes conhece uma separação vertical clássica (legislativo, executivo, judicial) detalhada, ao nível do executivo pela existência de mais de quarenta departamentos ministeriais e mais de 200 direcções centrais. A esta separação vertical acrescenta-se uma separação horizontal recente com a autonomia das Communes, os Départements e as Régions, seguindo-se a emergência dos poderes públicos europeus, eles mesmos fraccionados num poder legislativo (compartilhado entre o Conselho que representa os governos centrais

e o Parlamento que representa os cidadãos europeus), um poder executivo detido pela Comissão europeia (Comissários europeus, Direcções-Gerais e agências executivas), um poder judicial nas mãos do Tribunal de Justiça, e um Banco central independente.

Apesar da separação horizontal, a herança institucional da colonização seguidamente à départementalisation de 1946 (3.1.) conduz frequentemente a procurar uma solução para os problemas internos da Martinica junto de autoridades externas (governo central - Préfet e serviços técnicos do governo central; ministérios em Paris - e, cada vez mais, a União europeia). É assim para certos conflitos sociais como para a gestão costeira.

De facto, o segundo elemento reside nas modalidades da coordenação. A fragmentação implica que, na maioria dos casos, as instituições devem agir juntas para a realização de um projecto, em particular no domínio dos recifes artificiais.

Formalmente, a integração revestirá a forma de uma coordenação, que combinará três categorias de escolhas:

- a coordenação poderá ser explícita, se for objecto de uma co-decisão ou de uma parceria fundamentando-se em objectivos comuns, ou, mais geralmente, implícita com base numa instruction administrative (instrução administrativa): um projecto é examinado sucessivamente por diferentes serviços administrativos ou de financiamento, exprimindo um parecer no respectivo domínio de competências;
- a coordenação poderá ser de tipo incitativo, se for objecto de uma ajuda financeira pública, ou de tipo normativo, caso se traduza no acordo ou na recusa de uma autorização;
- por último, a coordenação poderá fazer intervir um ou diferentes níveis geográficos: local, central ou europeu.

Estes tipos de coordenação, requeridos pela fragmentação de competências, contribuíram por um lado para a multiplicação de comissões administrativas e, por outro, de planos, programas, esquemas diversos de carácter espacial - documentos de urbanismo, por exemplo - ou temporal e/ou financeiro - programas de desenvolvimento, nomeadamente em matéria de

**Tabela 1. Repartição das competências jurídicas das autoridades públicas na gestão costeira na Martinica.**  
**Table 1. Table of distribution of powers of public authorities in coastal management in Martinique.**

| DOMÍNIOS INTERESSADOS  | AUTORIDADES RESPONSÁVEIS  |
|--|---|
| Acompanhamento dos recursos de pesca e estatísticas.   | Governo central (ministério encarregado da Pesca, assistido pelo <i>Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer</i> - IFREMER).  |
| Investigação científica.   | Como financiadores públicos da investigação científica<br>- União Europeia (Programa-quadro de investigação e de desenvolvimento; Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER); Fundo Europeu para as Pescas - FEP)<br>- Governo central (ministério encarregado da Investigação científica)<br>- Région Martinica (arte. L.4252-1 do código geral das coletividades territoriais)<br>Como operadores da investigação científica<br>- <i>Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer</i> (Ifremer)<br>- Universidade<br>- Instituto de Investigação para o Desenvolvimento (IRD). |
| Qualidade das águas marinhas (definição das normas).   | União Europeia  |
| Qualidade das águas marinhas (controlo da aplicação das normas, acompanhamento e polícia).   | Representante local do governo central ( <i>Préfet</i> e director regional do ambiente + director do departamento das Obras Públicas + director da Saúde + director regional das Assuntos marítimos).   |
| Autorização das explorações dos recursos vivos no mar ( <i>esta belecimentos de pesca, nomeadamente para a implantação dos recifes</i> ).  | Région Martinica (art. L.4433-15-1 do código geral das coletividades territoriais)<br>(Na prática: representante local do governo central ( <i>Préfet</i> de região sobre proposta do director regional das Assuntos marítimos).  |
| Luta contra a poluição no mar (POLMAR).  | Representante local do governo central ( <i>Préfet</i> delegado à acção do governo central em mar + Marinha militar + director do departamento das Obras Públicas).   |
| Balizagem das zonas no mar.  | Representante local do governo central ( <i>Préfet</i> sobre proposta do director do departamento das Obras Públicas).  |
| Organização dos lazeres náuticos na faixa litoral dos 300 metros: protecção dos banhos e regulamento das actividades náuticas praticadas sem engenhos motorizados.   | Presidente dos <i>Communes</i> litorais.  |
| Organização dos lazeres náuticos na faixa litoral dos 300 metros: regulamento das actividades náuticas praticadas com engenhos motorizados.  | Representante local do governo central ( <i>Préfet</i> delegado à acção do governo central em mar + director regional das Assuntos marítimos).  |
| Qualidade das águas de banhos (definição das normas).  | União Europeia.   |
| Qualidade das águas de banhos (controlo da aplicação das normas, acompanhamento e polícia).  | Representante local do governo central (director da Saúde).   |
| Ocupação do domínio público marítimo imergido fora dos portos.   | Representante local do governo central ( <i>Préfet</i> sobre proposta do director do departamento das Obras Públicas).  |
| Ocupação do domínio público marítimo imergido fora dos portos com inconveniente para a navegação.  | Representante local do governo central ( <i>Préfet</i> sobre proposta do director do departamento das Obras Públicas após pareceres dos serviços da Marinha militar e dos Assuntos marítimos).  |
| Regulamento da pesca profissional em zona económica (de 12 à 200 milhas): zonas de exclusão de pesca; épocas de pesca; espécies; características dos engenhos; dimensões mínimas de capturas; gestão das licenças de pesca especiais; limitação das tonelagens exploráveis por espécies. | União Europeia (Direcção-geral das Pescas).   |
| Regulamento da pesca profissional em mar territorial (de 0 à 12 milhas): zonas de proibição temporária de pesca; navios autorizados e criação e gestão de um regime de licenças de pesca; épocas de pesca; espécies.   | Organização profissional dos pescadores ( <i>Comité régional des pêches maritimes et des Elevages marins</i> ) + representante local do governo central ( <i>Préfet</i> de região sobre proposta do director regional dos Assuntos marítimos).  |
| Regulamento da pesca profissional em mar territorial: zonas de proibição temporária de pesca; épocas de pesca; espécies.   | <i>Région</i> Martinica (artigo L.4433-15-1 do código geral das coletividades territoriais) (Na prática: representante local do governo central ( <i>Préfet</i> de região sobre proposta do director regional dos Assuntos marítimos).  |
| Regulamento da pesca profissional em mar territorial: zonas de proibição de pesca sem limitação de duração; características dos engenhos de pesca; dimensões mínimas de capturas de certas espécies.   | Governo central (ministério encarregado das Pescas, assistido pelo <i>Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer</i> ).   |
| Regulamento da pesca de lazer: zonas de proibição de pesca; épocas de pesca; espécies regulamentadas; limitação das quantidades pescadas.  | Governo central ou o seu representante local ( <i>Préfet</i> de região sobre proposta do director regional dos Assuntos marítimos).   |
| Regulamento de segurança dos navios de pesca.  | Governo central (ministério encarregado dos transportes).   |
| Regulamento das qualificações profissionais marítimas para a pesca   | Governo central (ministério encarregado dos transportes) ou o seu   |

(continuação da Tabela 1)

|   |  |
|---|--|
| Regulamento da pesca profissional em mar territorial: zonas de proibição temporária de pesca; épocas de pesca; espécies.  | <i>Région</i> Martinica (artigo L.4433-15-1 do código geral das coletividades territoriais) (Na prática: representante local do governo central ( <i>Préfet</i> de região sobre proposta do director regional dos Assuntos marítimos). |
| Regulamento da pesca profissional em mar territorial: zonas de proibição de pesca sem limitação de duração; características dos engenhos de pesca; dimensões mínimas de capturas de certas espécies.  | Governo central (ministério encarregado das Pescas, assistido pelo <i>Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer</i> ).  |
| Regulamento da pesca de lazer: zonas de proibição de pesca; épocas de pesca; espécies regulamentadas; limitação das quantidades pescadas.   | Governo central ou o seu representante local ( <i>Préfet</i> de região sobre proposta do director regional dos Assuntos marítimos).  |
| Regulamento de segurança dos navios de pesca.   | Governo central (ministério encarregado dos transportes).  |
| Regulamento das qualificações profissionais marítimas para a pesca (programas, exames e emissão das patentes).  | Governo central (ministério encarregado dos transportes) ou o seu representante local ( <i>Préfet</i> de região sobre proposta do director regional dos Assuntos marítimos).   |
| Qualidade dos produtos do mar (definição das normas).   | União Europeia (com a Autoridade europeia para segurança dos alimentos - EFSA).  |
| Qualidade dos produtos do mar (controle da aplicação das normas, acompanhamento e polícia).   | Governo central (ministério encarregado da Alimentação) e o seu representante local (director dos serviços veterinários).  |
| Ações colectivas no sector da pesca e da aquicultura marinha.   | Organização profissional dos pescadores ( <i>Comité régional des pêches maritimes et des Elevages marins</i> ).  |
| Tutela das organizações profissionais dos pescadores ( <i>Comité régional des pêches maritimes et des Elevages marins</i> ; sociedades cooperativas; organizações de produtores).   | Governo central ou o seu representante local ( <i>Préfet</i> de região sobre proposta do director regional dos Assuntos marítimos).  |
| Aplicação dos regulamentos das pescas.  | Representante local do governo central (director regional dos Assuntos marítimos, coordenador da acção do governo central em mar no domínio das pescas marítimas).   |
| Polícia judiciária (investigação e repressão das infracções) em matéria de pesca.   | Director regional dos Assuntos marítimos.  |
| Financiamento directo dos investimentos<br>- frota de pesca artesanal (navios com menos de 9 metros)<br>- ajuda às empresas de aquicultura<br>- concurso ao desenvolvimento económico<br>- transferência de tecnologia no domínio de pesca e aquicultura. | <i>Région</i> Martinica + União Europeia (representado pelo governo central ou seu representante local, o <i>Préfet</i> de região).  |
| Formação profissional marítima (definição dos programas).   | Governo central (ministério encarregado dos transportes).  |
| Formação profissional marítima (financiamento).   | <i>Région</i> Martinica + União Europeia (Fundo Social Europeu, representado pelo governo central ou seu representante local, o <i>Préfet</i> de região).  |
| Equipamento dos portos de pesca (infra-estruturas e capacidade de acolhimento e valorização dos produtos).  | <i>Département</i> Martinica + União Europeia (representado pelo o governo central ou seu representante local, o <i>Préfet</i> de região sobre proposta do director regional dos Assuntos marítimos).                                  |

gestão costeira integrada com a multiplicação dos actores públicos exigindo, especialmente desde os anos '90 com o papel crescente da União Europeia, a abordagem transversal e o desenvolvimento de políticas interministeriais (Deboudt et al., 2008) ou de “estratégias integradas”.

O terceiro elemento fundamental, que resulta dos dois primeiros, é que as decisões e, em particular, decisões da implantação de recifes artificiais ou, mais geralmente, da gestão costeira, vão ser compromissos representando o “mínimo denominador comum” entre os diferentes interesses.

#### 4.2 Divergências dos objectivos ambientais e os objectivos de exploração económica

Mais de quarenta países implantaram recifes, quer para aumentar a produção comercial de peixes como o Japão, a China continental, Taiwan, Hong-Kong, as Filipinas, Portugal continental (Neves Santos & Costa Monteiro, 1998) e Madeira, ou a Itália peninsular e a Sicília (D'Anna et al., 2004), quer para fins recreativos (Sutton & Bushnell, 2007) como a Austrália e os Estados Unidos. Quanto aos objectivos, a União Europeia evoluiu.

Em 1986, os recifes tinham por objectivo facilitar o repovoamento haliêutico e permitir, após um período de interrupção da pesca, uma exploração óptima (União Europeia, 1986).

Em 2000, a revisão da política europeia das pescas prolongava uma dupla orientação que se manifestava a nível das instituições europeias desde os anos '80: a tendência a considerar a gestão das águas costeiras como a resultante da gestão dos territórios adjacentes, e a tendência a privilegiar a abordagem ambiental de conservação "do meio marinho" antes da abordagem económica de exploração "do meio marítimo".

A partir de 2006 a União Europeia passou a incentivar abordagens que procurem "proteger e desenvolver a fauna e a flora aquáticas e que contribuam para melhorar o ambiente aquático" (União Europeia, 2006).

Por último, a União Europeia reconheceu que o seu quadro institucional sobre a água não estava adaptado à protecção do meio marinho e necessitava de um "novo instrumento político" (União Europeia, 2005a) que revestiu a forma da Directiva-Quadro dita "Estratégia Marinha" de 2008 (União Europeia, 2008). Supostamente, esta última leva em consideração "as inextricáveis relações que ligam as zonas costeiras e o meio marinho" (União Europeia, 2005b), mas confirma a vontade europeia de protecção do ambiente, em vez de exploração económica.

#### 4.3 Participação dos pescadores profissionais

O "mosaico" dos poderes públicos e a fragmentação das decisões (4.1.) e a evolução dos objectivos (4.2.) aumentam a dificuldade de participação dos pescadores profissionais na implantação dos recifes artificiais – e, de maneira mais

geral, a dificuldade em integrar os utilizadores do mar num programa de gestão costeira.

Se nos referirmos a uma tipologia de participação adaptada à pesca (Pretty, 1995), numa escala simplificada de sete níveis que vão desde a "mobilização autónoma", onde a comunidade de pescadores toma iniciativas independentes dos poderes públicos mas pode recorrer a apoios externos conservando o controlo, ao extremo oposto "a manipulação", no qual a participação dos pescadores é de pura forma e as respectivas instâncias desprovidas de poderes reais, a implantação dos recifes artificiais na Martinica poderia ser classificada de nível 3: "a participação consultiva", na qual a comunidade é consultada e os problemas avaliados e analisados por peritos, mas sem obrigação de dar seguimento às consultas...

A fraca capacidade de acção – de financiamento e/ou autogestão – alegada pelos pescadores profissionais no que se refere à gestão da faixa costeira está na origem da intervenção pública directa de numerosas entidades em matéria de recifes, não só na Martinica, mas também no Languedoc-Roussillon, em Marselha, ou na ilha da Reunião.

Contudo, na Martinica, à semelhança do que sucede noutras ilhas das Penhas Antilhas, esta fraca capacidade é provavelmente intensificada pelo carácter relativamente recente da gestão das pescas, bem como por um forte individualismo ou, no mínimo, por um fraco grau de coesão social (Brown & Pomeroy, 1999).

Além disso, nas tradições francesas e europeias, o mar não tem valor comercial e não pode ser apropriado. Apenas os poderes públicos podem proceder à avaliação e à valorização dos ecossistemas marinhos (Nunes & Riyanto, 2005). É por isso que o governo central francês e o Conseil Régional pediram ao Comité régional des Pêches maritimes et des Elevages marins (CRPMEM) para realizar, sucessivamente, os engenhos de concentração de peixes (1998-2000), os recifes artificiais (2000-2003), as áreas marinhas protegidas (2002-2005), assumindo assim o risco de criar uma situação top-down e suscitar o desinteresse dos pescadores profissionais, risco esse que é intensificado pela ambivalência dos objectivos – preservar uma zona de pesca e trocar uma perda imediata por um lucro futuro; perder a utilização privilegiada do mar a favor de outras actividades

protectoras do ambiente ou recreativas – e a complexidade dos procedimentos de imersão mas também de financiamento.

## 5. PERSPECTIVAS DE SOLUÇÕES - CONCLUSÕES

Paradoxalmente, a complexidade gerada pelas regras da União europeia e dos poderes públicos franceses pode ajudar a simplificar o “mosaico” resultante da superposição de normas nacionais, europeias e internacionais, e melhorar localmente a “governança” (segundo palavra utilizada pelos Regulamentos europeus) das zonas costeiras.

Primeiro, os objectivos da política europeia de criação de recifes artificiais já não se limitam ao aumento dos recursos da pesca, mas tornam-se mais gerais, visando a protecção do meio marinho. Esta nova orientação é susceptível de reunir mais largamente os interesses dos utentes da zona costeira que a antiga orientação (crescimento dos recursos de pesca) que era limitada aos pescadores.

Depois, estes mecanismos europeus de apoio através de programas manifestam duas tendências importantes: um incentivo financeiro intenso e amplo, e um mecanismo de iniciativa e de implementação descentralizado.

Com efeito, e em conformidade com os princípios europeus de subsidiariedade e de parceria, os Programas europeus não são estabelecidos pela União Europeia mas pelos governos centrais “após uma consulta estreita dos parceiros económicos e sociais e dos parceiros aos níveis regionais e locais do sector da pesca, bem como de todos os organismos competentes”.

Neste contexto, a intervenção da União Europeia, apesar do suplemento de procedimentos e dos prazos que ela gera é uma oportunidade.

Em primeiro lugar, tanto a fragmentação das competências dos poderes públicos, como a existência de interesses privados ou colectivos ao lado do interesse geral são os dados de base da gestão costeira, apelando precisamente um esforço de integração. Ora, através dos programas incitativos, a União Europeia aceita estes dados, sem impor a sua vontade na concepção ou implementação de políticas.

Em segundo lugar, os próprios programas europeus fornecem um quadro de integração aos

actores da zona costeira. Com a sua relativa flexibilidade – no que respeita ao conteúdo das acções, aos beneficiários, aos modos de associação e aos trabalhos das diferentes comissões técnicas e das comissões de programação dos fundos públicos - e o seu carácter descentralizado, todas as instituições públicas e a maior parte dos grupos de pressão que intervêm na faixa costeira podem participar na definição de uma política local. Por outro lado, a montagem de um programa geral ou de um pedido de concurso financeiro da União Europeia impõe aos actores públicos, ou privados, um esforço de conceptualização dos projectos, de planificação, de busca de parcerias financeiras ou operacionais e de consenso local. Basicamente, a investigação dos fundos europeus permite criar uma capacidade para decidir localmente e os programas europeus fornecem num contexto de “mosaico” uma espécie de “gramática” às ideias e aos projectos locais permitindo a sua formulação.

Em terceiro lugar, o próprio aporte financeiro europeu é determinante para os projectos de recifes – ou, mais amplamente, de gestão costeira nas pequenas economias insulares.

No fundo, a União Europeia, através das características da sua intervenção na Martinica, pode aparecer sob certos aspectos como uma máquina para fabricar políticas locais e consensos, sobretudo num contexto onde os poderes públicos são múltiplos, e geralmente externos.

## 6. CONCLUSÕES

Os recifes artificiais em Martinica poderiam ilustrar a desintegração da zona costeira. Viu-se que os objectivos a atingir e, por conseguinte, os resultados podem ser diferentes; que os processos de decisão em Martinica são complexos e reflectem um “mosaico” dos poderes; que a União Europeia persegue objectivos paralelos ou mesmo divergentes de protecção do ambiente e exploração racional dos recursos; que emprega para o efeito os meios que vão da regulamentação ao apoio financeiro e, por último, que parece deixar ainda mais autonomia às instâncias de decisão locais (na iniciativa e na realização: “bottom-up”).

Apesar destas numerosas indeterminações, o método europeu oferece nas regiões ultraperiféricas

um verdadeiro instrumento de “gestão integrada”. Fornece aos diferentes interesses que agem na zona costeira um quadro relativamente flexível. Este permite atingir os objectivos escolhidos localmente, tanto quanto são compatíveis com as diferentes políticas marítimas europeias.

A gestão integrada na Martinica, como no território continental da União Europeia – tendente nomeadamente a estabelecer uma unidade institucional do meio marinho –, pode ser obtida paradoxalmente por um suplemento de procedimentos e a utilização de instrumentos complexos a conhecer e executar (“programas plurianuais”, “programas-quadro”, “programas operacionais”, “iniciativas comunitárias”, “fundos estruturais”, “instrumentos financeiros”, que se inserem em “estratégias comuns” ou prolongando “diretivas-quadro”, etc.).

Por conseguinte, doravante a dificuldade é que este instrumento de gestão integrada seja apropriado por todos os actores e não apenas pelas instituições que compartilham uma gestão “desintegrada” da zona costeira. Para além dos recifes artificiais, um ponto essencial permanece em relação às zonas costeiras insulares que estão expostas a pressões na utilização dos recursos e que estas pressões são por vezes exacerbadas por formas inadequadas de intervenção de gestão (Krelling et al., 2008). Será que a União Europeia vai permitir aos actores locais resolver este problema?

## BIBLIOGRAFIA

- Baine, M. (2001) – Artificial reefs: A review of their design, application, management and performance. *Ocean & Coastal Management*. 44, 241-259.
- Barnabé, G. (2007) - Suivi scientifique de quatre récifs artificiels en Martinique - Rapport final pour l'année 2006. Conseil Régional de la Martinique, 22p., Schoelcher, Martinique. (não publicado).
- Brown, D. N. & Pomeroy, R. S. (1999) – Co-management of Caribbean Community (CARICOM) fisheries. *Marine Policy*, Vol. 23, n° 6, 549-570.
- D’Anna, G., Giacalone, V.M., Badalamenti, F. & Pipitone, C. (2004) – Releasing of hatchery-reared juveniles of the white seabream *Diplodus sargus* (L., 1758) in the Gulf of Castellammare artificial reef area (NW Sicily). *Aquaculture*. 233, 251-268.
- Dauvin, J.-C., Lozachmeur, O., Capet, Y., Dubrulle, J.-B., Ghezali, M. & Mesnard, A.H. (2004) – Legal tools for preserving France’s natural heritage through integrated coastal zone management. *Ocean & Coastal Management*. 47, 463-477.
- Deboudt, P., Dauvin, J.-C., Lozachmeur, O. (2008) – Recent developments in coastal zone management in France: The transition towards integrated coastal zone management (1973-2007). *Ocean & Coastal Management*. 51, 212-228.
- Desse, M. & Saffache, P. (2005) – Les littoraux antillais: des enjeux de l'aménagement à la gestion durable, Matoury (Guiana Francesa). Ibis Rouge Editions, pp.90 & ss.
- Dowling, R.K. & Nichol, J. (2001) – The HMAS Swan artificial dive reef. *Annals of Tourism Research*. Vol.28, n°1, 229-232.
- Ehler, C.N. (2003) – Indicators to measure governance performance in integrated coastal management. *Ocean & Coastal Management*. 46, 335-345.
- Governo francês (1985) – Artigo R.123-1, código do ambiente e Anexo I (16°) ao artigo R.123-1.
- Governo francês (2000) – Artigo 47, lei de 13 de dezembro de 2000, sobre a orientação para ultramarino - tornado o artigo L.4433-15-1 do código geral das coletividades territoriais.
- Krelling, A.P., Polette, M. & Casillas DelValls, A. (2008) – CoastLearn: Lessons learnt from a web-based capacity building in Integrated Coastal Zone Management (ICZM). *Ocean & Coastal Management*. 51, 789-796.
- Laisné, L. & Angelelli, P. (2000) – Mise en place et exploitation des DCP en Martinique: Aspects réglementaires et économiques, In: Le Gall, J.-Y., Cayré, P. & Taquet, M. (eds), Pêche thonière et dispositifs de concentration de poissons. Collection “Actes de Colloques” n°28, Editions Ifremer, França.
- Morton, B. (1996) – Artificial reefs, Fish and Cyanide. *Marine Pollution Bulletin*. Vol.32 (7), 522-523.
- Moutamalle L., Saffache P., Dehoorne O. (2006) – De l'aménagement du territoire à la gestion intégrée: l'exemple de la Caraïbe. *La Géographie (Acta Geographica)*, 1522 – número fora de série, p. 5-7.

- Nações Unidas (1982 a) – Art. 1º, §1, (4) da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, do 10 de dezembro de 1982: « Para efeitos da presente Convenção: [...] (4) ‘poluição do meio marinho’ significa a introdução pelo homem, direta ou indiretamente, de substâncias ou de energia no meio marinho, incluindo os estuários, sempre que a mesma provoque ou possa vir provocar efeitos nocivos, tais como danos aos recursos vivos e à vida marinha, riscos à saúde do homem, entrave às atividades marítimas, incluindo a pesca e as outras utilizações legítimas do mar, alteração da qualidade da água do mar, no que se refere à sua utilização, e deterioração dos locais de recreio».
- Nações Unidas (1982 b) – Artigo 1º §1, (5), a, ii), Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, celebrada em 1982.
- Nações Unidas (1982 c) – Artigo 193º, Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, celebrada em 1982.
- Nações Unidas (1982 d) – Artigo 210º §1, Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, celebrada em 1982.
- Neves Santos, M. & Costa Monteiro, C. (1998) – Comparison of the catch and fishing yield from an artificial reef system and neighbouring areas off Faro (Algarve, South Portugal). *Fisheries Research*. 39, 55-65.
- Nunes, P.A.L.D. & Riyanto, Y. (2005) – Information as a regulatory instrument to price biodiversity benefits: certification and ecolabeling policy practices. *Biodiversity Conservation*. 14, 2009-2027.
- Oren, U. & Benayahu, Y. (1997) – Transplantation of juvenile corals: a new approach for enhancing colonization of artificial reefs. *Marine Biology*. 127, 499-505.
- Pary, B. (2004) - *Récifs artificiels en Languedoc-Roussillon : des outils originaux d'aménagement de la bande côtière*, 13p. < <http://www.museum.agropolis.fr/pages/savoirs/littoral/Pary.pdf> >. Acedido em Abr09.
- Pomeroy, R.S., McConney, P. & Mahon, R. (2004) – Comparative analysis of coastal resource co-management in the Caribbean, *Ocean & Coastal Management*. 47, 429-447.
- Pretty, J.N. (1995) – Participatory learning for sustainable agriculture. *World Development*. 23(8), 1247-63, cite par Silver, J.J. & Campbell, L.M. (2005) – Fisher participation in research: Dilemmas with the use of fisher knowledge. *Ocean & Coastal Management*. 48, 721-741.
- Seaman, W. (2007) – Artificial habitats and the restoration of degraded marine ecosystems and fisheries. *Hydrobiologia*. 580, 143-155.
- Singh, A. & Mee, L. (2008) – Examination of policies and MEAs commitment by SIDS for sustainable management of the Caribbean Sea. *Marine Policy*. 32, 274-282.
- Sutton, S. G., & Bushnell, S. L. (2007) – Socio-economic aspects of artificial reefs: Considerations for the Great Barrier Reef Marine Park. *Ocean & Coastal Management*. 50, 829-846.
- Sygut, A. (2006) - *Evaluation de l'effet de zones marines protégées en Martinique sur le peuplement de poissons – Rapport final – octobre 2006*. BioMerEnvironnement/União Europeia (Instrumento Financeiro de Orientação das Pescas) , 137p., Martinica. (não publicado).
- Ten Voorde, M., Da Graça Neves, M. & Antunes do Carmo, J.S. (2008) – Estudo Preliminar da Geometria de um Recife Artificial para Protecção Costeira e para a Prática de Surf na Costa Oeste Portuguesa. *Revista da Gestão Costeira Integrada*. 8 (1), 65-79.
- União Europeia (1976 a) – Directiva 76/160/CEE do Conselho, de 8 de Dezembro de 1975, relativa à qualidade das águas balneares, e Directiva 2006/7/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 15 de Fevereiro de 2006 relativa à gestão da qualidade das águas balneares e que revoga a Directiva 76/160/CEE.
- União Europeia (1976 b) – Directiva 76/464/CEE do Conselho, de 4 de Maio de 1976, relativa à poluição causada por determinadas substâncias perigosas lançadas no meio aquático da Comunidade.
- União Europeia (1979) – Directiva 79/923/CEE do Conselho, de 30 de Outubro de 1979, relativa à qualidade exigida das águas conquícolas, codificada recentemente pela Directiva 2006/113/CE do Parlamento europeu e do Conselho, do 12 de dezembro de 2006.
- União Europeia (1983) – Regulamento (CEE) n°170/83 do Conselho, de 25 de Janeiro de 1983, que institui um regime comunitário de conservação e de gestão dos recursos da pesca.

- União Europeia (1986) – Regulamento (CEE) n° 4028/86 do Conselho de 18 de Dezembro de 1986 relativo a acções comunitárias para o melhoramento e a adaptação das estruturas do sector da pesca e da aquicultura.
- União Europeia (1991 a) – Directiva 91/271/CEE do Conselho, de 21 de Maio de 1991, relativa ao tratamento de águas residuais urbanas.
- União Europeia (1992) – Directiva 92/43/CEE do Conselho, de 21 de Maio de 1992, relativa à preservação dos habitats naturais e da fauna e da flora selvagens.
- União Europeia (1997) – Artigo 6°, Tratado que institui a Comunidade Europeia (Versão compilada 1997).
- União Europeia (1999) – Regulamento (CE) n° 2792/1999 do Conselho, de 17 de Dezembro de 1999, que define os critérios e condições das acções estruturais no sector das pescas.
- União Europeia (2000 a) – Artigo 2° §7, Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro de 2000, que estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água (Directiva-Quadro no domínio da água).
- União Europeia (2000 c) – 9° « Considerando », Directiva 2000/60/CE (Directiva-Quadro no domínio da água).
- União Europeia (2005 a) – Comunicação da Comissão Europeia em 24 de Outubro de 2005 “Estratégia temática para a protecção e conservação do meio marinho” – COM(2005) 504 final.
- União Europeia (2005 b) – pagina 8, Comunicação da Comissão Europeia em 24 de Outubro de 2005 ao Conselho e ao Parlamento - Europeu “Estratégia temática para a protecção e conservação do meio marinho” – COM(2005) 504 final.
- União Europeia (2006) – Regulamento (CE) n° 1198/2006 do Conselho, de 27 de Julho de 2006, relativo ao Fundo Europeu das Pescas.
- União Europeia (2007) – Artigo 16°, Regulamento (CE) n° 498/2007 da Comissão, de 26 de Março de 2007, que estabelece as normas de execução do Regulamento (CE) n°1198/2006 do Conselho relativo ao Fundo Europeu das Pescas.
- União Europeia (2008) – Directiva 2008/56/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 17 de Junho de 2008 que estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política para o meio marinho (Directiva-Quadro “Estratégia Marinha”).
- Van Treeck, P. & Schuhmacher, H. (1998) – Mass Diving Tourism : A new dimension calls for new management approaches. *Marine Pollution Bulletin*. Vol.37 (8-12) 499-504.
- Whitmarsh, D. (1997) – Artificial Reefs: the Law and the Profits. *Marine Pollution Bulletin*. Vol. 34 (1) 2-3.
- Whitmarsh, D., Neves Santos, M., Ramos, J. & Costa Monteiro, C. (2008) – Marine habitat modification through artificial reefs off the Algarve (southern Portugal): An economic analysis of the fisheries and the prospects for management. *Ocean & Coastal Management*, 51, 463-468.



## Natural and Artificial Reefs at Mar del Plata, Argentina

### *Recifes Naturais e Artificiais em Mar del Plata, Argentina*

Federico Ignacio Isla <sup>1</sup>

---

#### ABSTRACT

Integrated coastal zone management techniques usually search the preferences of the owners of the coastal properties but without considering the beach users. Multipurpose artificial reefs are submerged structures built in order to diminish wave action, to modify breaker conditions, to protect the coast, and to increase marine biodiversity. Alternatives construction types are considered in relation to the surfing quality of the waves of Mar del Plata. Although detached emerged breakwaters and low-crested submerged structures have been successfully applied to protect beaches from breaking waves, the artificial surfing reefs can improve breaker conditions for recreational purposes. Both structures may increase sand accumulation at the beach if it is naturally available; if not the beaches should be artificially nourished. Based on knowledge of the littoral transport and the bottom composition of the Ensenada Mogotes, artificial submerged reefs, combined with nourishment efforts, are proposed to recover the beach called Los Acantilados. The surfing conditions can improve as a surplus to the stability of the rocky-sandy nearshore ecosystem.

Keywords: Artificial Surfing Reefs – Mar del Plata – Ensenada Mogotes - side-scan survey

#### RESUMO

As técnicas de gestão integrada da zona costeira são normalmente direccionadas para a protecção dos interesses dos donos das propriedades costeiras e menosprezam, ou não consideram, os interesses dos utentes das praias. Os recifes artificiais multi-funcionais são estruturas submersas construídas para mitigar ou reduzir a acção das ondas, modificar/melhorar as condições de rebentação, proteger a zona costeira (em particular, campos dunares e praias) e aumentar a biodiversidade marinha. São abordadas construções alternativas relativamente à qualidade das ondas para a prática de surf em Mar del Plata. Embora construções clássicas como quebra-mares destacados e estruturas submersas tenham revelado sucesso na protecção da praia, os recifes artificiais multi-funcionais permitem melhorar as ondas para a prática de surf e outros fins recreativos. Ambos os tipos de estruturas promovem alguma acumulação de areia na praia, se esta estiver naturalmente disponível; não existindo, a praia

---

1 - CONICET-Universidad Nacional de Mar del Plata, Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, fisla@mdp.edu.ar

deverá ser alimentada artificialmente. Com base no conhecimento do transporte litoral e na composição dos fundos da Mogotes Ensenada, é proposta uma solução de recifes artificiais submersos, eventualmente combinada com alimentação artificial, para recuperar a praia de Los Acantilados. As condições de surf deverão melhorar e espera-se uma contribuição positiva para a estabilidade do ecossistema arenoso existente.

*Palavras-chave:* Recifes Artificiais para surf – Mar del Plata – Ensenada Mogotes – mapeamento com sonar de varrimento lateral

---

## 1. INTRODUCTION

Mar del Plata harbour (38° 02'S; 57° 32'W) was constructed between two capes of the Tandilia Range, in a location where the continental shelf is narrower and higher wave energy. The harbour was finished in 1922. Since then Mar del Plata beaches eroded at an increasingly rates as the longshore drift from south to north was obstructed by the two jetties. Due to the availability of quartzitic rocks in the surroundings, groin fields were emplaced in order to capture this northward fine-sand drift. However, these solutions have caused serious problems as the erosive problems extended and have become critical (Isla et al., 2001). Cliff recession and failure episodically occurs due to the impacts of extratropical storms originating in the South Atlantic Ocean, the so-called "sudestadas" (southeasterlies). The Ensenada Mogotes (Figure 1) is the most endangered beach as it faces south, where the storms usually strike harder. Beach surveys performed along this littoral cell show an erosion sector to the south, an area dominated by the northwards sediment transport, and an accumulative sector at the area protected by the Pescadores Bank (Isla, 1992; Farena et al., 1993; Isla et al., 1994). This rocky plateau is also composed of the resistant Paleozoic quartzites and constitutes a natural reef that inhibits the effect of high energy waves, without obstructing the longshore drift. Due to severe erosion problems of the southern portion of this embayment, a group of students of hydraulic engineering evaluated a groin field complemented by nourishment as the most economic solution (Algera et al., 2004). Based on models designed at the University of Cantabria (OLUCA, COPLA, EROS) and considering wave data provided by NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) for the surrounding 100 km (Mar del Plata-Necochea), a field of 16 detached breakwaters combined with nourishment (250,000 m<sup>3</sup>), was also proposed for the southern sector (Gyssels et al., 2007). Artificial reefs were also proposed for this area to the municipal authorities. Both proposals, detached breakwaters and artificial

reefs, were considered by the authorities of the Buenos Aires Province in relation to their environmental impact assessments.

The present contribution analyses wave dynamics, the sand budget and nearshore information in order to justify alternative solutions that also improve the recreational facilities. In this sense, it is discussed if the decision should consider the preferences of the property owners or extended to the seasonal beach users.

## 2. FROM GROIN FIELDS TO BREAKWATERS

The blocking of the longshore drift caused by the harbour of Mar del Plata has led to the planning of hard structures (riprap defences and groin fields). During years, the coastal defence policy of Mar del Plata was oriented exclusively to the construction of these groin fields (Lagrange, 1980; Figure 1). At the same time that some beaches were recovered by reducing wave effects (e.g. Playa de los Ingleses, La Perla, Bristol, Camet), pluvial outfalls were diminishing the bathing quality. As the littoral blocking increased the problems of sand scarcity, new defences such as T-groins tried to induce wave diffraction (Lagrange, 1980). The availability of quarries of quartzites of excellent quality at the surroundings of Mar del Plata led to an extended use of riprap structures. In some places, groins were built too long, too high and too close (Figure 2A, Isla et al., 2001), being dangerous for beach users and swimmers, and recommended to be modified (Rijkswaterstaat, 1997). These constructions have been progressively increasing the erosive problems at the northern beaches becoming critic to some villages north of Mar del Plata (Isla, 2006). These effects derived from the lack of regional planning are sadly well reported in the literature (Do Nascimento and Lavenère-Wanderley, 2004). T-groynes, acting as breakwaters, accumulated artificial beaches but have led to a reduction in water quality for bathing purposes (Figure 2B).

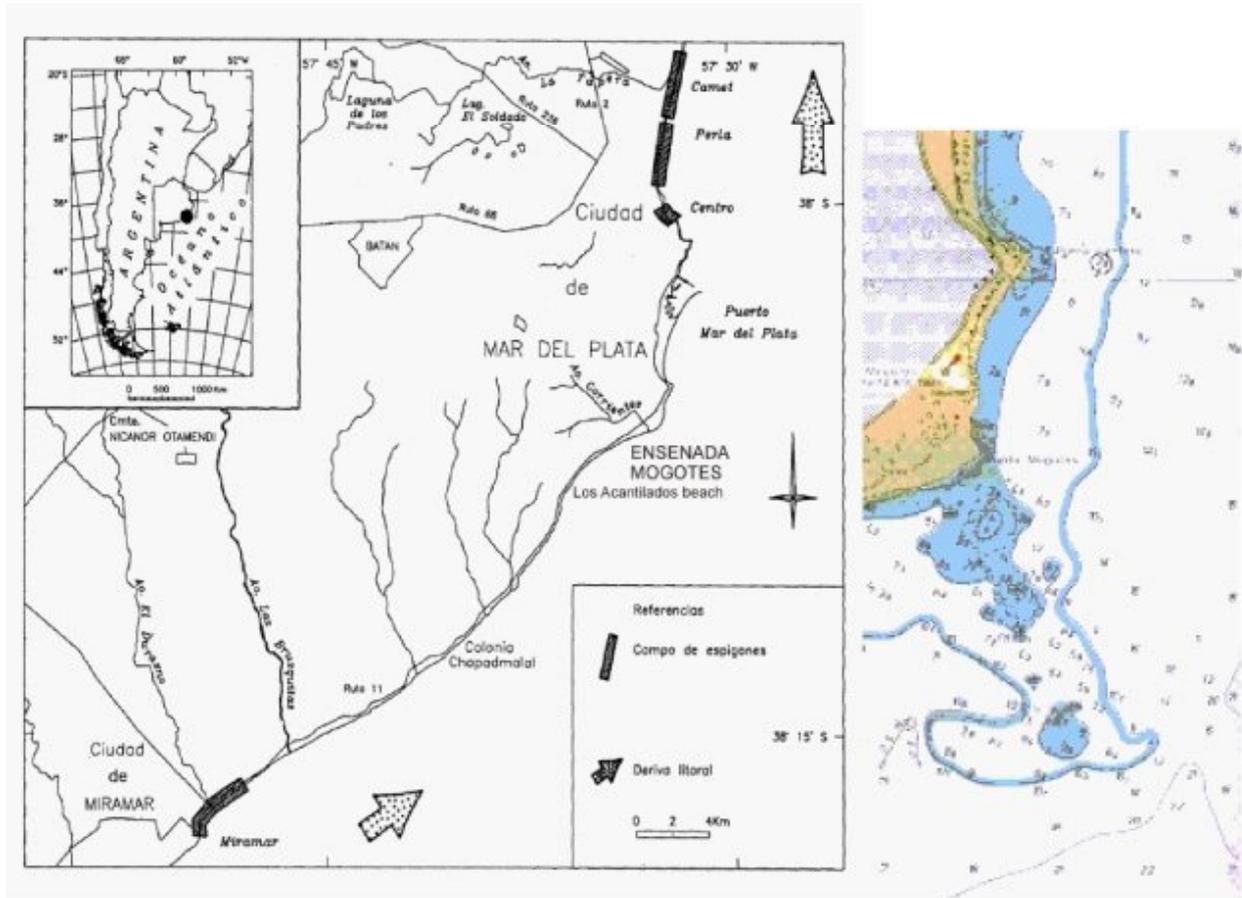


Figure 1. A. Location map and groin fields at Mar del Plata and Miramar (modified from Isla et al., 2001); B. Bathymetric chart of Punta Mogotes and Punta Cantera capes.

Figura 1. Mapa de localização e campos de esporões em Mar del Plata e Miramar (modificado por Isla et al., 2001); B. carta batimétrica de Punta Mogotes e cabo de Punta Cantera.



Figure 2. Hard structures north of Mar del Plata (Camet). A. Groins (straight and bended) cause longshore-drift obstruction; B. T-groins cause wave diffraction, induce sand sedimentation but impede the renewal of water at the compartments.

Figura 2. Estruturas pesadas a norte de Mar del Plata (Camet). A. Esporões (simples e compostos): causam obstrução à deriva litoral; B. Esporões em T: causam difração das ondas e induzem acumulação de areia, mas impedem a renovação da água entre compartimentos.

3. FROM BREAKWATERS TO ARTIFICIAL REEFS AND LOW-CRESTED STRUCTURES

Reef breakwaters were usually recommended to reduce sediment transport at harbour entrances (Carver and Bottin, 1997). One of the firsts offshore breakwaters was constructed in 1968 to assure the access of the Ventura Harbour (California); later it was subject to several changes (Hughes and Schwichtenberg, 1998). At the beginning of the nineties, the Coastal Engineering Research Center (CERC) considered nearshore berms to attenuate wave energy for coastal protection (Pollock et al., 1993; Allison and Pollock, 1993; Williams et al., 1993). In 1997 rapidly installed breakwaters (RIB) were proposed to protect the Outer Banks of North Carolina (Fowler et al., 1997). To predict tombolos or salient formation several practical rules are applied, supplemented by physical model tests (Zyserman and Johnson, 2002). However, several attempts failed as a regional coastal-defence solution (Edwards, 2006).

In regard to detached breakwaters designed for beach protection, several formulas were proposed (Table 1) considering distance from the coast (X), lengths of the breakwaters (L), distance between them (G), distance between tombolos (D), wave angle (wa), wave steepness (ws) and coastal slope (m).

For detached breakwaters located 275 m offshore, segments of 220 m length and gaps of 300 m were

recommended; the empirical relationships suggested  $X/L = 1.25$  and  $G/L = 1.5$  (Thomalla and Vincent 2004). However, for the Ensenada Mogotes shorter breakwaters ( $L = 60$  m) with gaps of only 70 m (Gyssels et al., 2007) means  $X/L$  relationships of 4.16 and  $G/L$  about 1.16. This means that the segments will be too short and too close in relation to the empirical formulas proposed for the North Sea.

During this century artificial reefs have been proposed in order to benefit recreation, conserve the aesthetic value, and therefore improving the economy; i.e. the so-called “artificial surfing reefs” (Mead, 2003). Some surfing reefs have focused to induce the breaker over the structure (conventional surfing reefs); others are planned to cause wave refraction towards a certain place where waves breaks landwards of the reef (wave-focusing reef; West et al., 2003). Projects should consider a depth of the structure to assure wave breakers, but also a depth that gives security to surfers (Ten Voorde et al., 2008). Although some failed in their objectives, others have been successfully applied (Scarfe et al., 2009). The purpose is to increase the steepness of the wave at the breakers, and to improve the wave angle to increase the “surfable” distance (Mead, 2003). One of the main benefits of them is that they do not obstruct the longshore drift (Figure 3). They show better performance when the coast is subject to oblique wave attack (Ranasinghe and Turner, 2006).

Table 1. Comparison of parameters considered for empirical formulas to plan detached breakwaters (references in the text).

Tabela 1. Comparação dos parâmetros considerados nas fórmulas empíricas para o projecto de quebra-mares destacados (referências no texto).

|                            | X | L | G | S | D | wa | Ws | M |
|----------------------------|---|---|---|---|---|----|----|---|
| Suh and Dalrymple, 1987    |   | o | o | o |   |    |    |   |
| Pope and Dean, 1986        | o | o | o |   | o |    |    |   |
| Ahrens and Cox             | o | o |   |   |   |    |    |   |
| Mc Cormick, 1993           | o | o |   |   |   | o  | o  | o |
| King et al., 2000          | o | o | o |   |   |    |    |   |
| Thomalla and Vincent, 2004 | o | o | o |   |   |    |    |   |

|                          | T groynes   | detached breakwaters  | Artificial reefs   |
|--------------------------|---|---|--|
|                          |  |  |  |
| <b>Drift obstruction</b> | total   | depends on drift magnitude  | no obstruction   |
| <b>Effects on waves</b>  | difraction one breaker  | difraction one breaker  | refraction two breakers  |
| <b>Nautics security</b>  | emerged   | emerged   | submerged  |
| <b>Water renewal</b>     | scarse  | scarse to abundant  | abundant   |

Figure 3. Benefits and problems compared in relation to costal defence solutions.

Figura 3. Comparação de benefícios e problemas de soluções de defesa costeira.

#### 4. SETTING

A subhumid template climate characterizes Mar del Plata city. Mean annual temperature is 13.9 °C with Precipitations of 864 mm/year (data from Camet Airport, Mar del Plata). The coast has a microtidal regime (tidal range is between 0.6 a 0.91 m) with daily inequalities. In response to differing beach orientation along the coast wave energy vary significantly along the coast conditioning reflective, intermediate and dissipative morphodynamic regimes (Short, 1978; 1980). Open-ocean wave height is about 0.90 m (period of 9.5 s) although maximum wave heights of 2.30 m were estimated (Lanfredi et al., 1992). Annual sand drift has been estimated between 400.000 to 700.000 m<sup>3</sup>/yr, based on wave statistics of 1967-68 (Caviglia et al., 1992). Applying the UNIBEST Longshore transport model, potential drifts, calculated specifically for the Ensenada Mogotes, can vary from 250,000 to 1,230,000 m<sup>3</sup>/yr (Algera et al., 2004). The longshore transport capacity discriminated along the embayment increases in Los Acantilados beach to an amount of 740,000 m<sup>3</sup>/yr (Algera et al., 2004). Storms episodically strike and altered significantly the volumes

moving across-shore and alongshore. Based on tide-gauge records from Mar del Plata, the storm erosion potential index (SEPI) was estimated for the last 20 years (Figure 4). The more erosive storms therefore occurred in 1997 (April), 1994 (June) and 1999 (December; Fiore et al., 2009).

The cliffs of the south of the embayment are composed of sandy silts with indurated levels of caliche (Chapadmalal formation), comprising ages of Pliocene to Pleistocene. The recession of these cliffs average 0.5 m/year (Isla and Cortizo in press). Towards the north, Punta Mogotes, Punta Cantera and Banco Pescadores are uplifted blocks of Paleozoic quartzites (Balcarce formation). The coastal plain is slightly undulated and crossed by creeks (Corrientes, Lobería, Chapadmalal). Natural beaches are narrow accumulations of sand, in many places presenting abrasion platforms composed of siltstones. Beaches of Ensenada Mogotes are composed of medium to very fine sand (Isla, 1992; Farenga et al., 1993). Coarse sand has been sampled at the breakers and surf zone, and towards the Punta Mogotes salient (Isla et al., 1994; Algera et al., 2004). Los Acantilados beach is

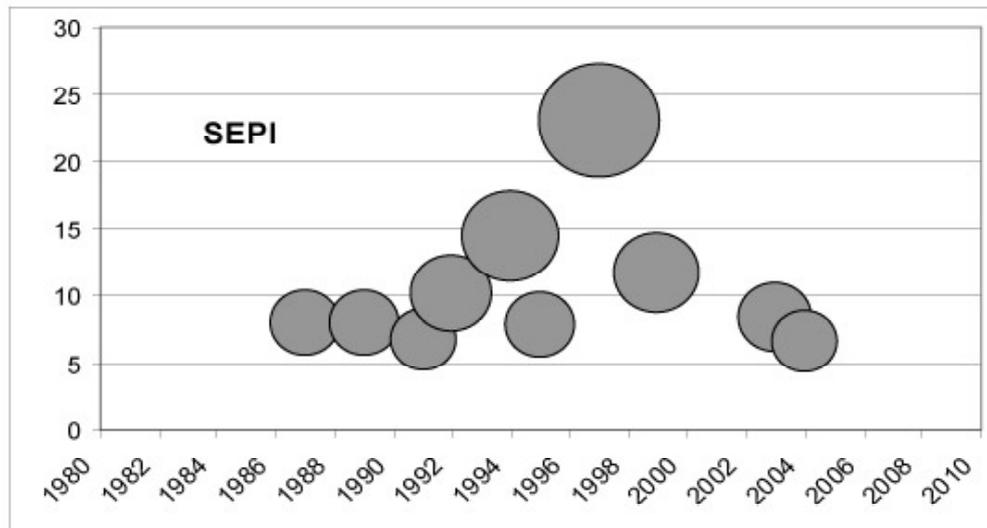


Figure 4. Storm erosion potential index for different storms that struck in Mar del Plata (modified from Fiore et al., 2009).

Figura 4. Índice de erosão potencial para diferentes temporais que ocorreram em Mar del Plata (modificado por Fiore et al., 2009).

dominated by very fine and fine sands (Gyssels et al., 2007), with coarser fractions sampled close to the breakers. However, along the embayment grain size can vary from 0.2 to 5.2 mm (Algera et al. 2004). During the summer 2002-2003, the southernmost beach of this embayment, Los Acantilados, did not recover from the erosive winter. Since then, it became matter of special concern and studies (Algera et al., 2004; Gyssels et al., 2007).

Punta Cantera and Punta Mogotes are located northwards of the Ensenada Mogotes littoral cell. The Pescadores submerged bank is the largest of several blocks located in front of Punta Mogotes. It extends from depths of 20 m to 6 m (below the hydrographic datum that is 0.91m below mean sea level). However, a block closer to the coast can emerge during low tide. This particular area has been chosen for preservation as habitat of a colony of *Arctocephalus australis* (Dassis et al., 2007). These blocks are inducing a tombolo that remained stable during many years (Figure 5B), although this area was subject to intense sand extraction during the end of the last century (Farenga et al., 1993). By the mean of the sand budget from several beaches within this embayment, a littoral cell was defined with erosion at the south and accumulation at the Punta Mogotes tombolo (Figure 5B).

## 5. METHODS

Beach profiles and samples for grain-size analyses were collected in 1986 (Isla, 1992). Side-scan sonar surveys were performed using a Klein 422 tow-fish model (with a K-Wing depressor) whose signal was triggered by a 350A transceiver, and echoes printed in an EPC (GSP 1086 model) graphic printer. The vessel moved at a velocity between 4 and 5.5 knots. A GPS (Trimble Ensign XL) connected to a PC located the vessel every 60 s. Bottom sediments were collected with a Snapper grab sampler.

At lab, sediment samples were dried and sieved at 0.5 phi intervals. Weights were estimated in order to calculate statistical parameters following the Folk and Ward (1957) parameters.

## 6. RESULTS

### 6.1 Wave dynamics

In Mar del Plata, the highest waves come from the south with characteristic heights around 1.5 m and 7 s period (Table 2). According to breaker waves measured between 1967 and 1968 (Sunrise Technical Consultants 1971), 50% of them are of less than 1.0 m, and 46.45% between 1 and 2 m (Figure 6), only 3.54% waves were higher than 2 m. The waves from



Figure 5. A. Punta Cantera operates as a headland or point break (in the sense of Scarfe et al., 2009) that causes wave diffraction with a peel angle improved for surfing; B. Pescadores Bank acts a natural reef causing wave refraction and protecting the tomobolo of Punta Mogotes. Waves from the south arrived obliquely and transport sand towards the tomobolo

Figura 5. Punta Cantera funciona como um promontório, ou ponto de rebentação (no sentido de Scarfe et al., 2009), que causa a difração das ondas com um "peel angle" melhorado para o surf; B. O banco "Pescadores" actua como um recife natural, provocando refração das ondas e protegendo o tómbolo de Punta Mogotes. As ondas do sul propagam-se obliquamente e transportam areia em direcção ao tómbolo.

the S were higher and with longer periods (Table 2) occurring mostly during spring (Figure 6 A). Waves from the SE were more common, with a second mode from the NE (Figure 6 B).

The continental shelf of Mar del Plata is dominated by storms coming from the south. For a storm lasting 12 hours, a maximum wave height of 5.1 m is expected in 50 years, and of 5.6 m in 100 years. Although a storm statistics is available for the last 20 years (Fiore et al., 2009; Figure 2), the combined effect of two storms in a short period has been considered as capable of causing higher potential erosion (Schnack et al., 1998; Lee et al., 1998). In a coast dominated by storms, the sand budget of each year depends on the impact of the strongest storm (Robertson et al., 2008). The parameter defined as closure depth ( $d_{ct}$ ; Coastal Engineering Research Centre, 1984; Dean, 2002) is related to the significant period ( $T_s$ ) and the significant wave height of the highest waves that occurred at least 12 hours during one year ( $H_{s(12h,t)}$ ). The closure could therefore vary significantly every year.

$$d_{ct} = 2,28H_{s(12h,t)} - \frac{68,5H_{s(12h,t)}^2}{gT_{s(t)}^2}$$

where

$g$  = gravity acceleration,

Considering the wave data provided by Alkyon Hydraulic Consultancy and Research, the closure depth for Mar del Plata is about 7.9 m. In other words, there is no sand movement triggered by waves below 8 m (Algera et al., 2004).

## 6.2 Bottom survey

The side-scan sonar provided a geophysical record from the bottom between depths of 7 and 12 m. Sonographs permitted to map Pliocene siltstones with caliche indurated levels to the south of the embayment (Figure 7A), and orthoquartzites towards the north (Pescadores Bank). Sand patches were limited to the centre of the embayment. Grab samples, collected from the nearshore of the Alfar and Los Acantilados beaches, provided very-well sorted, very fine sand (mean grain size of 3.53 and 3.47 phi units). These samples confirmed the grain-size composition sampled previously (Algera et al., 2004; Gyssels et al., 2007).

Table 2. Wave climate from Mar del Plata (Hs: Significant wave height; Ts: Significant wave period) and summary (modified from Algera et al., 2004).

Tabela 2. Clima de ondas de Mar del Plata (Hs: altura da onda significativa; Ts: período da onda significativa) e resumo (modificado por Algera et al., 2004).

|                         | N   | NE  | E   | SE  | S   | SW  | Total |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| <b>Winter (Jun-Aug)</b> |     |     |     |     |     |     |       |
| Number of days          | 19  | 11  | 10  | 9   | 27  | 15  | 91    |
| Hs average (m)          | 1,0 | 1,1 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,4 | 1,3   |
| Ts average (s)          | 6,0 | 5,9 | 6,8 | 7,3 | 7,0 | 6,3 | 6,4   |
| <b>Spring (Sep-Nov)</b> |     |     |     |     |     |     |       |
| Days                    | 15  | 16  | 13  | 12  | 24  | 11  | 91    |
| Hs average (m)          | 0,9 | 1,0 | 1,4 | 1,3 | 1,6 | 1,4 | 1,3   |
| Ts average (s)          | 5,5 | 6,0 | 6,4 | 6,6 | 6,6 | 6,2 | 6,2   |
| <b>Summer (Dec-Feb)</b> |     |     |     |     |     |     |       |
| Days                    | 17  | 22  | 11  | 8   | 24  | 9   | 91    |
| Hs average (m)          | 1,1 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,6 | 1,5 | 1,3   |
| Ts average (s)          | 5,8 | 5,9 | 6,2 | 6,9 | 6,3 | 6,3 | 6,1   |
| <b>Autumn (Mar-May)</b> |     |     |     |     |     |     |       |
| Days                    | 18  | 13  | 8   | 11  | 26  | 15  | 91    |
| Hs average (m)          | 1,0 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,6 | 1,4 | 1,3   |
| Ts average (s)          | 5,4 | 6,1 | 6,5 | 6,9 | 6,6 | 5,9 | 6,1   |
| <b>SUMMARY</b>          |     |     |     |     |     |     |       |
|                         | NE  |     | S   |     | SW  |     |       |
| Days                    | 180 |     | 140 |     | 45  |     |       |
| Hs average (m)          | 1,2 |     | 1,5 |     | 1,4 |     |       |
| Ts average (s)          | 6   |     | 7   |     | 6   |     |       |

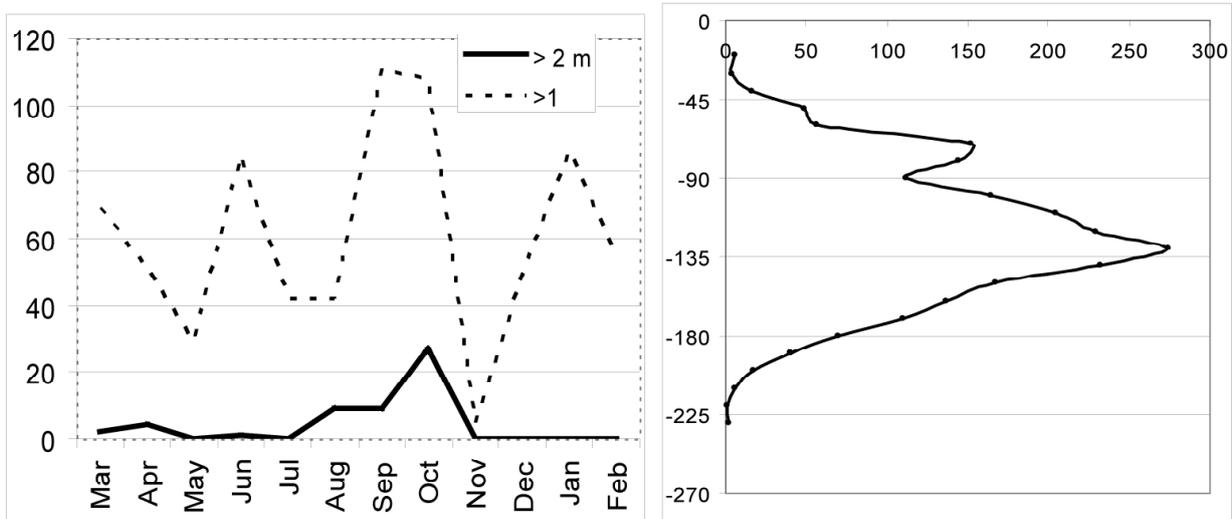


Figure 6. A. Wave height variations along the 1967-1968 period; B. Frequency distribution of wave orientations during the 1967-68 period (data collected by Sunrise 1967-68).  
 Figura 6. Variação da altura da onda ao longo do período 1967-1968; B. Distribuição de frequências de orientação da onda durante o período de 1967-68 (dados compilados por Sunrise 1967-68).

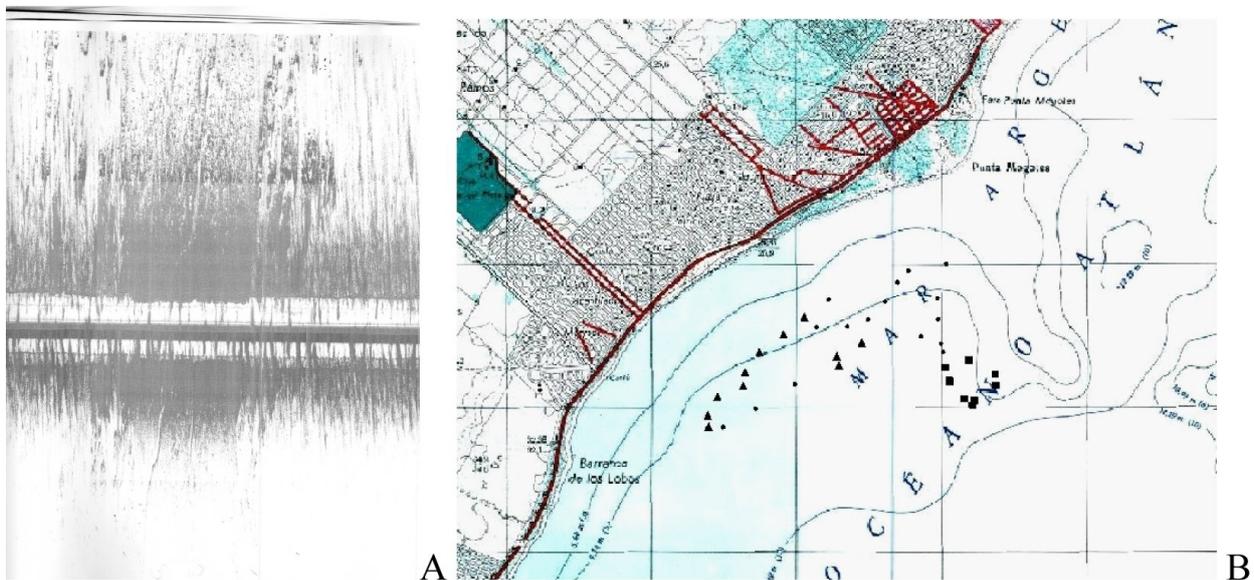


Figure 7. A. Side-scan sonar record showing a transition between a sandy bottom (light colors) and outcrops of siltstones with caliche crusts (dark colors); B. Map of the bottom of the Ensenada Mogotes based on grab samples and side scan sonar records (squares are quartzitic rocks; triangles, caliche outcrops, and dots signify a sand cover).

Figura 7. Registo com sonar de varrimento lateral mostrando uma transição entre um fundo de areia (cores claras) e o afloramento de siltitos com crostas “caliche” (cores escuras); B. Mapa da parte inferior da Mogotes Ensenada baseado em simples suportes e registos com sonar de varrimento lateral (os quadrados são rochas quartzíticas; triângulos, afloramentos “caliche” e pontos significam uma cobertura de areia).

### 6.3 Multi-purpose submerged reefs for Los Acantilados beach

Considering that hard structures (groins, breakwaters) proposed for the south of the embayment can cause impacts at the beaches of the north (Algera et al., 2004; Gyssels et al., 2007), a different solution is here proposed. These beaches are, at the same time, the most attractive for surfing activities. Most "point breaks" of Mar del Plata (Punta Gruta, Cabo Corrientes) were spoiled by groins constructed during the XX century. This proposal considers the strategic preservation of the surfing conditions for future generations (Scarfe et al., 2009b). Artificial surfing reefs (Mead, 2003; Scarfe et al., 2009a) can improve surfing conditions by many ways:

1. Increasing wave steepness. To improve breaker wave height ( $H_b$ ) convex profiles were suggested (Mead, 2003) and Narrow Neck (Gold Coast, Australia) fits this requirement. However, Pratte's Reef (El Segundo, California) failed as it was too small and emplaced at only 30 m from the beach (Borrero and Nelsen, 2003).
2. Improving breaker type. Although spilling and plunging breakers are available for surfing, surfers prefer plunging breakers with circular or elliptic profiles. The vortex ratios (Mead, 2003) have been related to the seabed gradient, and have also been related to peel angles and skill levels (Scarfe et al., 2009a)
3. Diminishing the wave peel angle. Small artificial reefs were conceived to reduce the peel angle, increasing therefore the distance of the breaker (Henriquez, 2005; Van Ettinger, 2005; Ranasinghe et al., 2006). A distance between the apex of the structure and the shoreline greater of 1.5 times the natural surf zone has been recommended (Ten Voorde et al., 2009).
4. Fixing rip currents. The fixing of a stable rip current is one of the most important issues to consider in submerged reef design (Van Ettinger, 2005). The failure of some artificial reefs was caused by the concentration of wave energy that impedes surfers to get to the breakers.

## 7. DISCUSSION

Traditional methods of coastal protection obstruct the longshore transport in order to accumulate sand. Although the initial inversion is paid by a stable beach, bathing quality decreases and sometimes the "solution" caused worse problems downdrift. Examples of these mistakes have been reported from Ilheus (Brazil; Do Nascimento and Lavenère-Wanderley, 2004), Santa Clara del Mar (Argentina; Isla, 2006), Arboletes, Punta Manzanillo, Bahía de Cispata (Colombia; Correa et al., 2007), and Quarteira (Portugal; Cruz de Oliveira et al., 2008).

In the last years, submerged breakwaters and low-crested structures (LCS) have been considered as aesthetically better when the tourist value is the main objective (Johnson et al., 2005). These structures are planned to be built armoured but significant erosion was detected at the toes of the structures produced by an increase in rip-currents energy (Martinelli et al., 2006). In this sense, there are significant discrepancies about the gap distances: 20-40 m for European LCS and 90-110 m for those planned at USA (Lamberti et al., 2005). These structures have been repeatedly built in coasts of tourist value but where waves are not of special attraction.

Similar discrepancies can be reported in relation to the X/B relationships of detached breakwaters constructed at the North Sea (Thomalla and Vincent, 2004) and those constructed at the Mediterranean Sea (Bricio et al., 2008). Experiences from beaches of fetch-limited waves (i.e. Adriatic, Baltic Sea) should not be extrapolated to other coasts with different emplacement conditions, drift magnitudes or swell dynamics (Lamberti et al., 2005). Wave-refraction analysis and numerical modelling are specifically recommended before a decision (Zyserman and Johnson, 2002; Johnson et al., 2005; Zanuttigh, 2007).

Mar del Plata has the better waves of Argentina for surfing purposes, as it is located at the minimum width of the continental shelf, with less friction effects. The main benefit of surfing reefs is that they can filter larger waves, permitting short-period waves to maintain recreational conditions. Ensenada Mogotes has a stable nearshore profile composed of resistant rocks dipping gently towards the south (Figure 7B). These conditions justified the construction of a multipurpose artificial reef, as there

is no risk of sinking of the structure. Large reefs are subject to erosion at their bases and therefore can be slowly sinking on nearshore zones dominated by sand. Geotextile sand bags were preferentially chosen for reef construction as they are more easily removed, if necessary.

In regard to controversies related to the economically affordable solution, it is also recommended to consult neighbours and beach users. As the economic benefit of surfing breaks to coastal communities can be disregarded in Integrated Coastal Zone Management programs, this issue should be included in Evaluation of Impact Assessments protocols (Scarfe et al., 2009b). Surfing conditions are very fragile and should be considered as another issue to preserve for future generations.

## 8. CONCLUSIONS

1. The natural reef of Punta Mogotes has proven its efficiency filtering larger waves and inducing sediment accumulation and beach stability.
2. Groins and detached breakwaters can cause the obstruction of longshore drift at Ensenada Mogotes and therefore could increase erosion problems.
3. Artificial reefs, combined with beach nourishment, are recommended as they induced less impact and are easily removed, if necessary.
4. Surfing conditions and breakers preservation should be also considered in EIA protocols.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The author wishes to thank those who helped during the samplings and surveys. The survey with side-scan sonar was performed on the coastguard vessel Río Luján (Prefectura Naval Mar del Plata). Gustavo Huici, Surf rider Foundation Argentina, encouraged this study at several stages. A. Algera, B. Burger, W. Hartog y Q. De Rijke (Technische Universiteit of Delft, The Netherlands) provided useful information during their stay in Mar del Plata (2004). Ramón González improved the manuscript.

## REFERENCES

Ahrens, J. P. and Cox, J., 1990. Design and performance of reef breakwaters. *Journal of Coastal Research* SI, 7:61-75.

Allison, M. C. and Pollock, Ch. B., 1993. Nearshore berms: an evaluation of prototype designs. In Magoon, O. T, Wilson, W. S., Converse, H. and Tobin, L. T. (eds.) *Coastal Zone '93, Proc. 8<sup>th</sup>. Symposium on Coastal and Ocean Management*, ASCE, 2938-2950.

Borrero, J. C. and nelsen, Ch., 2003. Results of a comprehensive monitoring program at Pratte's Reef. In Black, K.P. and Mead, S. T. (eds.) *Artificial surfing reefs 2003: The 3<sup>rd</sup>. International Conference*, Raglan, New Zealand, CD publication, 83-98.

Bricio, L., Negro, V. and Diez, J. J., 2008. Geometric detached breakwater indicators on the Spanish Northeast coastline. *Journal of Coastal research* 24, 5, 1289-1303.

Carver, R. D. and Bottin, R. R., 1997, Reef breakwater design for Burns Waterway Harbor, Indiana, U.S.A. *Journal of Coastal Research* 13(4):1267-1281.

Caviglia, F. J., Pousa, J. L. y Lanfredi, N. W., 1992. Transporte de sedimentos: una alternativa de cálculo. *II Congreso de Ciencias de la Tierra, Memorias*, Santiago, Chile, 413-422.

Coastal Engineering Research Center, 1984. *Shore protection manual*. Department of the Army, Vol. 1, Vicksburg, Miss.

Correa, I. D., Acosta, S. and Bedoya, G., 2007. Análisis de las causas y monitoreo de la erosión litoral en el Departamento de Córdoba. *Universidad Eafit, Departamento Geología*, Medellín, 128 pp.

Cruz de Oliveira, S., Catalão, J., Ferreira, O. And Alveirinho Dias, J. M., 2008. Evaluation of cliff retreat and beach nourishment in Southern Portugal using photogrammetric techniques. *Journal of Coastal Research* 24, 4C, 184-193.

Dassis, M., 2005. *utilización del habitat costero de Mar del Plata por lobos marinos de dos pelos: Su análisis a partir de Sistemas de Información Geográfica*. Unpublished thesis, Universidad Nacional de mar del Plata, Mar del Plata, 74 pp.

Dean, R. G., 2002. *Beach nourishment: theory and practice*. World Scientific, Singapore, 399 pp.

Do Nascimento, L. and Lavenère-Wanderley, A. A., 2004. Effect of Shore Protection Structures (Groins) on São Miguel Beach, Ilhéus, Bahia Brazil. *Journal of Coastal Research* SI 39, 858-862.

Edwards, B. L., 2006. *Investigation of the effects of*

- detached breakwaters at Holly Beach and Grande Isle, Louisiana. Unpublished thesis, Louisiana State University, 117 pp.
- Farenga, M. O., Adamini, R. and Isla, F. I., 1993. Evaluación de playas de intensa extracción de arena: Ensenada Mogotes, Mar del Plata, Argentina, 1987-1990. *Revista Thalassas*, Univ. de Santiago de Compostela - Univ. de Vigo, 10, 41-47.
- Fiore, M., D'Onofrio, E. E., Pousa, J. L., Schnack, E. J. and Bértola, G. R., 2009. Storm surge and coastal impacts at Mar del Plata, Argentina. *Continental Shelf Research* 29, 1643-1649.
- Folk, R. and Ward, W., 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27 (1): 3-26.
- Fowler, J. E., Pollock, Ch. E., Resio, D. T. and Turk, G. F., 1997. Development of a rapidly installed breakwater (RIB) system. *The CERCUlar*. CERC-97-3, 1-4.
- Gyssels, P., Ragessi, M., Rodriguez, A., Cardini, J., and Campos, M., 2007. Aplicaciones de modelos numéricos a un estudio de prediseño de un sistema de diques exentos en el litoral argentino. *Mecánica computacional XXVI*, 1252-1271
- Henriquez, M., 2005. Artificial surf reefs. Unpublished Rept., Delft University of Technology, Delft, 63 pp.
- Hughes, S. A. and Schwichtenberg, B.R., 1998. Current-induced scour along a breakwater at Ventura Harbour, CA. *Experimental study*. *Coastal Engineering* 34, 1-2, 1-22.
- Isla, F. I. 1992. Balance sedimentario y estacionalidad en 8 playas de Mar del Plata. *Revista Thalassas*, Univ. Santiago de Compostela y Univ. de Vigo, 11: 11-21.
- Isla, F. I., 2006. Erosión y defensa costeras. En Isla, F. I and Lasta, C. A. (eds.) *Manual de Manejo costero para la Provincia de Buenos Aires*, EUDEM, Mar del Plata, 125-147.
- Isla, F. I., Bértola, G. R., Farenga, M. O. and Cortizo, L. C., 2001. Variaciones antropogénicas de las playas del sudeste de Buenos Aires, Argentina. *Revista Pesquisas en Geociências*, Universidade Federal do Rio Grande de Sul, 28, 1, 27-35.
- Isla, F. I. and Cortizo, L. C., in press. Cliff erosion as sediment input to Argentine continental shelf. *Geologica Acta*, 19 pp.
- Isla, F. I., Witkin, G., Bértola, G. R. and Farenga, M. O. 1994. Variaciones morfológicas decenales (1983-1993) de las playas de Mar del Plata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 49 (3-4): 55-70.
- Johnson, H.K., Karambas, T. V., Avgeris, I., Zanuttigh, B., González-Marco, D., Cáceres, I., 2005. Modelling of waves and currents around submerged breakwaters. *Coastal Engineering* 52:949– 969.
- King, D. M., Cooper, N. J, Morfett, J. C, and Pope, D. J., 2000. Application of offshore breakwaters to the UK: a case study at Elmer Beach. *Journal of Coastal Research* 16, 1, 172-187.
- Lagrange, A. A., 1993. Mar, playas y puerto. *Fundación Bolsa de Comercio de Mar del Plata*, Mar del Plata, 556 pp.
- Lamberti, A., Archetti, R., Kramer, M., Paphitis, D., Mosso, C. and Di Risio, M., 2005. European experience of low crested structures for coastal management. *Coastal Engineering* 52:841–866.
- Lanfredi, N. W., Pousa, J. L., Mazio, C. A. and Dragani, W. C. 1992. Wave-power potential along the coast of the Province of Buenos Aires, Argentina. *Energy* 17(11): 997-1006.
- Lee, G., Nicholls, R. J. and Birkemeier, W. A., 1998. Storm-driven variability of the beach-nearshore profile at Duck, North Carolina, USA, 1981-1991. *Marine Geology* 148, 163-177.
- Martinelli, L., Zanuttigh, B. and Lamberti, A., 2006. Hydrodynamic and morphodynamic response of isolated and multiple low crested structures: Experiments and simulations. *Coastal Engineering* 53, 363 – 379.
- Mc Cormick, M. E., 1993. Equilibrium shoreline response to breakwaters. *Journal of Waterways, Ports, Coastal and Ocean Engineering* 119(6):657-670.
- Mead, S. T., 2003. Surfing science. *Proc. 3rd. International. Surfing Reef Conf.*, Karioi Centre, Raglan, NZ.
- Pollock, Ch. E., Allison, M. C. and Williams, G. L., 1993. Designing nearshore berms to optimize wave attenuation. *Dredging Research* DRP 93-3, 4-8.
- Pope, J. and Dean, J. L., 1987. Development of design criteria for segmented breakwaters. *Porc.* 20<sup>th</sup>.

- Intnl. Conference on Coastal Engineering, ASCE, Taiwan, 2144-2158.
- Ranasinghe, R. and Turner, I. L., 2006. Shoreline response to submerged structures: A review. *Coastal Engineering* 53, 65-79.
- Ranasinghe, R., Turner, I. L. and Symonds, G., 2006. Shoreline response to multi-functional artificial surfing reefs: a numerical and physical modelling study. *Coastal Engineering* 53:589-611.
- Rijkswaterstaat, 1997. Port and coastal study Mar del Plata. Final report. Document WB1062-4-96045, 127 pp.
- Robertson, W., Zhang, K. Finkl, Ch. W. and Whitman, D., 2008. Hydrodynamic and geologic influence of event-dependent depth of closure along the South Florida Atlantic coast. *Marine Geology* 252, 156-165.
- Scarfe, B. E., Healy, T. R. and Rennie, H. G., 2009b. Research-based surfing literature for coastal management and the science of surfing: a review. *Journal of Coastal Research* 25, 3, 539-557.
- Scarfe, B. E., Healy, T. R. and Rennie, H. G. and Mead, S. T., 2009b. Sustainable-management of surfing breaks: Case studies and recommendations. *Journal of Coastal Research* 25, 3, 684-703.
- Schnack, E.J., Pousa, J.L. and Isla, F.I., 1998. Erosive processes on the sandy coastline of Argentina. *Vechtaer Studien zur Angewandten Geographie und Regionalwissenschaft*, Band 20:133-136.
- Short, A. D., 1978. Wave power and beach-stages: a global model. Proc. 16 th. Coastal Engineering Conference, ASCE, Hamburg, 1145-1162.
- Short, A. D., 1980. Beach response to variations in breaker height. Proc. 17<sup>th</sup>. Intnl Coastal Engineering Conference, ASCE, Sydney, 1016-1035.
- Stauble, D. K. and Tabar, J. R., 2003. The use of submerged narrow-crested breakwaters for shoreline erosion control *Journal of Coastal Research* 19(3): 684-722.
- Suh, K. and Dalrymple, R. A., 1987. Offshore breakwaters in laboratory and field. *Journal of Waterways, Ports, Coastal and Ocean Engineering* 113(2): 105-121.
- Sunrise Technical Consultants Co, 1971. Estudio mediante ensayo hidráulico sobre modelo del Puerto de Mar del Plata y sus alrededores. Harumi, Chou-Ku, Tokio, Japan, 7 volumes.
- Ten Voorde, M., Antunes do Carmo, S. S. and Neves, M. G., 2009. Designing a preliminary multifunctional artificial reef to protect the Portuguese coast. *Journal of Coastal Research* 25, 1, 69-79.
- Ten Voorde, M., Neves, M. G. and Carmo, J. S. A., 2008. Estudo preliminar da geometria de um recife artificial para protecção costeira e para a prática de surf na costa oeste portuguesa. *Revista da Gestão Costeira Integrada* 8(1): 65-79.
- Thomalla, F. y Vincent, Ch. E., 2004. Designing offshore breakwaters using empirical relationships: a case study from Norfolk, United Kingdom. *Journal of Coastal Research* 20(4):1224-1230.
- Van Ettinger, H. D., 2005. Artificial surf reef design. Dutch swell conditions. Unpublished Report., Technische Universiteit Delft, Delft, 65 pp.
- West, A. S., Cowell, P., Battjes, J. A., Stive, M. J. F., Doorn, N. and Roelvink, J. A., 2003. Wave-focusing surfing reefs. A new concept. In Black, K.P. and Mead, S. T. (eds.) *Artificial surfing reefs 2003: The 3<sup>rd</sup>. International Conference*, Raglan, New Zealand, CD publication, 360-370.
- Williams, G. L., Pollock, Ch. B. Hands, E. B., Davis, J. E. and Glenboski, L., 1993. Berm placement planning study at Breton Island, Louisiana. En Laska, S. and Puffer, A. (eds.) *Coastlines of the Gulf of Mexico. Proc. 8<sup>th</sup>. Symp. On Costal and Ocean Management*, ASCE, 144-158.
- Zanuttigh, B., 2007. Numerical modelling of the morphological response induced by low-crested structures in Lido di Dante, Italy. *Coastal Engineering* 54: 31-47.
- Zyserman, J. A. and Jonson, H. K., 2002. Modelling morphological processes in the vicinity of shore-parallel breakwaters. *Coastal Engineering* 45:261-284.





**Estudo da Hidrodinâmica em torno do Recife Artificial para a prática do *Surf* a construir em São Pedro do Estoril, Cascais**  
**Aplicação dos Modelos de Boussinesq: COULWAVE e FUNWAVE \***  
*Hydrodynamic Study of an Artificial Surfing Reef to be constructed in S. Pedro do Estoril, Cascais.*  
*Boussinesq Model Application: COULWAVE and FUNWAVE*

Ana Mendonça @, <sup>1</sup>, Barbara Proença<sup>1</sup>, Conceição Juana Fortes<sup>1</sup>, Maria Graça Neves<sup>1</sup>

---

RESUMO

O presente artigo descreve a aplicação de dois códigos numéricos baseados nas equações de Boussinesq (FUNWAVE e COULWAVE) ao estudo da hidrodinâmica em torno de um recife artificial para a prática do surf em São Pedro do Estoril, Cascais, Portugal. O objectivo é avaliar a forma como os códigos reproduzem a propagação e deformação de ondas sobre o recife e o funcionamento do recife para a prática do surf. Trata-se de um caso de estudo para o qual foram efectuados ensaios físicos tridimensionais no LNEC para a Câmara Municipal de Cascais, no âmbito de um estudo de viabilidade de implementação de um recife artificial para a prática do surf nesta zona, dispondo-se assim de um conjunto de resultados experimentais para a validação dos modelos numéricos.

A comparação dos resultados numéricos e experimentais foi realizada em termos das séries de elevação da superfície livre e das respectivas alturas de onda obtidas ao longo do domínio de cálculo, o que permitiu verificar que os modelos reproduzem bem a forma da elevação da superfície livre para as condições de agitação e nível de maré analisados. Determinaram-se também, e apenas com base nos resultados numéricos, os parâmetros de surfabilidade (ângulo de rebentação e tipo de rebentação) que caracterizam o funcionamento do recife para a prática do surf. Os resultados dos dois códigos, para as condições testadas, são bastante semelhantes, ambos prevendo para as condições testadas, tal como o modelo físico, que o recife induza boas condições para a prática de surf nesta zona.

Palavras-chave: Recifes artificiais, Surf, modelação numérica, modelação física, FUNWAVE, COULWAVE

---

@ - autor correspondente: amendonca@lneec.pt  
1 - LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal.

---

\* Submissão – 18 Maio 2009; Avaliação – 8 Junho 2009; Recepção da versão revista – 27 Outubro 2009; Disponibilização on-line - 23 Dezembro 2009

*ABSTRACT*

The present paper describes the application of two numerical models based on the Boussinesq equations (FUNWAVE and COULWAVE) to the study of the hydrodynamics around an artificial reef for surf in São Pedro do Estoril, Cascais, Portugal. The main goal is to evaluate the way these models reproduce the propagation and deformation of waves travelling over the reef and its performance for surf. For this case study, three-dimensional physical tests, included in a viability study of the implementation of an artificial surfing reef in that area made to the Cascais Municipality, were done at LNEC, making available a set of experimental results for validation of the numerical models.

The comparison of the numerical and experimental results was done using time series of free surface elevation and the correspondent wave height obtained for the whole computational domain, which allows the evaluation of the capabilities and limitations of each model. Based on the numerical results, the surfability parameters (peel angle and break type) have also been determined in order to characterize the functionality of the artificial surfing reef. For the tested conditions, the model results are similar and give, in accordance with the physical model results, good surfing conditions for this reef location and geometry.

Keywords: Artificial reefs, surf waves, numerical modelling, physical modelling, FUNWAVE, COULWAVE

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento da importância da prática de surf no concelho de Cascais nos últimos trinta anos incentivou a Câmara Municipal de Cascais (C.M.C.) a promover um estudo de viabilidade de implementação de um recife artificial para surf na zona da praia de São Pedro do Estoril. O recife a construir contribuiria para potenciar a prática de surf nesta área, tornando-a um local de preferência para a organização de campeonatos internacionais desta modalidade. Para este efeito, a C.M.C. formalizou, em 2006, um protocolo com o Instituto Superior Técnico e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), que compreendia, como componentes principais, a modelação física e numérica da hidrodinâmica na zona do recife.

A componente de modelação numérica incluiu o estudo em modelo numérico do funcionamento de diversas soluções propostas para o recife, (Fortes et al., 2008a) e o estabelecimento da solução de recife a ser ensaiada em modelo físico. Este estudo, que incluiu várias soluções para a localização e geometria do recife, foi realizado através da utilização do modelo parabólico baseado na equação de mild-slope, REFDIF (Darlymple e Kirby, 1991).

Após a definição da geometria e localização do recife a ser ensaiada em modelo físico por Bicudo et al. (2007a, b), procedeu-se à construção quer do envolvente ao recife quer do próprio recife nos tanques do LNEC. Realizaram-se testes para diferentes condições de agitação incidente, regular e

irregular, de modo a avaliar as condições de rebentação sobre o recife. Procedeu-se à medição de parâmetros característicos da agitação marítima (nomeadamente, as alturas de onda) em 37 sondas situadas sobre e em torno do recife artificial e à filmagem dos ensaios de forma a registar as condições de rebentação (posição da rebentação e tipo de rebentação). Tal permitiu caracterizar as condições para as quais o recife é adequado para a prática do surf.

No seguimento do trabalho anterior, mas agora no âmbito do projecto de investigação em curso “Novos conceitos para a protecção costeira em Portugal” financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, julgou-se interessante aprofundar o estudo numérico, utilizando, em lugar do código REFDIF, que apresenta limitações (modelo linear e parabólico), modelos não lineares baseados na equação de Boussinesq que permitem uma melhor caracterização da hidrodinâmica em torno do recife artificial. A maior precisão destes modelos permite ter uma maior confiança nos seus resultados e, deste modo, contribuir para a definição de uma solução mais adequada a ser estudada em modelo físico. Note-se que o recurso à modelação física é importante neste tipo de estudos pois a complexidade de fenómenos presentes na rebentação sobre e após o recife não é convenientemente simulada presentemente por nenhum dos modelos numéricos da literatura. Em contrapartida, os modelos numéricos possibilitam um estudo mais alargado de soluções para o recife, necessário à optimização das características do recife artificial, com custos financeiros e duração muito

menores, comparativamente aos dos modelos físicos.

No âmbito da modelação numérica, os modelos baseados nas equações estendidas de Boussinesq permitem uma descrição mais precisa da evolução das ondas em zonas de profundidade variável, onde os efeitos da refacção, difracção e efeitos não lineares afectam a propagação das ondas.

São exemplos destes modelos, o código FUNWAVE, Kirby et al. (1998) e Chen et al. (2000), e o código COULWAVE, Lynett e Liu (2004). Ambos permitem reproduzir a maioria dos fenómenos intervenientes na transformação da onda em fundos de profundidade variável e na presença de correntes: dispersão de frequência, dispersão de amplitude, empolamento (linear e não-linear), difracção, refacção pelo fundo e devida às correntes, geração de harmónicas e dissipação de energia por rebentação da onda.

Embora os códigos sejam baseados no mesmo tipo de equações, i.e., equações de Boussinesq, a forma como essas equações foram deduzidas em cada código não é idêntica, o que conduziu a códigos com diferentes características de dispersão e não linearidade; a própria formulação da rebentação, que é comum aos dois códigos, apresenta diferenças no que diz respeito aos critérios de rebentação (início, fim e duração) implementados em cada um deles.

O presente trabalho consiste numa análise

comparativa do desempenho dos códigos FUNWAVE e COULWAVE na simulação da hidrodinâmica em torno do recife artificial em São Pedro do Estoril, utilizando, para tal análise, os resultados experimentais obtidos em modelo físico. Pretende-se ainda avaliar a influência das diferenças dos códigos nos resultados dos parâmetros de surfabilidade e consequentemente, na análise do funcionamento do recife para o surf.

Assim, neste artigo apresenta-se uma descrição geral da área de estudo, do estudo em modelo físico do recife artificial e dos códigos COULWAVE e FUNWAVE, nas Secções 2, 3 e 4, respectivamente. Seguidamente, são descritas as condições de cálculo dos códigos e efectua-se uma comparação dos resultados numéricos e experimentais em termos dos valores de elevação da superfície livre e de índices de agitação. Finalmente, o funcionamento do recife é analisado recorrendo aos parâmetros de surfabilidade obtidos através dos resultados dos códigos: ângulo de rebentação e tipo de rebentação.

## 2. ÁREA EM ESTUDO

A praia de S. Pedro do Estoril pertence ao Concelho de Cascais, Portugal, e compreende um areal com 400 m de extensão e largura variável entre 25 m e 35 m, ladeado por formações rochosas baixas, ver Figura 1.



Figura 1. Localização da área de estudo para a implantação do recife artificial e aspecto da costa nesta zona.  
Figure 1. Site of the artificial reef and adjacent coastal area.

A análise da zona em estudo, das características da agitação existente e das características da rebentação que ocorre nessa zona, permitiu identificar um conjunto de locais possíveis para a implantação de um recife artificial. Estes locais estão delimitados a nascente pela zona de reserva biofísica da Praia das Avenças e a poente pela zona do Castelo Neogótico, junto a S. João do Estoril (Bicudo et al., 2007a). Destes locais, o escolhido foi a poente da Ponta do Sal, ver Figura 1.

As razões para a escolha desse local resultaram do facto de ser facultada a criação de uma nova zona para a prática de surf para surfistas experientes na praia de S. Pedro do Estoril (a poente da Ponta do Sal) de qualidade internacional, o que permitirá distribuir os surfistas por mais zonas da praia e oferecerá condições mais adequadas para a realização de campeonatos de surf. Além disso, permitirá manter as zonas de surf já existentes, que já oferecem condições excelentes para a prática de surf de níveis iniciado e intermédio.

### 3. MODELAÇÃO FÍSICA

O estudo em modelo físico da solução de recife seleccionada teve como objectivo a verificação do funcionamento hidrodinâmico dessa solução (Fortes et al., 2008b). Estes ensaios foram realizados nas instalações do LNEC, para diferentes condições de agitação incidente, de modo a avaliar as condições de rebentação sobre o recife.

#### 3.1 Instalação experimental

Os ensaios foram realizados num tanque de ondas irregulares do Pavilhão de Hidráulica Marítima do LNEC com uma área aproximada de 600 m<sup>2</sup> (aproximadamente 30.0 m de comprimento por 20.0 m de largura). Foi utilizado um gerador de ondas irregulares, cuja pá tem 6 m de largura e 0.80 m de altura.

O modelo foi construído e explorado à escala geométrica de 1:30, de acordo com a lei de semelhança de Froude, lei usualmente utilizada em estudos que envolvam propagação e rebentação de ondas. Segundo Toumazis e Anastasiou (1990), embora alguns pormenores do processo de rebentação não sejam completamente modelados por esta lei de semelhança, os modelos assim escalados reproduzem

satisfatoriamente a globalidade das condições. Os resultados dos ensaios experimentais levados a cabo por Stive (1985) (Hughes, 1993), permitiram concluir que os modelos à escala de Froude não conduzem a erros de escala significativos no que se refere à rebentação desde que a altura de onda esteja compreendida entre 0.1 m e 1.5 m (Hughes, 1993).

Nos ensaios realizados, apenas as duas menores alturas de onda testadas são inferiores a 0.1 m, esperando-se nessas algum efeito de escala, que se traduz num aumento da altura de onda na rebentação em relação à esperada no protótipo e numa alteração da posição da rebentação, mais próxima da costa do que a que ocorrerá no protótipo (Kortenhaus et al., 2005). No entanto, em estudos de carácter global, onde se pretenda estudar a propagação da onda até à rebentação sobre fundos reais, não existe neste momento outra ferramenta tão fiável (Kamphuis, 1996), como a modelação física.

A reprodução da batimetria da zona em estudo foi realizada de acordo com o protótipo assim como a envolvente da área em estudo.

Foram realizados ensaios para a situação sem recife artificial, que servem de situação de referência e validação dos modelos numéricos. Posteriormente, foi implementada a solução de recife artificial seleccionada nos estudos em modelo numérico, definida por Bicudo et al. (2007a, b) (ver Figura 2).

O recife é formado pelo um tronco principal de 200 m metros de comprimento por 40 m de largura e pela cabeça de 40 m em largura e comprimento. O tronco e a cabeça do recife têm um declive de 7.5 %. Na Figura 3 apresenta-se a forma do recife em planta e a secção transversal do tronco do recife.

As características da agitação marítima local, determinadas a partir dos regimes de agitação marítima locais na zona em frente à praia de São Pedro do Estoril, Fortes et al. (2007) e, sobretudo a direcção predominante das ondas, 195° (S-15-W) e 265° (W-5-S), e as direcções mais frequentes, de 235° (S-45-W) a 255° (S-55-W) determinaram a orientação do recife. Verificou-se que a orientação do recife afecta o ângulo da rebentação enquanto que o declive do recife afecta o tipo de rebentação, que se pretende que seja do tipo mergulhante.

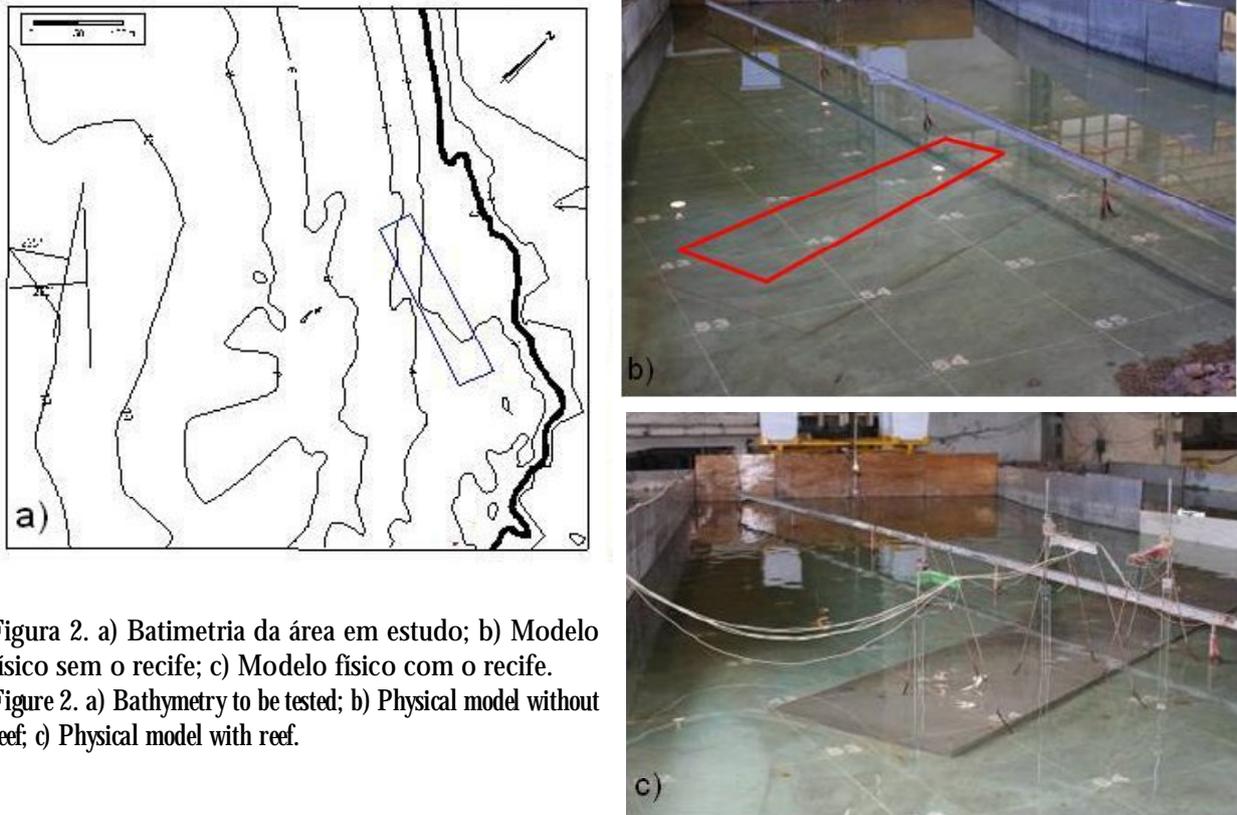


Figura 2. a) Batimetria da área em estudo; b) Modelo físico sem o recife; c) Modelo físico com o recife.  
Figure 2. a) Bathymetry to be tested; b) Physical model without reef; c) Physical model with reef.

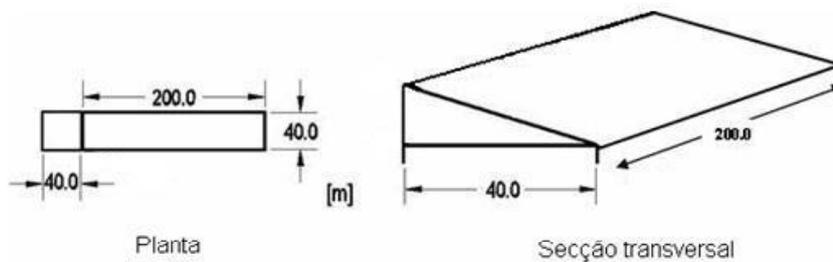


Figura 3. Geometria do recife ensaiado, Bicudo et al. (2007a).  
Figure 3. Geometry of the reef, Bicudo et al. (2007a).

### 3.2 Condições de ensaio

Os níveis de maré e as condições de agitação incidente simuladas no tanque foram definidos por Bicudo et al. (2007b) com base no regime de agitação marítima obtido em Fortes et al. (2007), nos resultados da propagação de ondas desde o largo até à cota -10 m Z.H. (que é a batimétrica até à qual se reproduziu

os fundos no modelo físico), e considerando ainda algumas condições que, embora não sejam as mais frequentes, são as mais interessantes do ponto de vista da prática do surf, tais como as referentes aos períodos de onda mais elevados para as diferentes alturas de onda.

Para a situação sem e com recife, foram efectuados ensaios com ondas regulares, com duração de 5 minutos cada. Foi admitido um rumo de incidência,  $\theta$ , de  $220^\circ$  (S- $40^\circ$ -W), contados a partir de N e no sentido horário. Efectuaram-se ensaios para o nível de maré (+2.0 m Z.H.) que corresponde ao nível médio (NM), com três períodos de onda, T, (11 s, 15 s e 19 s) e valores de altura de onda, H, que variam de 1 m a 3 m, ou até se verificar a rebentação na zona do batedor.

Em cada ensaio, procedeu-se à:

- Identificação visual da linha de rebentação e das condições de rebentação;
- Representação das linhas de rebentação;
- Medição da elevação da superfície livre em vários pontos no modelo, Figura 4a;
- Filmagem simultânea em três posições de

- forma a observar as condições de rebentação;
- Execução de fotografias de forma a observar as condições de rebentação.

Para a medição da elevação da superfície livre nos referidos pontos usaram-se simultaneamente 7 sondas resistivas, Figura 4a, em variadas posições. Uma das posições, em frente ao gerador de ondas (Sonda 1, S1) manteve-se inalterada ao longo de todos os ensaios, para garantir a repetibilidade e o controlo de qualidade dos ensaios efectuados. As restantes sondas (Sondas 2 a 7, S2 a S7) tomaram diferentes posições consoante os testes efectuados, Figura 4a. Estas posições foram estabelecidas numa quadrícula que foi desenhada no modelo. Assim, obtiveram-se valores da elevação da superfície livre em 36 localizações diferentes, Figura 4b, divididas em 6 grupos, designadas de P1 a P6, Figura 4c.

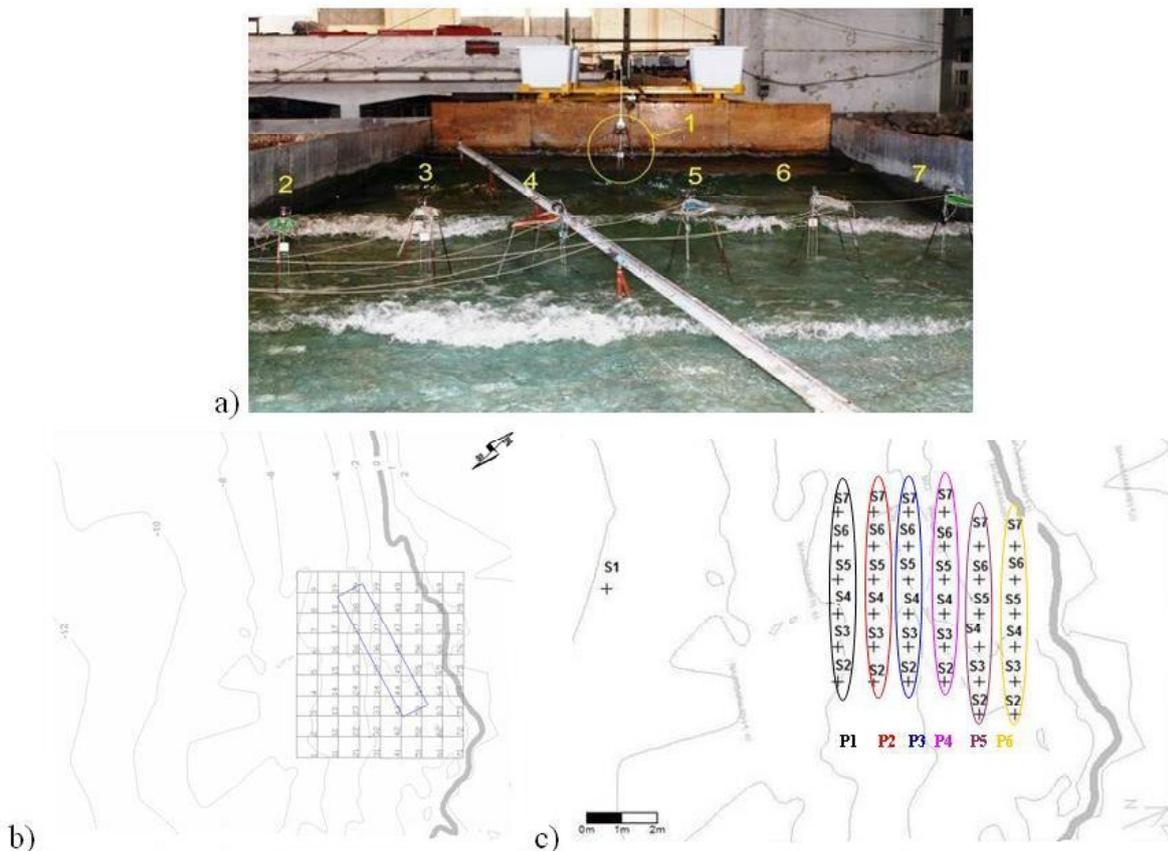


Figura 4. a) Localização das sondas durante um ensaio: S1 - Em frente ao batedor; S2 a S7 - Segundo a linha de pontos de uma quadrícula; b) Quadrícula de pontos; c) Identificação das secções.

Figure 4. a) Location of the gauges during a test: S1 – in front of the wave maker; S2 to S7 – in a line of grid points; b) Grid points; c) Sections.

### 3.3 Tratamento e análise de resultados

Para cada condição de agitação ensaiada, efectuaram-se:

- Cálculo dos valores da altura de onda significativa em cada ponto de medição, com base nos registos da elevação da superfície livre obtidos nas sete sondas colocadas na zona de implantação do recife artificial (36 pontos), Figura 5a;
- Cálculo dos valores do índice de agitação em cada ponto de medição. Os índices de agitação,  $H/H_0$ , são dados pela relação entre a altura de

onda medida em cada ponto,  $H$ , e a altura de onda medida no ponto à saída do gerador de ondas (sonda S1),  $H_0$ , em cada ensaio (ver Figura 5b);

- Análises da localização, do comprimento e do tipo de rebentação na zona do recife artificial com base nas filmagens e fotografias efectuadas (ver Figura 6);
- Figuras com a representação das linhas de rebentação, para cada condição de ensaio, como a que se apresenta na Figura 7.

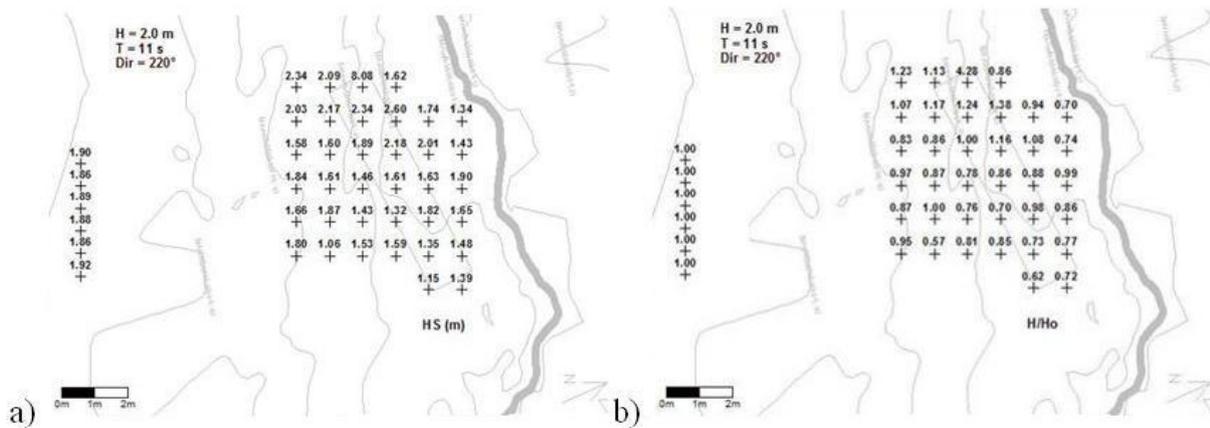


Figura 5. Exemplo de resultados: a) Valores da altura de onda. b) Índices de agitação nas sondas.

Figure 5. Example of the obtained results: a) Values of wave height; b) Breaking wave indexes at the wave gauges.



Figura 6. Localização da linha de rebentação obtida através de fotografias.

Figure 6. Breaking line obtained using photographs.

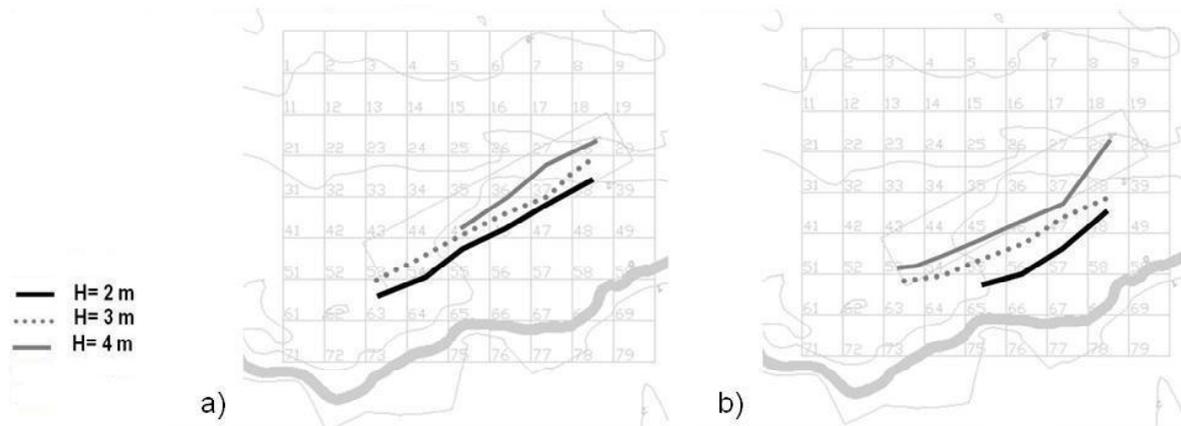


Figura 7. Posição das linhas de rebentação para a situação com recife: a) Onda incidente com  $T=11$  s e  $\theta=220^\circ$ ; b) Onda incidente com  $T=19$  s e  $\theta=220^\circ$ .

Figure 7. Position of the breaking lines with reef: a) Incident wave with  $T=11$  s,  $\theta=220^\circ$ ; b) Incident wave with  $T=19$  s,  $\theta=220^\circ$ .

A análise dos resultados dos ensaios permitiu concluir que, em geral:

- Em todo o domínio, o recife introduz claramente alterações na posição da linha de rebentação;
- Em todos os casos, a linha de rebentação passa a posicionar-se sobre ou imediatamente após o recife, ao contrário do que se verificava na situação sem recife;
- Para a direcção e períodos testados, o recife melhora as condições para a prática do surf para a gama de alturas frequente na zona de estudo (1 m a 3 m);
- A orientação da linha de rebentação na situação com recife muda claramente face à situação sem recife e o comprimento da linha de rebentação mantém-se ou aumenta face ao acontecido na situação sem recife;
- O recife produz também melhores resultados para os períodos de 11 s e 19 s e para as alturas menores.

#### 4. MODELOS NUMÉRICOS

No âmbito da modelação numérica, os modelos baseados nas equações estendidas de Boussinesq permitem uma descrição adequada da evolução das ondas em zonas de profundidade variável, onde os

efeitos da refacção, difracção e efeitos não lineares afectam a propagação das ondas.

São exemplos destes modelos, o código FUNWAVE, Kirby et al. (1998) e Chen et al. (2000), e o código COULWAVE, Lynett e Liu (2004). Ambos permitem reproduzir a maioria dos fenómenos intervenientes na transformação da onda em fundos de profundidade variável e na presença de correntes: dispersão de frequência, dispersão de amplitude, empolamento (linear e não-linear), difracção, refacção pelo fundo e devida às correntes, geração de harmónicas e dissipação de energia por rebentação da onda.

O código FUNWAVE, desenvolvido por Kirby et al. (1998), resolve as equações não-lineares de Boussinesq deduzidas por Wei et al. (1995b). Estas equações foram deduzidas através da consideração de uma aproximação polinomial de 4ª ordem para a distribuição vertical da velocidade. Este modelo apresenta propriedades lineares de dispersão que vão até  $kh \sim 3$ . Em termos de empolamento, cinemática da onda e interacções não lineares estes são correctamente simulados até  $kh \sim 3$ . Assim, devido às hipóteses base admitidas, este modelo só pode ser aplicado entre zonas de profundidade intermédia a águas pouco profundas desde que os efeitos não lineares não sejam significativos. Devido à necessidade de memória e CPU, o modelo também só pode ser aplicado em zonas de pequena dimensão.

O código COULWAVE, desenvolvido por Lynett e Liu (2004), também resolve as equações não-lineares de Boussinesq deduzidas por Wei et al. (1995b). No entanto, para obtenção dessas equações Lynett e Liu utilizaram o conceito de “multi-layer” (multi-camada) em que a coluna de água é dividida em várias camadas. A precisão do modelo assim desenvolvido depende do número de camadas que se considera permitindo a sua utilização em águas muito profundas. Deste modo, o modelo é melhor do ponto de vista das características lineares de dispersão. Além disso, foram incluídos termos adicionais associados à variação no tempo da profundidade, para ter em conta o deslizamento de camadas de terreno emerso ou a ocorrência tsunamis originados por sismos. O tratamento numérico dessas equações é semelhante ao de Wei et al. (1995b) com excepção de alguns termos não lineares dispersivos.

Ambos os códigos, FUNWAVE e COULWAVE, apresentam a mesma formulação de rebentação, Zelt (1991), através da inclusão de termos de viscosidade turbulenta nas equações de conservação da quantidade de movimento. No entanto, existem algumas diferenças no que diz respeito aos respectivos critérios de rebentação (início, fim e duração), que serão descritas nos pontos seguintes. Note-se que, em todos os modelos, a rebentação é um dos fenómenos mais complexos de modelar e, em geral, é função de um conjunto de parâmetros (mais ou menos empíricos) para os quais é necessário efectuar uma análise de sensibilidade de modo a avaliar quais os valores mais adequados. Essa análise de sensibilidade deve ter por base medições em modelo físico ou protótipo.

Neste âmbito, para analisar o desempenho de cada um dos modelos atrás referidos, decidiu-se aplicá-los ao caso de teste de simulação da propagação de ondas regulares na zona de São Pedro do Estoril para o qual existem medições de modelo físico como referido anteriormente.

Nas próximas secções, apresentam-se primeira e sucintamente as características gerais dos dois códigos numéricos, com especial atenção para a formulação da rebentação. Efectua-se uma comparação dos resultados numéricos e experimentais em termos dos valores de elevação da superfície livre e índices de agitação. Finalmente, são apresentadas as principais conclusões obtidas neste trabalho.

#### 4.1 Código FUNWAVE

O código FUNWAVE (Kirby et al., 1998 e Chen et al., 2000), é uma implementação do modelo de propagação de ondas baseado nas equações de Boussinesq estendidas, deduzidas por Wei et al. (1995a, b). O modelo resolve as equações de conservação de massa (1) e quantidade de movimento (2):

$$\eta_t + \nabla \cdot \left\{ (h + \eta) \left[ \mathbf{u}_\alpha + \left( z_\alpha + \frac{1}{2}(h - \eta) \right) \nabla (\nabla \cdot (h \mathbf{u}_\alpha)) \right] + \left( \frac{1}{2} z_\alpha^2 - \frac{1}{6} (h^2 - h\eta + \eta^2) \right) \nabla (\nabla \cdot \mathbf{u}_\alpha) \right\} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \mathbf{u}_{\alpha t} + (\mathbf{u}_\alpha \cdot \nabla) \mathbf{u}_\alpha + g \nabla \eta + \\ & z_\alpha \left\{ \frac{1}{2} z_\alpha \nabla (\nabla \cdot \mathbf{u}_{\alpha t}) + \nabla (\nabla \cdot (h \mathbf{u}_{\alpha t})) \right\} + \\ & \nabla \left\{ \frac{1}{2} (z_\alpha^2 - \eta^2) (\mathbf{u}_\alpha \cdot \nabla) (\nabla \cdot \mathbf{u}_\alpha) \right. \\ & \left. + \frac{1}{2} [\nabla \cdot (h \mathbf{u}_\alpha) + \eta \nabla \cdot \mathbf{u}_\alpha]^2 \right\} + \\ & \nabla \left\{ (z_\alpha - \eta) (\mathbf{u}_\alpha \cdot \nabla) (\nabla \cdot (h \mathbf{u}_\alpha)) \right. \\ & \left. - \eta \left[ \frac{1}{2} \eta \nabla \cdot \mathbf{u}_{\alpha t} + \nabla \cdot (h \mathbf{u}_{\alpha t}) \right] \right\} = 0 \quad (2) \end{aligned}$$

onde  $\eta$  é a elevação da superfície livre,  $h$  é a profundidade, Figura 8,  $u_\alpha$  é o vector de velocidade horizontal à profundidade de  $z = z_\alpha = -0.531h$ ,  $g$  é a aceleração gravítica, o índice  $t$  representa a derivada

parcial em relação ao tempo e  $\nabla = \left( \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right)$ .

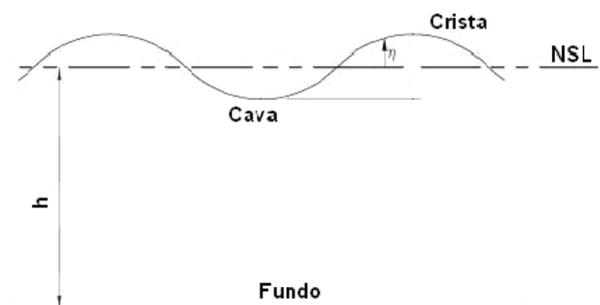


Figura 8. Esquema das características de uma onda.  
Figure 8. Wave characteristics.

As equações (1) e (2) descrevem a evolução de ondas sobre um fundo inclinado e impermeável, sem considerar rebentação.

Kennedy et al. (2000) e Chen et al. (2000) introduziram termos adicionais nas equações de modo a ter em conta o atrito de fundo, a rebentação de ondas, a geração de ondas no interior do domínio e fronteiras dinâmicas (variáveis na forma e na posição ao longo do tempo).

Como condições de fronteira, o modelo admite fronteiras absorventes de ondas simuladas por termos dissipadores de energia presentes na equação de conservação da quantidade de movimento. Desta forma, controlam-se os efeitos de reflexão nas fronteiras do domínio. No fundo, o modelo admite velocidades tangenciais (fluido ideal).

O esquema numérico de diferenças finitas utilizado para a discretização temporal das equações é o método “previsor-corrector” de Adams-Bashforth-Moulton de 4ª ordem, que utiliza um passo de previsão de 3ª ordem Adams-Bashforth e de 4ª ordem Adams-Moulton para o passo da correcção. As derivadas espaciais de 1ª ordem são discretizadas por diferenças finitas centrais, utilizando uma fórmula de 5 pontos, com uma precisão de 4ª ordem. As derivadas espaciais e temporais de ordem superior são efectuados com uma precisão de 2ª ordem.

Os resultados fornecidos pelo código constam de séries temporais e distribuições espaciais da elevação da superfície livre e velocidades horizontais nos pontos do domínio e instantes temporais definidos pelo utilizador.

## 4.2 Código COULWAVE

O código COULWAVE, Lynett e Liu (2004), tal como o código FUNWAVE, é uma implementação do modelo de propagação de ondas baseado nas equações de Boussinesq estendidas, deduzidas por Wei et al. (1995a, b). No entanto, neste código, as equações do modelo, do tipo de Boussinesq, são deduzidas a partir da integração em profundidade das equações de continuidade e movimento, utilizando o conceito de camadas múltiplas (“multi-layer”). Em cada camada admite-se um dado perfil de velocidades. Com estes perfis de velocidade, que coincidem na fronteira entre camadas, é deduzida um conjunto de equações que permite estender a aplicabilidade do modelo a águas

muito profundas e apresentar características lineares até  $kh \sim 8$  e um comportamento não linear de 2ª ordem até  $kh \sim 6$ . Para uma camada, as equações de conservação de massa (3) e quantidade de movimento (4) vêm:

$$\begin{aligned} & \eta_t + \nabla \cdot [(h + \varepsilon\eta)\mathbf{u}_\alpha] - \\ & \mu^2 \nabla \cdot \left\{ (h + \varepsilon\eta) \left[ \left[ \frac{1}{6} (\varepsilon^2 \eta^2 - \varepsilon\eta h + h^2) - \frac{1}{2} z_\alpha^2 \right] \nabla (\nabla \cdot \mathbf{u}_\alpha) \right. \right. \\ & \left. \left. + \left[ \frac{1}{2} (\varepsilon\eta - h) - z_\alpha \right] \nabla [\nabla \cdot (h\mathbf{u}_\alpha)] \right] \right\} = O(\mu^4) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \mathbf{u}_{\alpha t} + \varepsilon \mathbf{u}_\alpha \cdot \nabla \mathbf{u}_\alpha + \nabla \eta + \\ & \mu^2 \left\{ \frac{1}{2} z_\alpha^2 \nabla (\nabla \cdot \mathbf{u}_{\alpha t}) + z_\alpha \nabla [\nabla \cdot (h\mathbf{u}_{\alpha t})] \right\} + \\ & \varepsilon \mu^2 \left\{ [\nabla \cdot (h\mathbf{u}_\alpha)] \nabla [\nabla \cdot (h\mathbf{u}_\alpha)] - \nabla [\zeta (\nabla \cdot (h\mathbf{u}_{\alpha t}))] + \right. \\ & \quad \left. (\mathbf{u}_\alpha \cdot \nabla z_\alpha) \nabla [\nabla \cdot (h\mathbf{u}_\alpha)] \right\} + \\ & \varepsilon \mu^2 \left\{ z_\alpha \nabla [\mathbf{u}_\alpha \cdot \nabla (\nabla \cdot (h\mathbf{u}_\alpha))] + z_\alpha (\mathbf{u}_\alpha \cdot \nabla z_\alpha) \nabla (\nabla \cdot \mathbf{u}_\alpha) + \right. \\ & \quad \left. \frac{z_\alpha^2}{2} \nabla [\mathbf{u}_\alpha \cdot \nabla (\nabla \cdot \mathbf{u}_\alpha)] \right\} + \\ & \varepsilon^2 \mu^2 \nabla \cdot \left\{ -\frac{\eta^2}{2} \nabla \cdot \mathbf{u}_{\alpha t} - \eta \mathbf{u}_\alpha \cdot \nabla [\nabla \cdot (h\mathbf{u}_\alpha)] + \right. \\ & \quad \left. \eta [\nabla \cdot (h\mathbf{u}_\alpha)] \nabla \cdot \mathbf{u}_\alpha \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

onde  $\eta$  é a elevação da superfície livre, o subscrito  $t$  indica a derivada no tempo  $h$  é a profundidade,  $\mathbf{u}_\alpha = (u_\alpha, v_\alpha)$  é o vector de velocidade horizontal à profundidade definida em cada camada  $z_\alpha = -0.531h$ ,  $g$  é a aceleração gravítica. Os coeficientes empíricos  $\varepsilon = a/h$  e  $\mu = h/\lambda$ , onde  $a$  é a amplitude da onda e  $\lambda$  o comprimento de onda. O perfil vertical da velocidade horizontal é dado por:

$$\begin{aligned} \mathbf{u} = \mathbf{u}_\alpha - \sigma^2 \left\{ \frac{z^2 - z_\alpha^2}{2} \nabla (\nabla \cdot \mathbf{u}_\alpha) + \right. \\ \left. (z - z_\alpha) \nabla \left[ \nabla \cdot (h\mathbf{u}_\alpha) + \frac{h_t}{\varepsilon} \right] \right\} + O(\mu_0^4) \end{aligned} \quad (5)$$

sendo  $z$  escolhido de modo a que as características resultantes do modelo de Lynett e Liu estejam de acordo com a teoria linear e  $\sigma = h_0/\lambda$  é um parâmetro adimensional, representando  $h_0$  e  $\lambda$  escalas

características dos comprimentos vertical e horizontal, respectivamente. A diferença relativamente a Wei et al. (1995b) refere-se a alguns termos não-lineares dispersivos e à existência de termos adicionais, devidos à dependência temporal da profundidade.

Analogamente ao que acontece no código FUNWAVE, Lynett e Liu (2004) introduziram termos adicionais nas equações de modo a ter em conta o atrito de fundo, a rebentação de ondas e a geração de ondas no interior do domínio. Além disso, incluíram termos de profundidade dependentes do tempo para ter em conta a variações do perfil de fundo, no tempo, devido à ocorrência de um deslizamento ou de um sismo.

A resolução das equações referidas é também semelhante à formulação apresentada por Wei et al. (1995a, b) utilizando um esquema previsor-corrector de Adams-Bashforth, i.e, esquema explícito de Adams-Bashforth de 3ª ordem no tempo para o passo previsor e implícito de 4ª ordem no tempo para o passo corrector. Para as derivadas espaciais de 1ª ordem são utilizadas diferenças finitas centrais com uma precisão de 4ª ordem. As derivadas espaciais de 2ª ordem com uma precisão de 2ª ordem. O modelo é formalmente preciso até  $\Delta t^4$  no tempo de  $\Delta x^4$  no espaço.

Para as fronteiras exteriores, são aplicados dois tipos de condições: reflexão total e radiação. No primeiro caso utiliza-se a metodologia de Wei et al. (1995a, b), enquanto que para a radiação ou condição de fronteira aberta, é usado um esquema de fronteira absorvente (“sponge layers”), de acordo com Kirby et al. (1998).

Entre os principais resultados fornecidos pelo modelo constam as séries temporais e distribuições espaciais da elevação da superfície livre e as velocidades horizontais nos pontos do domínio e instantes temporais definidos pelo utilizador.

### 4.3 Modelo de rebentação

Em ambos os códigos, na simulação da hidrodinâmica da zona de rebentação, a dissipação de energia devido à rebentação é tratada através da inclusão de termos de viscosidade turbulenta nas equações de conservação da quantidade de movimento, Zelt (1991):

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} + \dots + R_f + R_b = 0 \quad (6)$$

em que  $R_b = F_{br} + G_{br}$

$$F_{br} = \frac{1}{h + \eta} \left[ \left( v \left( (h + \eta) u_\alpha \right)_x \right)_x + \frac{1}{2} \left( v \left( (h + \eta) u_\alpha \right)_y + \left( (h + \eta) v_\alpha \right)_x \right)_y \right] \quad (7)$$

$$G_{br} = \frac{1}{h + \eta} \left[ \frac{1}{2} \left( v \left( (h + \eta) v_\alpha \right)_x + \left( (h + \eta) u_\alpha \right)_y \right)_x + \left( v \left( (h + \eta) v_\alpha \right)_y \right)_y \right] \quad (8)$$

em que os índices  $x$  e  $y$  representam derivadas espaciais e  $v$  é o coeficiente de viscosidade turbulenta, associado à frente da onda. Este coeficiente é definido por:

$$g = B(h + \zeta) \zeta_t \quad (9)$$

A quantidade  $B$ , que controla a ocorrência de dissipação de energia e garante uma suave transição entre a rebentação e a zona de não rebentação, é dada por:

$$B = \begin{cases} \delta & \zeta_t \geq 2\zeta_t^b \\ \delta(\zeta_t / \zeta_t^b - 1), & \zeta_t^b \leq \zeta_t \leq 2\zeta_t^b \\ 0, & \zeta_t \leq \zeta_t^b \end{cases} \quad (10)$$

onde  $\delta$  é um factor amplificador e o parâmetro  $\zeta_t^b$  determina o início e fim da rebentação da onda.  $\zeta_t^b$  é determinado do seguinte modo:

$$\zeta_t^b = \begin{cases} \zeta_t^{(F)} & t - t_0 \geq T^b \\ \zeta_t^{(I)} + \frac{t - t_0}{T^b} (\zeta_t^{(F)} - \zeta_t^{(I)}), & 0 \leq t - t_0 \leq T^b \end{cases} \quad (11)$$

em que  $\zeta_t^{(I)}$  define o início da rebentação, i.e., é o patamar inicial da elevação da superfície livre que tem de ser excedido para a rebentação acontecer,  $\zeta_t^{(F)}$  define o fim de rebentação, i.e., é o mínimo valor da elevação da superfície livre para a

rebentação continuar,  $t$  é o instante local,  $t_0$  é o instante de tempo em que a rebentação da onda ocorre,  $t-t_0$  é a duração do evento de rebentação e  $T^b$  é o tempo de transição, ou seja, o instante em que se considera que a rebentação cessa. O início e fim da rebentação da onda são determinados utilizando os parâmetros  $\zeta_t^{(I)}$  e  $\zeta_t^{(F)}$  e do tempo de transição  $T^b$ .

Até este ponto o modelo é idêntico ao modelo de Kennedy et al. (2000). A diferença reside no facto de que em Kennedy a determinação dos parâmetros é efectuada em termos da velocidade da onda longa linear, i.e.,  $\zeta_t^{(I)} = 0.65\sqrt{gh}$ . No caso do COULWAVE utiliza-se a velocidade da onda longa não-linear, i.e.,  $\zeta_t^{(I)} = 0.65\sqrt{gH}$ , em que  $H = h + \zeta$ . Assim, no COULWAVE e no FUNWAVE os valores de  $\zeta_t^{(I)}$  são dados por  $0.65\sqrt{gH}$  e  $0.08\sqrt{gH}$  e os valores de  $\zeta_t^{(F)}$  são dados por  $0.35\sqrt{gH}$  e  $0.15\sqrt{gH}$ , respectivamente. O valor de  $T^b$  é dado por  $8\sqrt{\frac{H}{g}}$  para o COULWAVE e  $5\sqrt{h/g}$  para o FUNWAVE.

O valor adoptado para  $\delta$  é 6.5 no caso do COULWAVE e 1.2 no caso do FUNWAVE.

Estes parâmetros foram definidos com base em testes sobre fundos de inclinação suave. Assim, noutras situações, cujos perfis se afastem desta situação ideal, haverá que proceder ao ajuste do valor destes parâmetros.

#### 4.4 Modelo de atrito de fundo

O atrito de fundo é descrito, em ambos os códigos, na forma quadrática como:

$$R_f = \frac{f}{H} u_b |u_b| \quad (12)$$

onde  $H = h + \zeta$ , representando a coluna de água total,  $f$  é o coeficiente de atrito de fundo que, de acordo com os autores do modelo, assume valores entre 0.001 e 0.01, e  $u_b$  é a velocidade horizontal junto ao fundo. Este parâmetro está dependente do número de Reynolds e das condições de fundo.

#### 4.5 Vantagens e desvantagens dos códigos FUNWAVE e COULWAVE

Do exposto, verifica-se que os códigos

FUNWAVE e COULWAVE permitem reproduzir a maioria dos fenómenos intervenientes na transformação da onda em fundos de profundidade variável e na presença de correntes: dispersão de frequência, dispersão de amplitude, empolamento (linear e não-linear), difracção, refração pelo fundo e devida às correntes, geração de harmónicas e dissipação de energia por rebentação da onda.

No entanto, como para a dedução das equações em que se baseiam os modelos, se admite uma determinada aproximação polinomial para o perfil de velocidades ao longo da coluna de água (FUNWAVE) ou para cada camada em que essa coluna se divide (COULWAVE), e se procede à integração vertical do perfil de velocidade (que é implícita à dedução das equações do tipo Boussinesq), tal limita a aplicação deste modelo a fundos moderadamente inclinados. Com efeito, não é possível descrever convenientemente o escoamento em zonas onde o efeito da profundidade tem importância (zonas de variação brusca da profundidade e de espriamento, por exemplo).

Igualmente, não é possível obter com estes modelos a estrutura vertical da velocidade da partícula, aspecto particularmente importante quando se está interessado no transporte de sedimentos.

Por outro lado, os fenómenos de dissipação da energia são introduzidos através de termos adicionados à equação original. No caso particular da rebentação, como referido, esta é incluída através da introdução de um termo de viscosidade turbulenta na equação de conservação da quantidade de movimento. Ora este modelo de rebentação é dependente de um conjunto de parâmetros relacionados com o início, o fim e a duração da rebentação, que tem de ser calibrados para cada caso de estudo, o que representa uma limitação do código numérico.

Como diferenças mais significativas entre os dois códigos, referem-se as características de dispersão linear até  $kh \sim 8$  e um comportamento não-linear de 2ª ordem até  $kh \sim 6$  por parte do COULWAVE enquanto que o FUNWAVE apresenta características de dispersão linear até  $kh \sim 3$  e um comportamento não-linear até  $kh \sim 3$ . Tal implica um maior domínio de aplicação do código COULWAVE. Refira-se ainda as diferenças relacionadas com os termos de

profundidade dependentes do tempo para ter em conta a variações do perfil de fundo no tempo devido à ocorrência de um deslizamento ou de um sismo no código COULWAVE e as diferenças nos critérios relacionados com o início, duração e fim de rebentação impostos nos dois códigos já referidas anteriormente.

## 5. APLICAÇÃO NUMÉRICA

Nesta secção, descrevem-se as simulações numéricas da propagação de ondas sobre o recife artificial, efectuadas com os códigos FUNWAVE e COULWAVE, para cinco condições de agitação testadas em modelo físico.

Primeiramente, é efectuada uma análise de sensibilidade para os parâmetros relacionados com o início da rebentação para os dois códigos numéricos. Os resultados numéricos, em termos da elevação da superfície livre e da altura de onda média quadrática, em secções/pontos pré-definidos, são comparados com resultados experimentais.

Finalmente, com os resultados numéricos obtidos no domínio de cálculo, compararam-se as respectivas zonas de rebentação e calculam-se os parâmetros de surfabilidade.

### 5.1 Condições de Cálculo

#### 5.1.1 Características da agitação marítima

As quatro condições de agitação aqui testadas numericamente correspondem a agitação regular e têm as características na zona do batedor apresentadas na Tabela 1. Para estas condições obtiveram-se, em modelo físico, boas condições para a prática de surf, com uma rebentação do tipo mergulhante.

#### 5.1.2 Domínio computacional

O domínio de cálculo e a batimetria considerados nos cálculos efectuados com os modelos numéricos são os indicados na Figura 9. O domínio de cálculo, de 746x676 m<sup>2</sup>, foi discretizado por uma malha regular de espaçamento constante  $\Delta x = \Delta y = 2.0$  m, o que corresponde a um total de 126074 pontos. Foi adicionado ao domínio uma zona de profundidade constante na qual se efectua a geração da onda através do método da função fonte, Wei et al. (1999). Foram usadas, nas extremidades laterais (barlamar e sotamar) do domínio de cálculo, condições fronteira de absorção com o objectivo de absorver a energia das ondas que atingem estas regiões. Nas restantes fronteiras consideraram-se condições de fronteira de reflexão total.

No caso do código FUNWAVE, a função fonte (fonte geradora de ondas na secção ao longo do eixo y) foi colocada na posição  $x=88$  m, e foram impostas as condições de agitação de ondas regulares sinusoidais indicadas na Tabela 1. Os valores de  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  e  $\Delta t$  foram escolhidos por forma a obter-se a resolução espacial necessária e, ao mesmo tempo, satisfazer-se a condição de Courant–Friedrichs–Lewy

que impõe  $\frac{\Delta t}{\Delta x} \leq \frac{0.5}{\sqrt{gh_{\max}}}$ . Os cálculos foram

assim realizados para um passo temporal de  $\Delta t=0.1$  s, o que corresponde a um número de Courant de cerca de 0.5. O tempo total simulado foi de 600 s. Nas fronteiras de absorção, a barlamar e sotamar do domínio, impuseram-se comprimentos de 100 m (50 células) e 50 m (25 células), respectivamente.

Tabela 1. Características da agitação.

Table 1. Characteristics of the wave conditions.

| Caso de Teste | H (m) | T (s) | Direcção (°) | Nível de maré (m) | Tipo de rebentação |
|---------------|-------|-------|--------------|-------------------|--------------------|
| 1             | 2     | 11    | 220          | 2.0               | Mergulhante        |
| 2             | 3     | 11    | 220          | 2.0               | Mergulhante        |
| 3             | 2     | 15    | 220          | 2.0               | Mergulhante        |
| 4             | 2     | 19    | 220          | 2.0               | Mergulhante        |

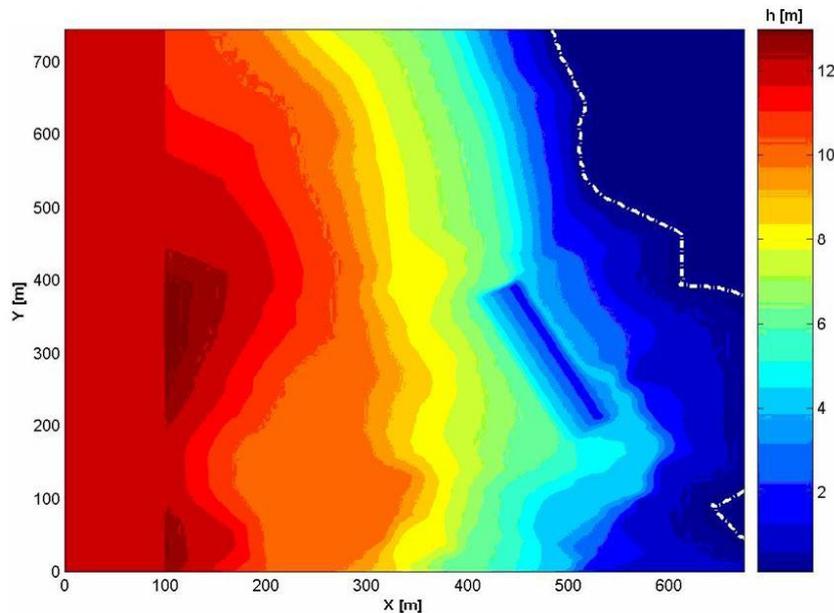


Figura 9. Domínio de cálculo e batimetria. A linha branca a tracejado representa a linha de costa.  
 Figure 9. Computational domain and bathymetry. The dashed white line represents the coastline.

No caso do código COULWAVE, é gerada uma malha regular com base num número mínimo de pontos por comprimento de onda dado pelo utilizador, definido consoante o período de forma a ser obtida uma malha com um espaçamento constante de 2.0 m. Foram utilizados os valores de 56, 79, e 100 pontos por comprimento de onda, para os períodos de 11 s, 15 s e 19 s, respectivamente. O número de Courant admitido foi igual a 0.1 e o passo temporal de 0.018 s. A função fonte foi colocada na posição  $x=88$  m e foram impostas as condições de agitação de ondas regulares sinusoidais indicados na Tabela 1. O tempo total de cálculo foi de 600 s. Impuseram-se condições de fronteira de reflexão total a todas as fronteiras do domínio e colocaram-se duas fronteiras absorventes a barlar e sotamar do domínio com meio comprimento de onda ( $\lambda/2=gT^2/4\pi$ ), o que corresponde a 56 m, 79 m e 101 m para os períodos de  $T=11$  s,  $T=15$  s e  $T=19$  s, respectivamente.

Os resultados numéricos de ambos os códigos foram obtidos para todos os nós da malha de cálculo em termos de elevação da superfície livre, componentes da velocidade em x e y e zonas de rebentação. Nas sondas ilustradas na Figura 4

obtiveram-se séries temporais de elevação da superfície livre que foram comparadas com os resultados do modelo físico.

### 5.1.3 Parâmetros de rebentação

Antes de correr sistematicamente os modelos numéricos foi necessário ajustar alguns dos parâmetros de forma a conseguir-se a melhor aproximação dos resultados numéricos aos experimentais, assegurando a estabilidade dos modelos. Os parâmetros analisados foram os relacionados com o atrito de fundo, o espraiamento e a rebentação. No caso do espraiamento, os valores adoptados encontram-se na gama de valores recomendados no manual.

No que diz respeito a  $\zeta_i^{(1)}$ , os valores indicados no manual variam entre  $0.35\sqrt{gh}$  e  $0.65\sqrt{gh}$ , sendo o valor mais baixo adequado a praia de perfil barra-fossa e o valor mais alto a praias de inclinação constante, Chen et al. (2000).

Seguindo o critério do modelo de rebentação do FUNWAVE, verificou-se que utilizando o valor mais baixo,  $\zeta_i^{(1)}=0.35\sqrt{gh}$ , a rebentação era convenientemente representada pelo modelo

numérico quando comparada com o modelo físico (Figura 7a), para  $T=11$  s,  $H=1.0$  m e  $\theta=220^\circ$  (Figura 10a).

Para  $\zeta_t^{(1)} = 0.65\sqrt{gh}$ , a rebentação ocorre na costa (Figura 10b), não estando assim de acordo com o observado nos ensaios em modelo físico (Figura 7a). O mesmo ocorre para a condição de agitação  $T=19$  s,  $H=2.0$  m, onde a posição de rebentação ocorre primeiro (no recife) com o parâmetro  $\zeta_t^{(1)} = 0.35\sqrt{gh}$  do que com  $\zeta_t^{(1)} = 0.65\sqrt{gh}$ , onde ocorre na costa (Figura 11a e b). No modelo físico (Figura 7b) a rebentação ocorre numa posição intermédia, depois do recife mas antes de chegar à costa.

Analisaram-se os índices de agitação para as condições de agitação  $\theta=220^\circ$ ,  $T=15$  s e  $H=2.0$  m, Figura 12, para o nível médio e para duas posições ao longo das secções transversais referentes às sondas S3, S4, S5 e S6, considerando diferentes valores da variável  $\zeta_t^{(1)}$ . Em relação ao FUNWAVE, a análise desta figura mostra que existe uma influência clara deste parâmetro na altura de onda, aumentando com o aumento de  $\zeta_t^{(1)}$ , especialmente depois da rebentação. Embora não seja claro qual o valor que leva a uma melhor concordância com os ensaios em modelo físico, optou-se por utilizar  $\zeta_t^{(1)} = 0.35\sqrt{gh}$  para as restantes simulações. No entanto, será necessário efectuar um estudo mais detalhado relativamente ao parâmetro de rebentação  $\zeta_t^{(1)}$ , seguindo, por exemplo, a formulação de Fortes et al. (2007) que, para praias de perfil barra-fossa, sugere a variação do parâmetro de rebentação  $\zeta_t^{(1)}$  entre  $0.65\sqrt{gh}$  e  $1.2\sqrt{gh}$ .

No caso do código COULWAVE foi também efectuada uma análise de sensibilidade semelhante à realizada com o código FUNWAVE. Para o parâmetro de rebentação  $\zeta_t^{(1)}$ , testaram-se os valores de  $0.35\sqrt{gh}$  e  $0.65\sqrt{gh}$  (ver Figura 12). Observa-se que a influência do valor de  $\zeta_t^{(1)}$  nos resultados não é significativa.

Na Figura 13 apresenta-se as zonas de rebentação obtidas com o código COULWAVE, para  $T=19$  s,  $H=2.0$ m, com  $\zeta_t^{(1)} = 0.35\sqrt{gh}$  e  $\zeta_t^{(1)} = 0.65\sqrt{gh}$ . Observa-se que a rebentação para  $0.35\sqrt{gh}$  se verifica antes do que acontece com  $0.65\sqrt{gh}$ , e para ambos os casos antes do que se verificou para o modelo físico. Assim, da análise efectuada optou-se pelo de

$\zeta_t^{(1)} = 0.35\sqrt{gh}$ , tal como no caso do FUNWAVE.

Na Figura 14 apresenta-se a comparação dos índices de agitação agora para  $T=19$  s,  $H=2.0$  m, obtidos com ambos os códigos numéricos para  $\zeta_t^{(1)} = 0.35\sqrt{gh}$ . Da análise desta figura, verifica-se que os códigos apresentam um comportamento muito semelhante em termos de zona de rebentação. No entanto, face aos resultados experimentais, ocorrem algumas diferenças: na secção S4 ocorrem duas zonas de rebentação no modelo físico (na zona do recife e junto à costa) que não são simuladas pelos modelos numéricos; na secção S5 ocorre apenas uma zona de rebentação no modelo físico (na zona do recife) e o código FUNWAVE prevê duas.

Relativamente ao parâmetro do atrito de fundo (f) foram testados os valores de 0.005 e 0.007 (Figura 15). Entre estes valores não se verificou uma diferença significativa optando-se assim por utilizar o primeiro já que este é o proposto no manual do modelo, Lynett e Liu (2004).

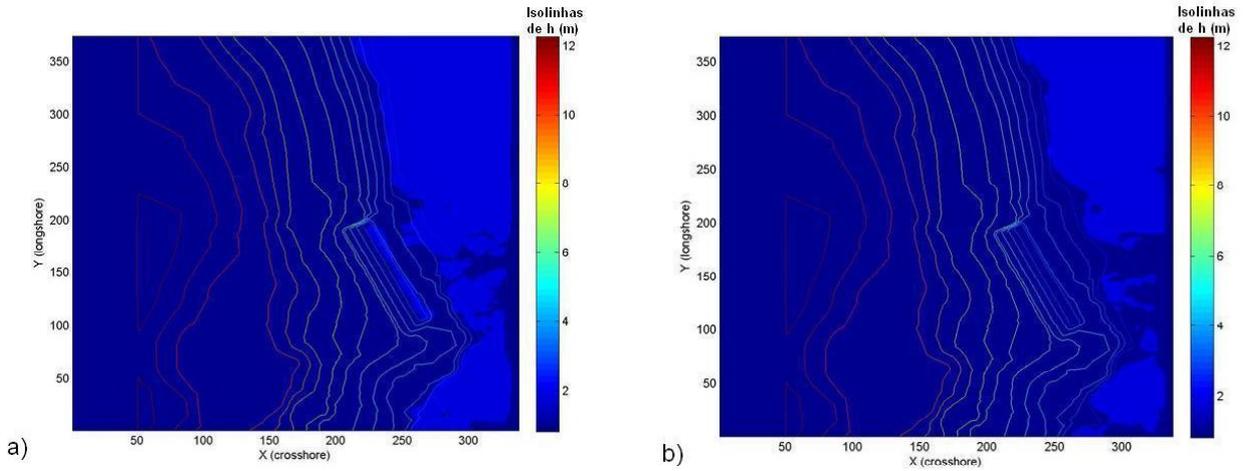


Figura 10. Código FUNWAVE. Zonas de rebentação: a)  $\zeta_i^{(I)} = 0.35\sqrt{gh}$  ; b)  $\zeta_i^{(I)} = 0.65\sqrt{gh}$  , para uma onda incidente de  $T=11$  s e  $H=1.0$  m. (Zonas de cor azul escuro não acontece a rebentação. Nas restantes zonas acontece a rebentação).

Figure 10. FUNWAVE model. Breaking locations: a)  $\zeta_i^{(I)} = 0.35\sqrt{gh}$  ; b)  $\zeta_i^{(I)} = 0.65\sqrt{gh}$  , for an incident wave with  $T=11$  s and  $H=1.0$  m. (Dark blue area - no breaking. Breaking occurs in the remaining areas).

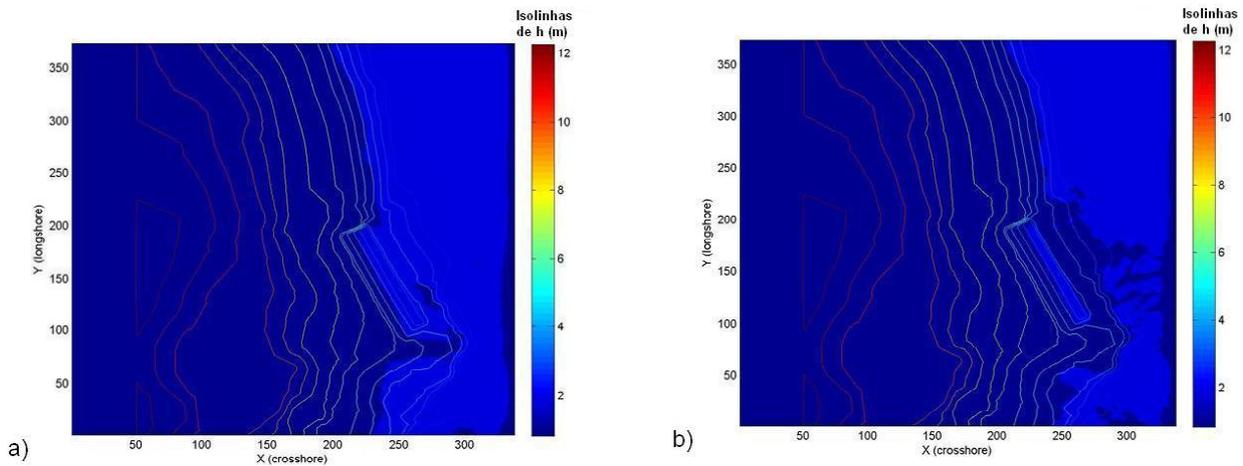


Figura 11. Código FUNWAVE. Zonas de rebentação: a)  $\zeta_i^{(I)} = 0.35\sqrt{gh}$ ; b)  $\zeta_i^{(I)} = 0.65\sqrt{gh}$  , para uma onda incidente de  $T=19$  s e  $H=2.0$  m. (Zonas de cor azul escuro não acontece a rebentação. Nas restantes zonas acontece a rebentação).

Figure 11. FUNWAVE model. Breaking locations: a)  $\zeta_i^{(I)} = 0.35\sqrt{gh}$  ; b)  $\zeta_i^{(I)} = 0.65\sqrt{gh}$  , for an incident wave with  $T=19$  s and  $H=2.0$  m. (Dark blue area - no breaking. Breaking occurs in the remaining areas).

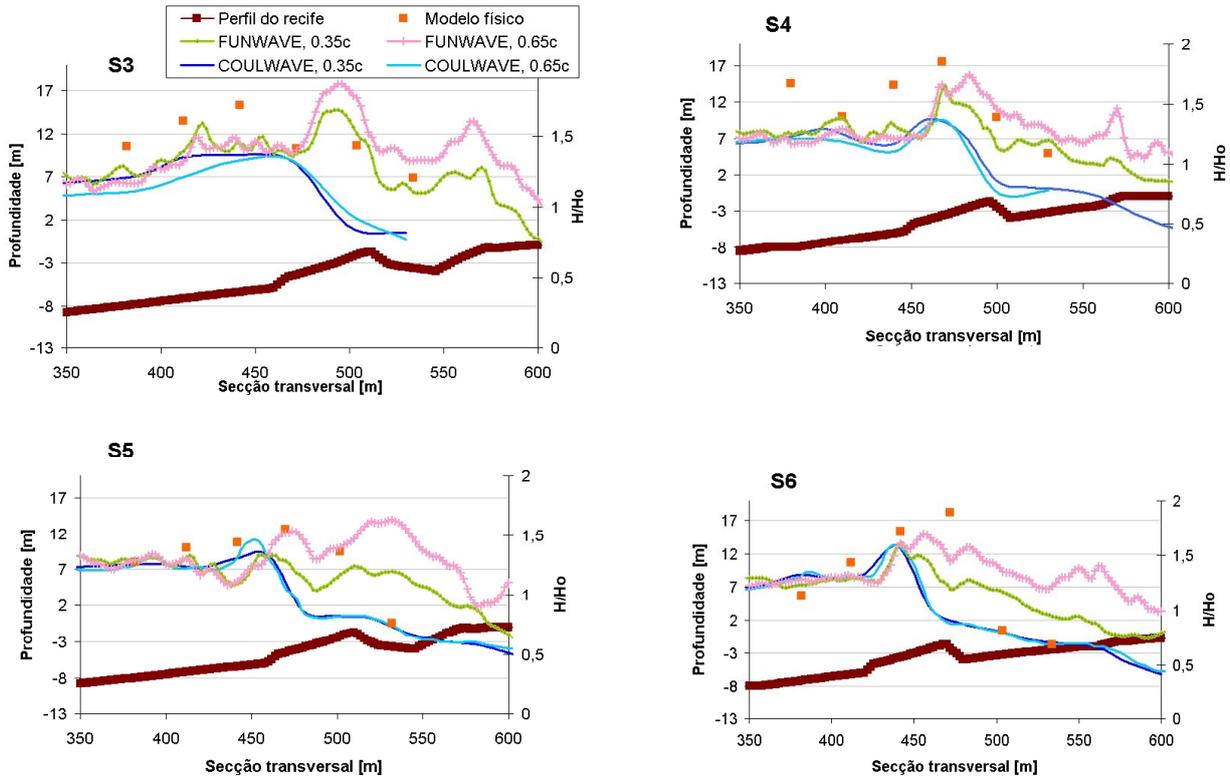


Figura 12. Códigos FUNWAVE e COULWAVE. Índices de agitação para  $T=15$  s,  $H=2.0$  m. Análise de sensibilidade para o parâmetro  $\zeta_i^{(l)} = 0.35c$  e  $\zeta_i^{(l)} = 0.65c$ , onde  $c = \sqrt{gh}$ . Secção transversal: a) Sonda S3; b) Sonda S4; c) Sonda S5; d) Sonda S6.

Figure 12. FUNWAVE and COULWAVE models. Breaking indexes for  $T=15$  s,  $H=2.0$  m. Sensitivity analysis for the parameter.  $\zeta_i^{(l)} = 0.35c$  and  $\zeta_i^{(l)} = 0.65c$ , where  $c = \sqrt{gh}$ . Cross sections with: a) Gauge S3; b) Gauge S4; c) Gauge S5; d) Gauge S6.

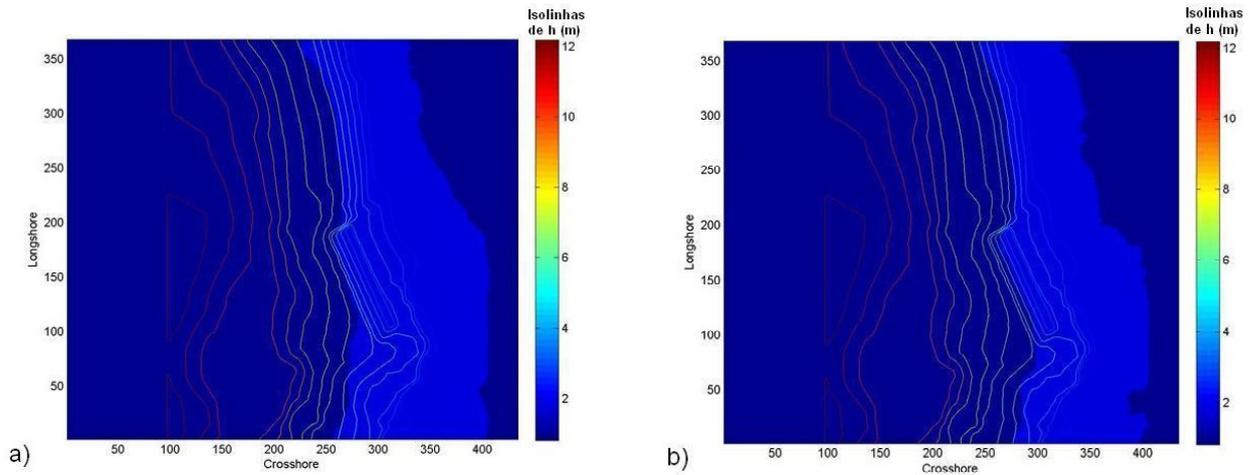


Figura 13. Código COULWAVE. Zonas de rebentação: a)  $\zeta_i^{(l)} = 0.35\sqrt{gh}$ ; b)  $\zeta_i^{(l)} = 0.65\sqrt{gh}$ , para uma onda incidente de T=19 s e H=2.0 m.  
 Figure 13. COULWAVE model. Breaking locations: a)  $\zeta_i^{(l)} = 0.35\sqrt{gh}$ ; b)  $\zeta_i^{(l)} = 0.65\sqrt{gh}$ , for an incident wave of T=19 s and H=2.0 m.

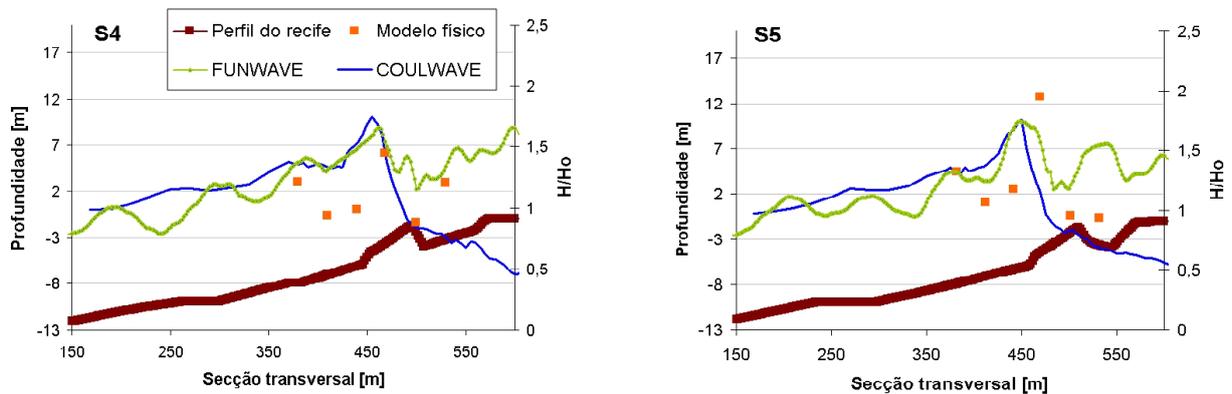


Figura 14. Códigos FUNWAVE e COULWAVE. Índices de agitação para T=19 s, H=2.0 m. Secção transversal com: a) Sonda S4; b) Sonda S5.  
 Figure 14. FUNWAVE and COULWAVE models. Breaking indexes for T=19 s, H=2.0 m. Cross sections with: a) Gauge S4; b) Gauge S5.

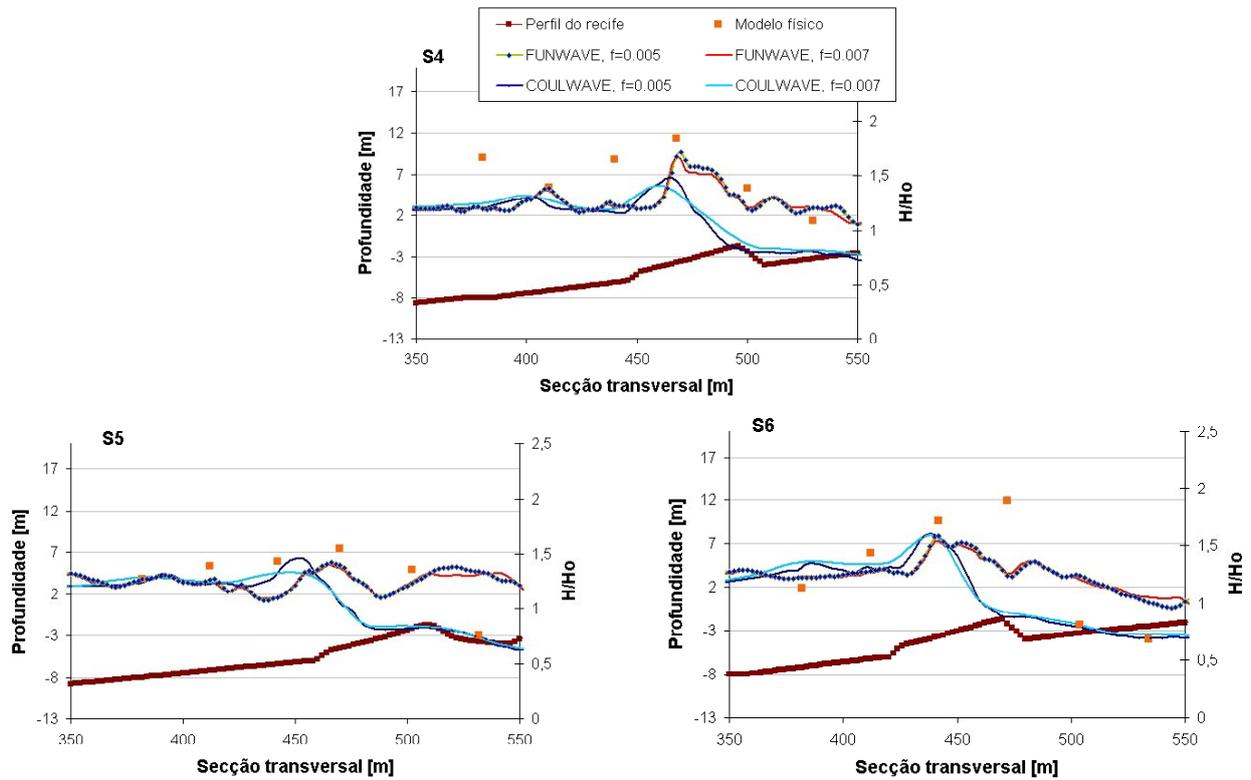


Figura 15. Códigos FUNWAVE e COULWAVE. Índices de agitação para T=15 s, H=2.0 m. Análise de sensibilidade para o parâmetro de atrito de fundo, f. Seções transversais com: a) Sonda S4; b) Sonda S5; c) Sonda S6.

Figure 15. FUNWAVE and COULWAVE models. Breaking indexes for T=15 s, H=2.0 m. Sensitivity analysis for the friction parameter, f. Cross sections for: a) Gauge S4; b) Gauge S5; c) Gauge S6.

## 5.2 Resultados

Os resultados dos modelos foram obtidos em todo o domínio de cálculo, e em particular, nas posições S1 a S6 (Figura 4c), onde existem medições no modelo físico. Primeiramente, comparam-se as elevações da superfície livre e os valores do índice de agitação obtidos numérica e experimentalmente, em secções ao longo do domínio de cálculo. Depois, comparam-se as linhas de rebentação. Finalmente, determina-se com base nos resultados numéricos, os dois parâmetros de surfabilidade: ângulo de rebentação e tipo de rebentação.

### 5.2.1 Elevação da superfície livre

Na Figura 16 e na Figura 17 apresentam-se os valores das elevações da superfície livre obtidas numérica e experimentalmente em pontos situados ao longo das posições P3 e P4, respectivamente, para a condição de agitação incidente  $T=15$  s,  $H=2.0$  m.

Observa-se que ambos os modelos geram ondas com características semelhantes na sonda S1 (Figura 16b) e equivalentes à obtida no modelo físico, sendo evidente a sua progressiva alteração na propagação, nas secções P3 e P4, com o aparecimento de características cada vez mais não lineares (cristas acentuadas e cavas achatadas), Figura 16 e Figura 17. É notória também a geração de harmónicas.

Da análise destas figuras verifica-se que, para a posição P3, o comportamento de ambos os modelos é bastante semelhante aos resultados experimentais, para todas as sondas consideradas. Neste caso o código COULWAVE reproduz melhor os resultados experimentais. Na posição P4, verifica-se que o código FUNWAVE reproduz melhor os resultados experimentais, sobretudo nas sondas S5 e S6, enquanto que com o código COULWAVE obtêm-se cristas mais baixas. De um modo geral, os modelos reproduzem bem a elevação da superfície livre.

### 5.2.2 Índices de agitação

Na Figura 18 e na Figura 19 os resultados dos códigos FUNWAVE e COULWAVE são comparados com os resultados experimentais em termos do índice de agitação para as secções transversais de quatro sondas (S3 a S6), para condições de agitação,  $\theta=220^\circ$ ,  $T=19$  s e nível médio, para  $H=2.0$  m e  $3.0$  m, respectivamente.

Da análise destas figuras, observa-se que o comportamento de ambos os modelos varia conforme a sonda analisada. No entanto, verifica-se que a rebentação ocorre, nos modelos numéricos, geralmente antes do que no modelo físico. A altura de onda aumenta até à zona de rebentação, e o seu valor máximo é semelhante para os dois modelos numéricos.

De modo a ter uma visão geral dos resultados no domínio de cálculo, apresentam-se na

Figura 20 e na Figura 21, os resultados dos códigos FUNWAVE e COULWAVE em termos da altura de onda média e zonas de rebentação, para  $T=19$  s,  $H=2.0$  m. Nestas figuras, pode-se observar o comportamento descrito anteriormente.

## 5.3 Parâmetros de surfabilidade

### 5.3.1 Parâmetros de dimensionamento de um recife

Uma das principais funções de um recife artificial para o surf é melhorar as condições para a prática do surf da zona. De uma forma genérica, pretende-se que esta estrutura induza ou melhore o tipo de rebentação, favoreça o aumento da altura de onda induzindo a rebentação num dado local e garanta que esta se efectue de forma gradual ao longo da crista da onda numa distância suficientemente longa.

No caso de recifes artificiais para a prática do surf, os parâmetros mais utilizados para análise do seu funcionamento são:

- A altura da onda ao longo da linha de rebentação;
- O ângulo de rebentação ao longo da linha de rebentação;
- O comprimento da linha de rebentação;
- O tipo de rebentação, determinado através do número de Iribarren ao longo da linha de rebentação;
- As características da parede da onda;
- A amplificação da altura da onda em relação à altura de onda incidente.

Estes parâmetros são designados como parâmetros de surfabilidade ("surfability parameters"). Os parâmetros são, logicamente, dependentes uns dos outros e também do nível dos surfistas (experiência

ou habilidade dos surfistas) para os quais se pretende dimensionar o recife. Embora as diferentes classificações para o nível dos praticantes de surf sejam subjectivas, existem várias classificações propostas, como, por exemplo, a de Walker (1974) e a de Hutt et al. (2001), ambas em função do ângulo de rebentação.

O ângulo de rebentação ao longo da linha de rebentação é definido como o ângulo entre a crista da onda e a linha de rebentação, a:

$$\sin \alpha = \frac{c}{V_s} \quad (13)$$

onde  $c$  é a velocidade de propagação da onda e  $V_s$  a velocidade do surfista.

Seguindo a metodologia de Walker (1974) o ângulo de rebentação está associado ao nível de dificuldade na execução de manobras na onda, Tabela 2.

O tipo de rebentação, determinado através do número de Iribarren ao longo da linha de rebentação,  $\xi_b$ , é definido por:

$$\xi_b = \frac{s}{\sqrt{H_b / L_0}} \quad (14)$$

onde  $s$  é o declive na zona do recife,  $H_b$  a altura de rebentação da onda e  $L_0$  o comprimento de onda ao largo. Na Tabela 3, apresenta-se a classificação do tipo de rebentação em função do número de Iribarren, segundo proposta de Battjes (1974).

### 5.3.2 Cálculos efectuados

Com base nos resultados dos modelos no que se refere à altura da onda e à direcção de propagação da onda ao longo de cada uma das sete secções definidas na Figura 4c, foi calculado o número de Iribarren e o ângulo de rebentação ao longo da linha de rebentação.

Na Figura 22 apresenta-se a posição da linha de rebentação, os valores do número de Iribarren e do ângulo de rebentação ao longo da linha de rebentação obtidos com o código FUNWAVE para as condições de agitação  $T=11$  s e para  $H=1$  m e  $H=2$  m.

Da Figura 23 à Figura 25, apresentam-se a posição da linha de rebentação, os valores do número de Iribarren e do ângulo de rebentação ao longo da linha

de rebentação obtidas com os códigos COULWAVE e FUNWAVE, para as condições de agitação  $T=11$  s,  $T=15$  s e  $T=19$  s, para  $H=2$  m.

Das figuras efectuadas, observa-se que a posição da linha de rebentação é próxima em ambos os códigos, especialmente para os maiores períodos, assim como o ângulo de rebentação com diferenças máximas de  $4^\circ$ . Quanto ao tipo de rebentação os dois códigos, embora com ligeiras diferenças no número de Iribarren, prevêem rebentação do tipo mergulhante ( $0.4 < \xi_b < 2.0$ ) ao longo de toda a linha de rebentação, o que representa o tipo de rebentação adequada para a prática de surf de nível avançado. Este tipo de rebentação também se verificou nos ensaios em modelo físico.

Para a gama de períodos testados, há uma diminuição dos valores do número de Iribarren com a altura da onda incidente e um aumento com o período.

Quanto ao ângulo de rebentação obtido, é sempre inferior a  $31^\circ$  (Figura 22 a Figura 25) para ambos os códigos, o que representa uma velocidade adequada para surfistas experientes, de acordo com a Tabela 2. No entanto, convém referir que este valor não deve ser muito inferior já que, quando o ângulo de rebentação é inferior a  $25^\circ$ , a velocidade torna-se demasiado elevada para os surfistas tornando impossível a prática do surf. Estes resultados estão de acordo com os obtidos nos ensaios em modelo físico.

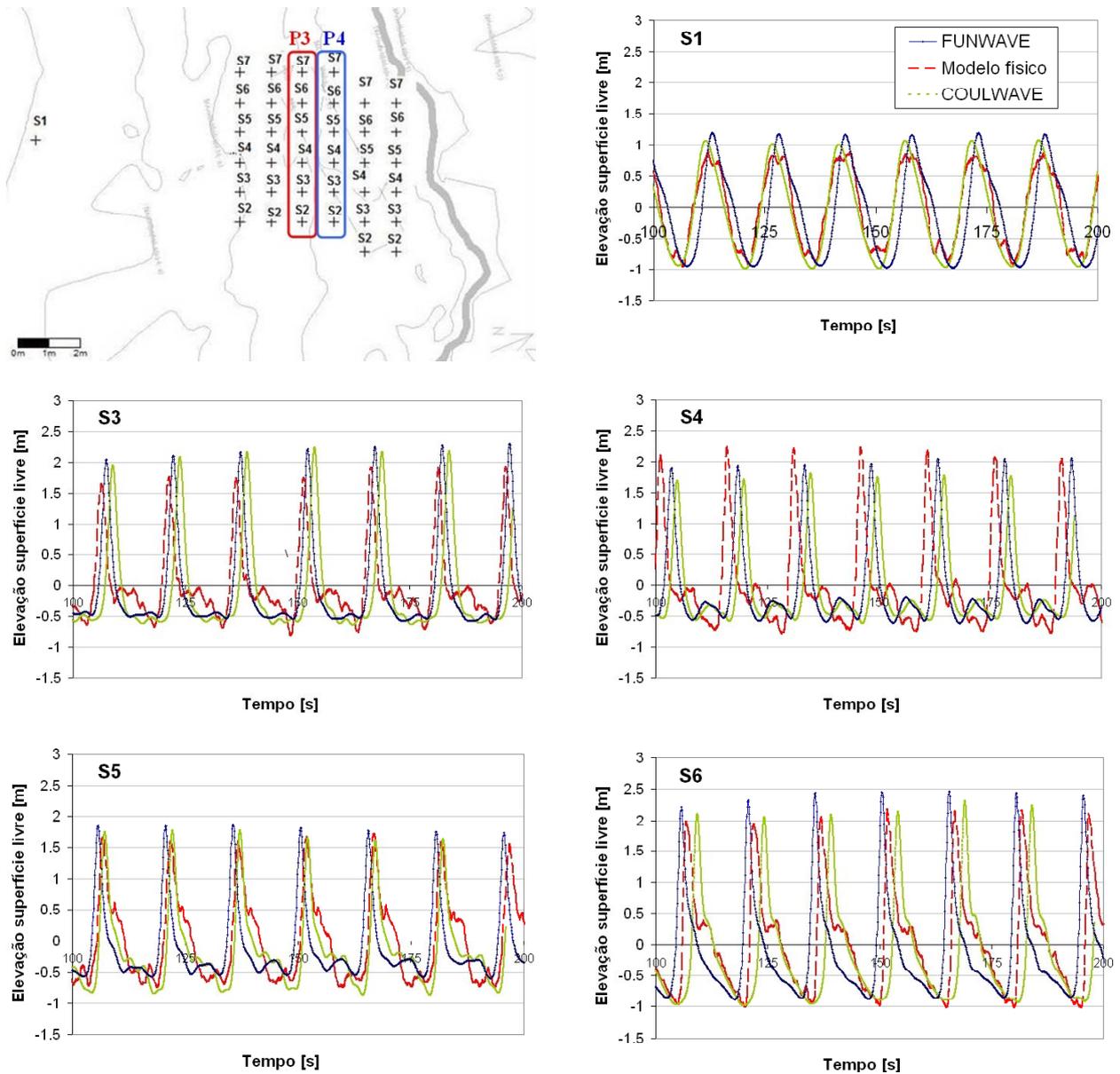


Figura 16. Séries de elevação da superfície livre para as sondas S1 e S3 a S6 colocadas na posição P3. Comparação entre o modelo físico e os códigos FUNWAVE e COULWAVE.

Figure 16. Time series of free surface elevation for gauges S3 to S6 located in the position P3. Comparison between the physical model and the numerical models FUNWAVE and COULWAVE.

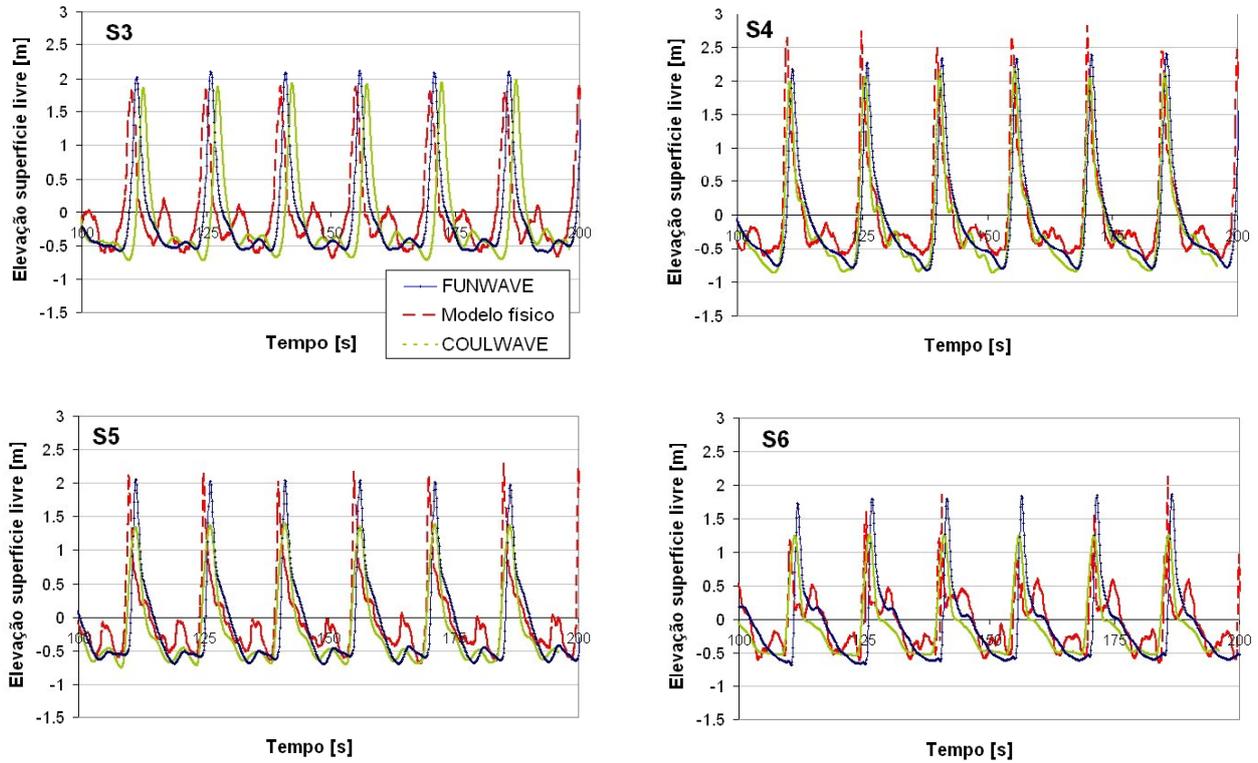


Figura 17. Séries de elevação da superfície livre para as sondas S3 a S6 colocadas na posição P4. Comparação entre o modelo físico e os códigos FUNWAVE e COULWAVE.

Figure 17. Time series of free surface elevation for gauges S3 to S6 located in the position P4. Comparison between the physical model and the numerical models FUNWAVE and COULWAVE.

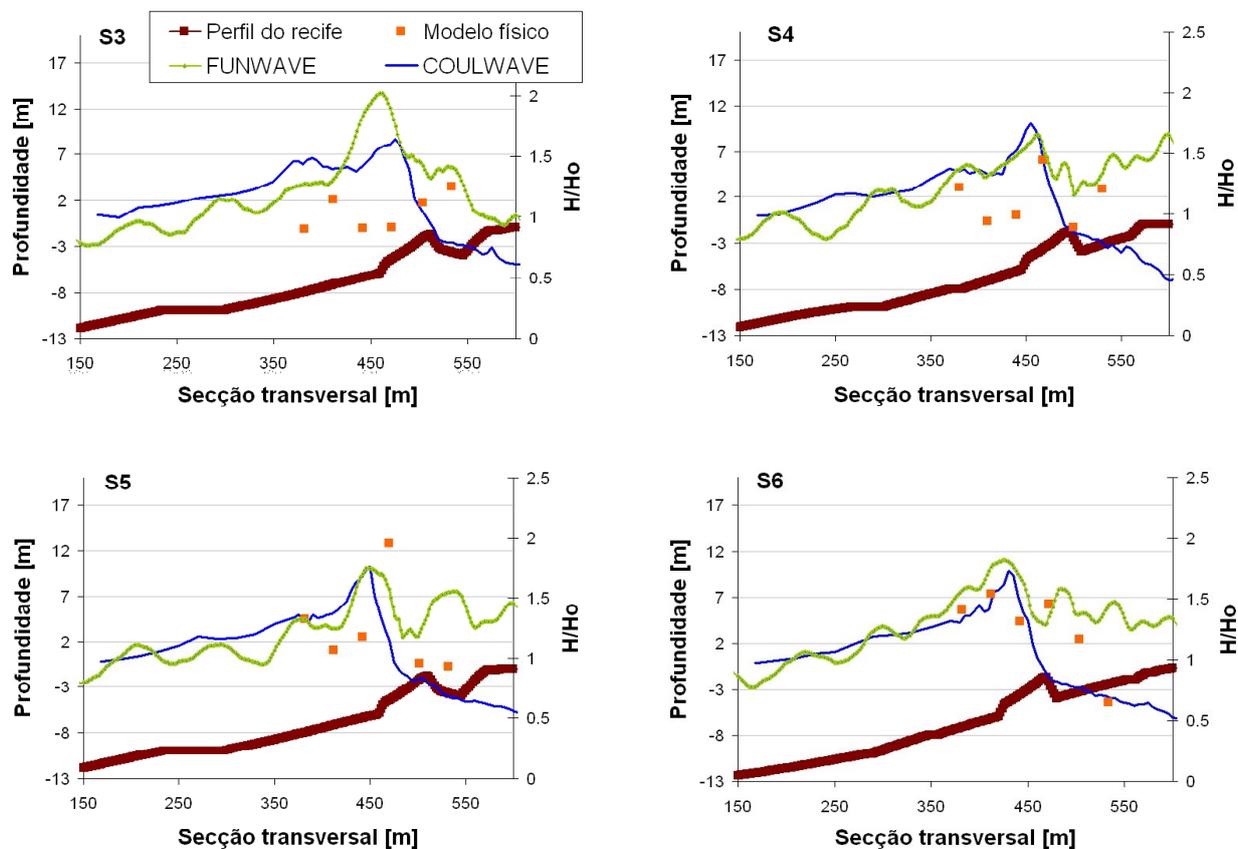


Figura 18. Códigos FUNWAVE e COULWAVE. Índices de agitação para  $T=19$  s,  $H=2.0$  m, nas secções transversais das sondas S3 a S6.

Figure 18. FUNWAVE and COULWAVE models. Breaking indexes for  $T=19$  s,  $H=2.0$  m, in cross sections with gauges S3 to S6.

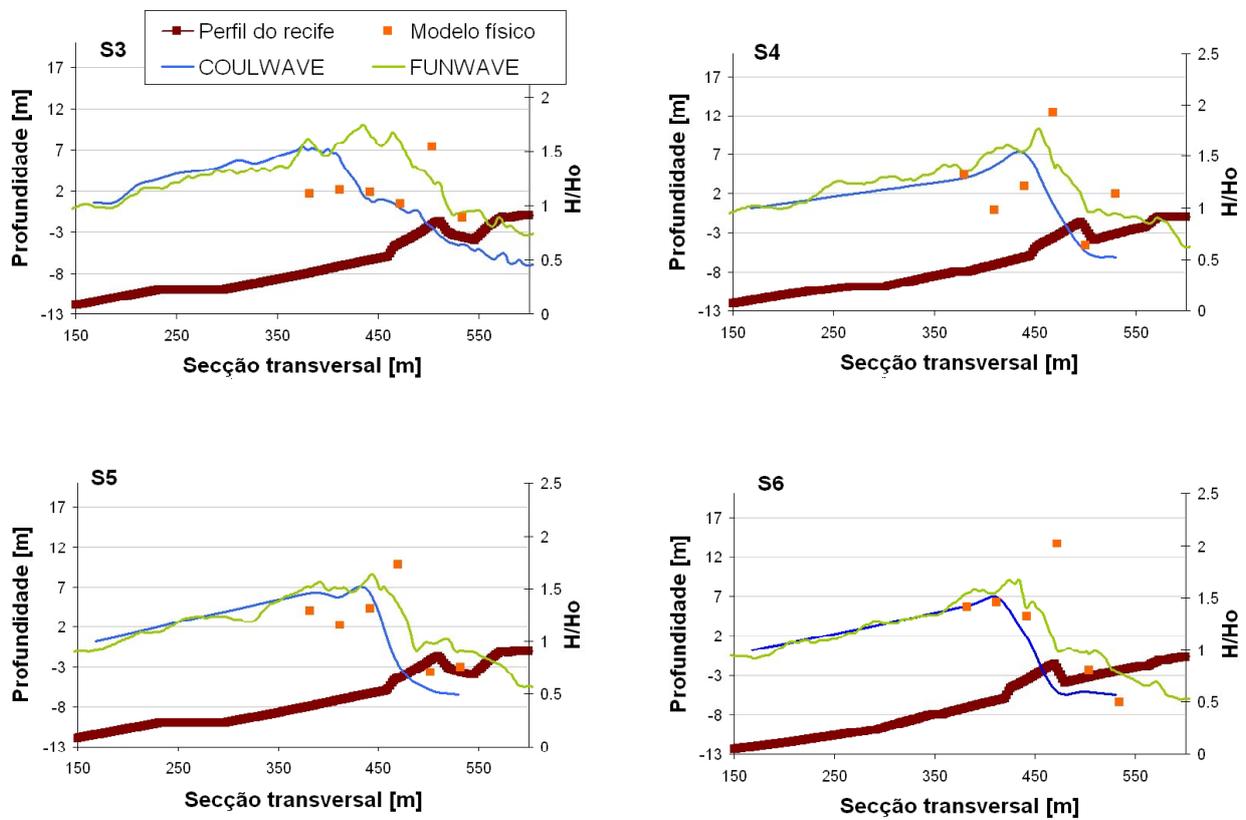


Figura 19. Códigos FUNWAVE e COULWAVE. Índices de agitação para  $T=19$  s,  $H=3.0$  m, nas secções transversais das sondas S3 a S6.

Figure 19. FUNWAVE and COULWAVE models. Breaking indexes for  $T=19$  s,  $H=3.0$  m, in cross sections for gauges S3 to S6.

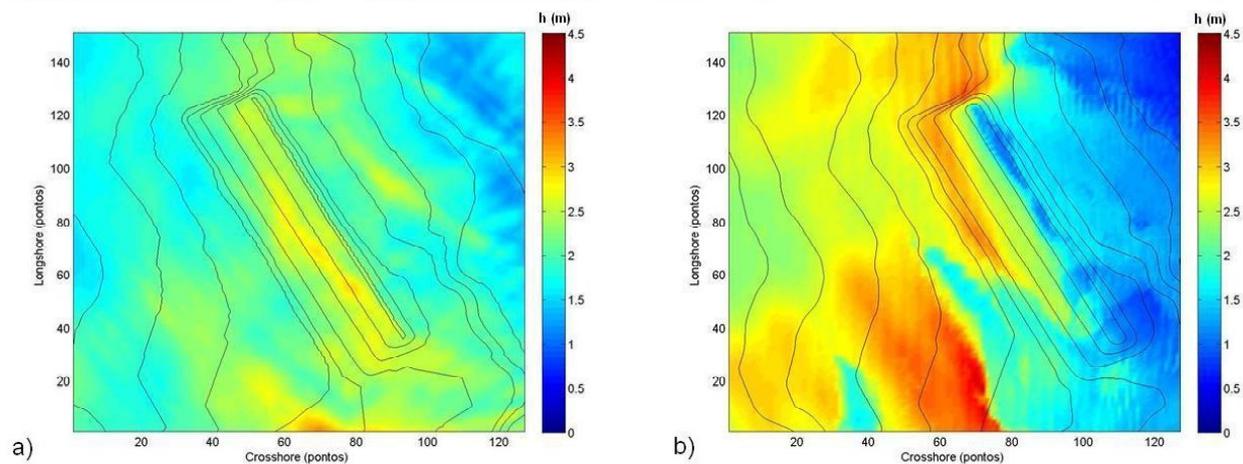


Figura 20. Alturas de onda: a) FUNWAVE; b) COULWAVE, para uma onda incidente,  $T=19$  s e  $H=2.0$  m.  
Figure 20. Wave height: a) FUNWAVE; b) COULWAVE, for an incident wave with  $T=19$  s and  $H= 2.0$  m.

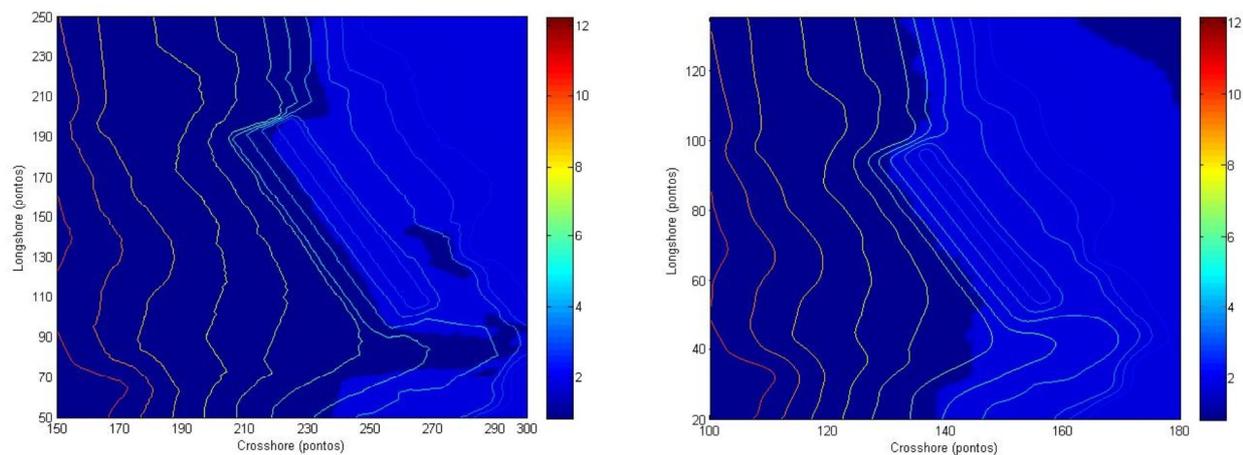


Figura 21. Zonas de rebentação: a) FUNWAVE; b) COULWAVE, para uma onda incidente,  $T=19$  s, e  $H=2.0$  m.  
Figure 21. Breaking locations: a) FUNWAVE; b) COULWAVE, for an incident wave with  $T=19$  s and  $H=2.0$  m.

Tabela 2. Relação entre o ângulo de rebentação e o nível de dificuldade da onda (Walker, 1974).

Table 2. Methodology to calculate the relation between the peel angle and the difficulty level of the surfing wave (Walker, 1974).

| Nível | Descrição   | $\alpha$ (°) |
|-------|---|--------------|
| 1     | Iniciados   | 90           |
| 2     | Iniciados capazes de surfar lateralmente ao longo da crista de rebentação         | 70           |
| 3     | Surfistas que conseguem aumentar a velocidade na face da onda                     | 60           |
| 4     | Surfista a aprender as manobras <i>standard</i> do surf                           | 55           |
| 5     | Surfistas capazes de realizar as manobras <i>standard</i> do surf numa única onda | 50           |
| 6     | Surfistas que executam manobras <i>standard</i> de surf consecutivamente          | 40           |
| 7     | Surfistas que executam manobras avançadas   | 29           |
| 8     | Surfistas profissionais   | 27           |

Tabela 3. Classificação do tipo de rebentação segundo o valor do número de Iribarren (Battjes, 1974).

Table 3. Categorization of the breaking type using the Iribarren number (Battjes, 1974).

| Tipo de rebentação | Número de Iribarren |
|--------------------|---------------------|
| Progressiva        | $\xi_b < 0.4$       |
| Mergulhante        | $0.4 < \xi_b < 2.0$ |
| De fundo           | $\xi_b > 2.0$       |

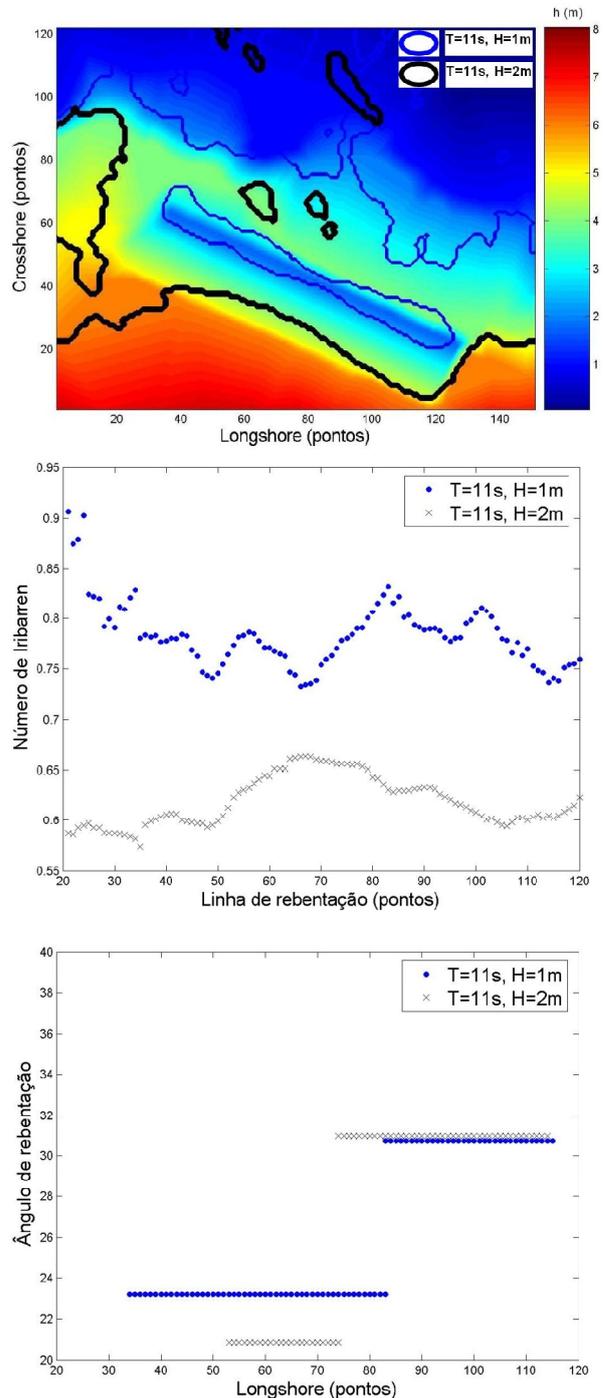


Figura 22. Código FUNWAVE, onda incidente de T=11 s, H=1 m e T=11 s H=2 m. Comparação entre a posição da linha de rebentação, o número de Iribarren e o ângulo de rebentação.

Figure 22. FUNWAVE model, incident wave of T=11 s, H=1 m and T=11 s, H=2 m. Comparison for breaking locations, Iribarren number and peel angle.

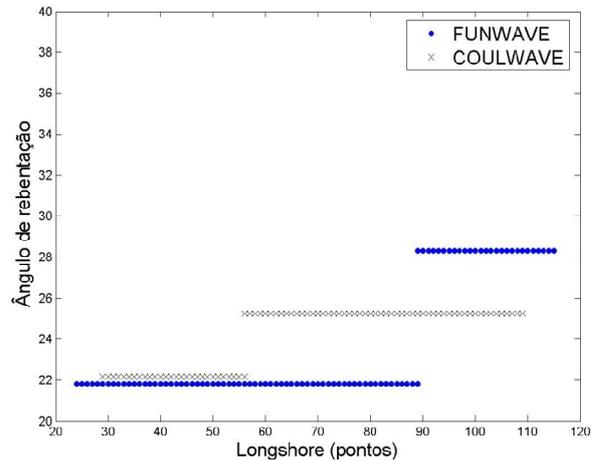
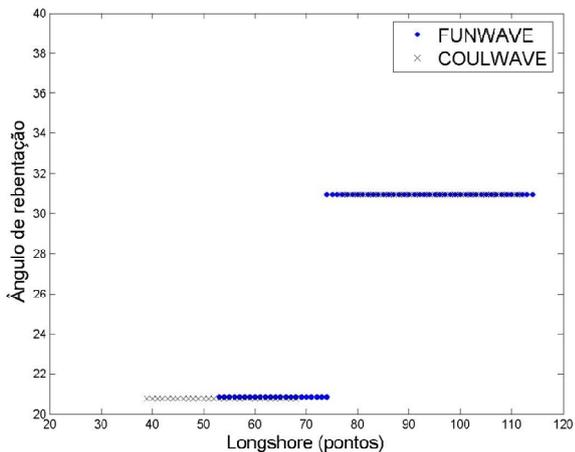
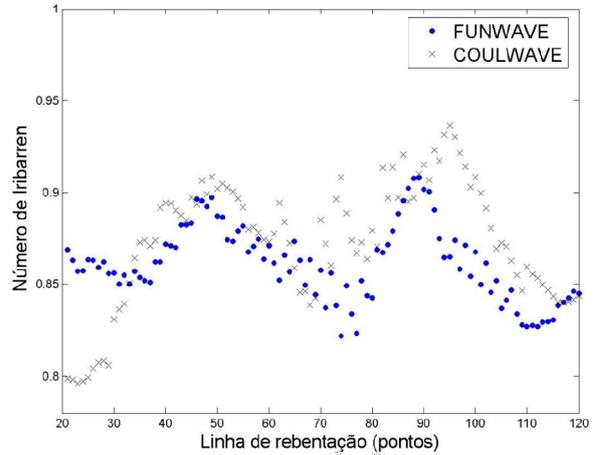
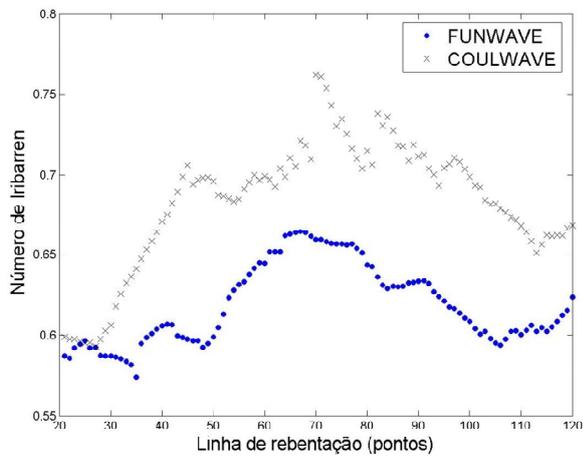
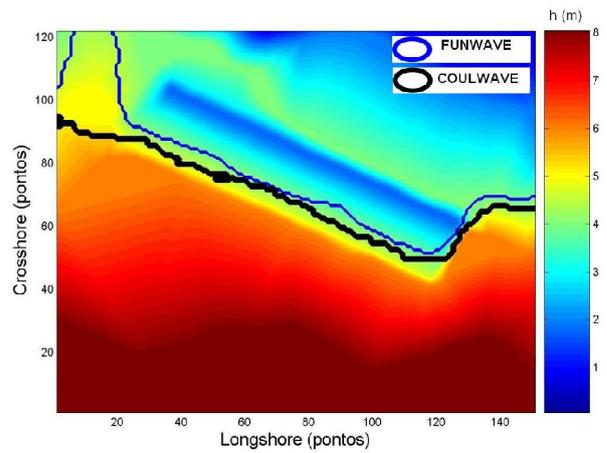
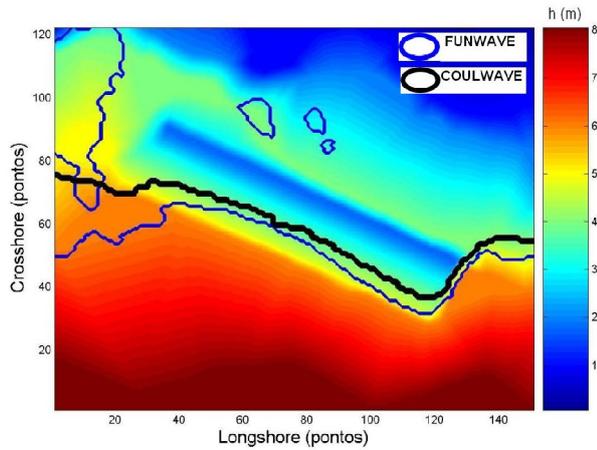


Figura 23. Códigos FUNWAVE e COULWAVE, onda incidente de  $T=11$  s,  $H=2$  m. Comparação entre a posição da linha de rebentação, o número de Iribarren e o ângulo de rebentação.

Figure 23. FUNWAVE and COULWAVE, incident wave of  $T=11$  s,  $H=2$  m. Comparison between breaking lines, Iribarren number and peel angle.

Figura 24. Códigos FUNWAVE e COULWAVE, onda incidente de  $T=15$  s,  $H=2$  m. Comparação entre a posição da linha de rebentação, o número de Iribarren e o ângulo de rebentação.

Figure 24. FUNWAVE and COULWAVE, incident wave of  $T=15$  s,  $H=2$  m. Comparison between breaking lines, Iribarren number and peel angle.

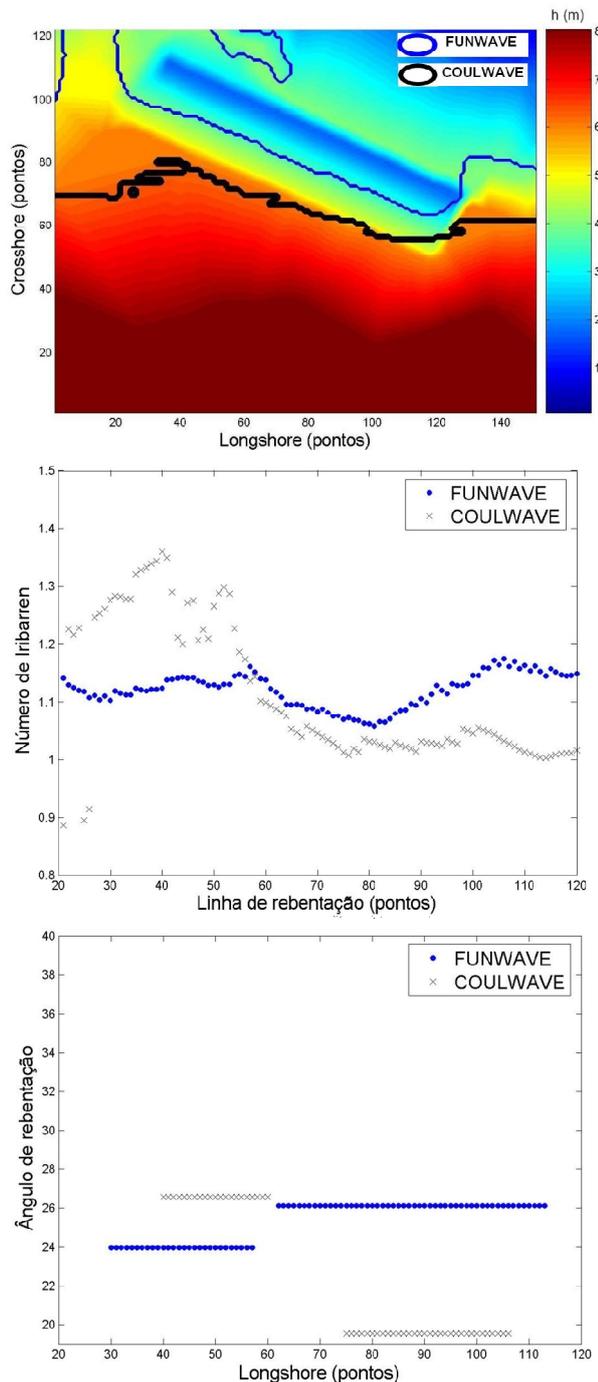


Figura 25. Códigos FUNWAVE e COULWAVE, onda incidente de  $T=19$  s,  $H=2$  m. Comparação entre a posição da linha de rebentação, o número de Iribarren e o ângulo de rebentação.

Figure 25. FUNWAVE and COULWAVE, incident wave of  $T=19$  s,  $H=2$  m. Comparison between breaking lines, Iribarren number and peel angle.

## 6. CONCLUSÕES

Neste artigo apresenta-se a aplicação de dois códigos numéricos baseados nas equações de Boussinesq estendidas (FUNWAVE e COULWAVE) ao estudo da hidrodinâmica em torno de um recife artificial para a prática do surf em São Pedro do Estoril, Cascais, Portugal. Os resultados obtidos foram comparados com os dados provenientes de ensaios em modelo físico realizados no LNEC para este caso de estudo, permitindo avaliar a forma como os modelos reproduzem a propagação e deformação de ondas sobre o recife.

A comparação dos resultados numéricos e experimentais foi realizada em termos das séries de elevação da superfície livre e das respectivas alturas de onda obtidas ao longo do domínio de cálculo. De um modo geral, os modelos reproduzem bem a forma da elevação da superfície livre para as condições de agitação e nível de maré analisados. No entanto, verifica-se que a rebentação ocorre, nos modelos numéricos, geralmente antes (no espaço) do que modelo físico. Dado que ambos os modelos apresentam algumas limitações na simulação da rebentação de ondas, a qual está fortemente dependente dos parâmetros intrínsecos ao modelo de rebentação e que devem ser calibrados para cada caso, verificou-se ser necessário efectuar uma análise de sensibilidade mais detalhada da influência destes parâmetros nos resultados dos modelos de forma a escolher adequadamente os valores a utilizar em cada caso.

Finalmente, e apenas com base nos resultados numéricos, determinaram-se os parâmetros de surfabilidade (ângulo de rebentação e tipo de rebentação) que caracterizam o funcionamento do recife para a prática do surf. Verificou-se que os resultados dos modelos para os casos testados, no que se refere a estes dois parâmetros, são bastante semelhantes, ambos prevendo uma rebentação do tipo mergulhante e um valor do ângulo de rebentação ao longo da linha de rebentação inferior a  $32^\circ$ . Estes resultados, tal como com os resultados do modelo físico para estes casos, indicam que o recife induz boas condições para a prática de surf.

Embora os resultados dos modelos possam ser melhorados com uma escolha mais adequada dos

parâmetros do modelo, os códigos FUNWAVE e COULWAVE mostraram ser uma ferramenta adequada para o estudo da hidrodinâmica em torno de um recife artificial para a prática do surf e do seu funcionamento. Assim, considera-se que estes modelos são adequados para otimizar uma solução preliminar de recife (geometria e localização do recife), a ser ensaiada posteriormente em modelo físico.

#### AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito dos projectos de investigação “Novos conceitos de protecção para a costa Portuguesa” (PTDC/ECM/66516/2006) e “Interacção entre a rebentação das ondas e o transporte de areias” (PTDC/ECM/67411/2006) financiados pela FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, Portugal.

#### BIBLIOGRAFIA

- Battjes, J.A., 1974. Computation of set-up, longshore currents, run-up and overtopping due to wind-generated waves. Ph. D. thesis. Technical University of Delft.
- Bicudo, P., Cardoso, N., 2007a. Modelação numérica para a orientação e declive do topo do recife, Relatório CMC/IST/FCUL/LNEC- MOD\_IST/07 -30/11/2007.
- Bicudo, P., Cardoso, N., 2007b. Parâmetros para a implantação do modelo físico do recife para o surf de São Pedro no tanque de ondas do LNEC, Relatório CMC/IST/FCUL/LNEC- COOR/15 -30/11/2007.
- Chen, Q., Kirby, J. T., Dalrymple, R. A., Kennedy, B. A., Chawla, A., 2000. Boussinesq modeling of wave transformation, breaking, and runup. II: 2D. *J. Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 126, 48–56.
- Dalrymple, R. A., Kirby, J. T., 1991. REFDIF 1, Version 2.3, Documentation Manual. Combined Refraction/Diffraction Model. CARC Report 91-91, Univ. Delaware.
- Fortes, C.J., Capitão, R., Neves, M.G., Monteiro, P.P., Mendes, L.S., 2007. Viabilidade da implementação de um recife artificial para a prática de surf na praia de São Pedro do Estoril e criação de uma estrutura de protecção e amarração do submarino Barracuda. Estudos de modelação numérica e física. Regimes de agitação marítima. Relatório 172/07–NPE, LNEC, Abril.
- Fortes, C. J., Neves, M. G., Mendonça, A., Pinheiro, L., Lourenço, M., Monteiro, P., Palha, A., Bicudo, P., Cardoso, N., 2008a. An artificial surfing reef in São Pedro do Estoril beach, Portugal. Numerical and physical modeling studies. Proc. Int Conf in Coastal Engineering, Hamburg, 30 Aug to 5 Sep.
- Fortes, C.J.E.M., Neves, M.G., Pinheiro, L., 2008b. Viabilidade da implementação de um recife artificial para a prática de surf na praia de São Pedro do Estoril e criação de uma estrutura de protecção e amarração do submarino Barracuda. Estudos de modelação numérica e física. Estudo, em modelo físico, da solução para o recife artificial para surf. Relatório 373/2008-NPE, LNEC, Novembro.
- Fortes, C. J., Okamoto, T., Palha, A.C., 2007. Análise da formulação da rebentação no modelo FUNWAVE. Proc. 5<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Lisboa 11-12 Outubro.
- Hughes, S.A., 1993. Physical models and laboratory techniques in coastal engineering. Singapore: World Scientific, 568 pp.
- Hutt, J.A., Black, K.P., Mead, S.T., 2001. Classification of surf breaks in relation to surfing skill. In: Black, K.P. (ed.), Natural and Artificial reefs for Surfing and Coastal Protection. *Journal of Coastal Research Special Issue No. 29*, pp. 66-81.
- Kamphuis, J. W., 1996. Physical modelling of coastal processes. *Advances in Coastal and Ocean Engineering*, Singapore: World Scientific, 79-114.
- Kennedy, A.B., Chen, Q., Kirby, J.T., Dalrymple, R.A., 2000. Boussinesq Modeling of Wave Transformation, Breaking and Runup I: 1D. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, Vol. 126, No. 1, Janeiro/ Fevereiro, 39-47.
- 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. Research Report No.CACR-98-06. Center for Applied Coastal Research, University of Delaware.
- Korthenhaus, A., Van der Meer, J., Burchart, H.F., Geeraerts, J., Pullen, T., Ingram, D., Troch, P., 2005.

- Quantification of Measurement Errors, Model and Scale Effects related to Wave Overtopping. CLASH report, 56 pp.
- Lynett, P., Liu, P.L.-F., 2004. Modelling wave generation, evolution and interaction with Depth-Integrated, Dispersive Wave equations. COULWAVE Code Manual. Cornell Univ. Long Inter. Wave Modelling Package.
- Toumazis, A.D., Anastasious, K., 1990. Scale effects in Breaking waves. Proc. Coastal Engineering, vol 1, 973-985
- Walker, J. R., 1974. Recreational surf parameters. Tech. Report 30. University of Hawaii, James K. K. Look Laboratory of Oceanographic Engineering.
- Walker, J. R., 1974. Recreational surf parameters. Tech. Report 30. University of Hawaii, James K. K. Look Laboratory of Oceanographic Engineering.
- Wei, G., Kirby, J. T., Sinha, A., 1999. Generation of waves in Boussinesq models using a source function method, Coastal Engineering, 36, 271-299.
- Wei, G., Kirby, J. T., Grilli, S. T., Subramanya, R., 1995a. A fully nonlinear Boussinesq model for surface waves. I: Highly nonlinear, unsteady waves. J. Fluid Mech., Cambridge, England, 294, 71-92.
- Wei, G., Kirby, J. T., Grilli, S.T., Subramanya, R., 1995b. A time-dependent numerical code for extended Boussinesq equations, J. Waterway, Port, Coastal Ocean Engng. 120: 251-261, 1995.
- Zelt, J. A., 1991. The run-up of nonbreaking and breaking solitary waves, Coastal Engrg., 15, 205-246.





## Avaliação Qualitativa do Desempenho dos Recifes Artificiais Multifuncionais (RAM)

### *Analysing the Performance of the Multi-Functional Artificial Reefs*

Bruno I. Simioni<sup>1</sup>, Luciana S. Esteves<sup>@.2</sup>

---

#### RESUMO

Os recifes artificiais multifuncionais (RAM) visam beneficiar um maior número de usuários por propiciarem múltiplos usos, incluindo: proteção costeira, aumento da biodiversidade local, melhoria da qualidade das ondas para o surfe e promoção do turismo ligado aos esportes aquáticos. Embora as suas múltiplas funções tenham ressonância na gestão costeira integrada, é a sua ligação com o surfe que lhe confere o maior apelo público. Por ser um conceito recente (o primeiro foi construído em 1999) e serem poucos os projetos existentes, a literatura disponível sobre os RAM ainda é limitada, sendo na sua maioria relatórios técnicos e artigos sem revisão científica produzidos pelos profissionais que desenvolvem e comercializam os RAM. O surfe é uma atividade econômica lucrativa em diversas localidades, onde há um crescente debate e interesse na instalação de RAM (e.g. São Pedro do Estoril, Portugal). Desta forma, faz-se necessário avaliar de forma independente o desempenho dos RAM em promover suas múltiplas funções. Este estudo analisa o desempenho dos seis projetos de RAM existentes (quatro construídos e dois em construção) em promover a melhoria das condições de surfe, a proteção costeira, o aumento da biodiversidade e o incremento no turismo. Adicionalmente, o processo de implantação dos RAM é avaliado com base nas diretrizes da gestão costeira integrada utilizando-se a literatura científica disponível e meios de expressão da opinião pública. Este estudo mostra que existem poucos estudos de monitoramento independentes que possibilitem quantificar o desempenho dos RAM. A função melhor estudada é a resposta da linha de costa à presença do recife, enquanto a qualidade do surfe pode ser analisada apenas qualitativamente através da opinião pública. Não há estudos publicados ou fontes de informação que possibilitem a análise quantitativa sobre os efeitos na biodiversidade ou no retorno econômico dos RAM. Os resultados indicam que os RAM têm apresentado desempenho variável tanto na função de proteção costeira, quanto na melhoria da qualidade do surfe. Estudos de monitoramento sugerem que houve um efetivo aumento na largura da praia adjacente ao recife em Narrowneck, mas possivelmente tratou-se de um efeito direto do engorde artificial e não necessariamente provocado pela presença do

---

@ - autor correspondente: luciana.esteves@plymouth.ac.uk

1 - University of Plymouth. Afiliação atual: Laboratório de Estudos Costeiros, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR, Brasil; brunoivan@gmail.com

2 - School of Geography, University of Plymouth, Plymouth, PL4 8AA UK.

recife. Em relação ao surfe, a percepção dos surfistas tende a ser predominantemente negativa sobre a eficiência dos RAM em melhorar a qualidade das ondas. Embora o processo de implementação tenha sido variável entre os projetos existentes, pode-se observar pontos em comum, incluindo: o objetivo principal da construção dos RAM é a melhoria das ondas para o surfe; a consulta pública é inexistente ou realizada em estágios tardios para consolidação da escolha já feita; análises de viabilidade e custo-benefício são produzidas pelos empreendedores; estudos de impactos ambientais se realizados, não estão disponíveis; custos da obra final excede o orçamento inicial e não existem estudos independentes sobre o retorno financeiro resultante da instalação dos RAM. É urgente desenvolver protocolos de monitoramento pré- e pós-construção dos RAM, bem como aumentar o número de estudos independentes que possibilitem quantificar os seus impactos nos processos costeiros e na economia local.

Palavras-chave: recifes artificiais multifuncionais, surfe, proteção costeira, gestão costeira integrada

### ABSTRACT

It is frequently claimed that artificial surfing reefs (ASRs) provide coastal defence, improvement of biodiversity, enhancement of surfing and boosting the local economy related to water sports and tourism. Although such functionality may have resonance in integrated coastal management (ICZM), the main public appeal is related to its effects on surfing. ASRs are a relatively new concept (the first was built in 1999) and available references mostly comprise technical reports and articles with no peer review. Further, the majority are authored by professionals involved with the development and commercialization of ASRs. With an increasing interest in the development of new ASRs (e.g. São Pedro do Estoril, Portugal), it is now important that objective and independent studies are undertaken to analyse the performance of ASRs for surfing enhancement and for the other benefits claimed. This study evaluates the effects of the six existing artificial reef projects (four of them built and two in construction process) on the quality of waves for surfing, coastal protection, biodiversity and tourism. Moreover, the implementation processes for ASRs are analysed taking into consideration the principles of ICZM. The sources of information used include the relevant existing literature and a range of other sources which allow assessment of public opinion (e.g. internet discussion boards, online local newspapers, websites about surfing etc.). The findings demonstrate that only a few independent monitoring studies have quantified the ASR performance objectively. The results reveal that ASRs have variable performances both for coastal protection and improving surfing waves. More than three years of monitoring of the shoreline response adjacent to the Narrowneck reef in Australia indicates that the beach width has increased. However, this may all be attributed to local beach nourishment. Surfer's perceptions are mixed and generally express negative views regarding the reefs' performance. Studies quantifying the enhancement of biodiversity or the economic revenue attributable to the reef are very limited or absent. Only one study have addressed the issue of biodiversity enhancement, and suggested that the Narrowneck reef might have helped improving the local productivity. However, the reef still had lower biodiversity than adjacent natural reefs. Even though implementation processes have been variable among the projects, there are several common elements: reefs have been built with the main aim of surfing improvement; public involvement in the decision-making process is absent or limited to consultation at late stages in the process; feasibility and cost-benefits analysis are produced by the developers; environmental impact assessments are not widely available if at all; final budgets surpass initial estimate of costs; and there are no independent studies to assess the financial benefits accruing from ASRs. This paper therefore suggests that it is now a priority to establish protocols to: (a) regulating the implementation of ASRs; and (b) define standards for monitoring studies pre- and post-reef construction (preferably conducted independently) with the objective of quantifying its environmental and socio-economic impacts.

*Keywords:* artificial surfing reef, surf, coastal protection, integrated coastal management

---

## 1. INTRODUÇÃO

Estima-se que atualmente entre 40% (Martínez et al., 2007) e 60% (von Bodungen & Turner, 2001) da população mundial esteja concentrada em uma faixa de 100 km a partir da linha de costa. O crescimento populacional tem sido considerado uma das maiores ameaças à sustentabilidade das zonas costeiras (Duxbury & Dickinson, 2007), pois resulta

no aumento da demanda por recursos naturais, agrava a competição por espaço e gera conflitos de uso. Sabe-se que a necessidade de gestão torna-se urgente quando a demanda de recursos é maior que a oferta. Assim, a gestão costeira integrada é hoje essencial na resolução de conflitos gerados pelos múltiplos usos proporcionados pelos ambientes costeiros. Esses múltiplos usos incluem expansão urbana, desenvolvimento industrial, extração de recursos

naturais, turismo, esportes e outras atividades que, em conjunto, acabam sustentando a economia local e regional. A ocupação humana e a dependência econômica das atividades litorâneas resultaram na necessidade crescente de controlar o caráter dinâmico dos processos costeiros através de obras de engenharia que visam controlar a erosão, reduzir o risco de inundação ou melhorar a navegabilidade.

Invariavelmente, as obras de engenharia costeira funcionam por alterar o comportamento das ondas e correntes costeiras, interferindo no balanço hidrodinâmico e sedimentar local. Assim, a mesma obra pode, inadvertidamente ou não, causar impactos positivos e negativos em segmentos costeiros adjacentes (e.g. Burchartch & Hughes, 2002). Entre os impactos negativos estão: provocar erosão à jusante de espigões ou molhes, acelerar a sedimentação em baías e estuários, interferir no aporte sedimentar à costa e reduzir a qualidade das ondas para o surfe, como em El Segundo, Califórnia (Borrero & Nelsen, 2003). Em algumas situações, a construção de espigões e quebra-mares resultam em melhores condições para o surfe, como em Kirra Point, Austrália (Ranasinghe et al., 2001; Borrero & Nelsen, 2003).

Os Recifes Artificiais Multifuncionais (RAM) representam um novo conceito de engenharia costeira que tem o objetivo de propiciar múltiplos usos e beneficiar um maior número de usuários potenciais. Alega-se que os RAM podem melhorar a qualidade das ondas para o surfe, promover proteção costeira, criar espaços para mergulho e outros esportes aquáticos, bem como aumentar a biodiversidade local, trazendo assim valor econômico agregado através do turismo, tornando o empreendimento auto-sustentável (Ten Voorde et al., 2009; Hiliau & Phillips, 2003; Mead & Black, 2002). Devido à multiplicidade de funções que incorporam, a implementação dos RAM pode ter várias implicações positivas e negativas ao ambiente e à sociedade, portanto são excelentes casos de estudo para testar os princípios da gestão costeira integrada.

A idéia de multifuncionalidade em obras de engenharia costeira tem boa ressonância nos princípios de gestão costeira integrada e, ao promover o surfe, os RAM têm grande apelo público, principalmente aos praticantes do esporte e aos que vêem o surfe como uma atividade econômica a ser

explorada. Até abril de 2009, existiam apenas três projetos de RAM concluídos e em funcionamento, um projeto concluído que foi desativado e removido em 2008 e dois projetos em construção. Por ser um conceito relativamente recente e serem poucos os projetos existentes, a literatura sobre os RAM é limitada, sendo na sua grande maioria produzida por profissionais ligados às companhias que os projetaram e/ou construíram. Estudos independentes analisando a performance dos RAM nas suas diferentes funções e seus impactos ambientais e econômicos são praticamente inexistentes. Vários locais em diversos continentes têm demonstrado interesse em ser um dos primeiros do mundo a ter tais estruturas, de forma que se faz necessário e urgente estudar e monitorar os impactos e a eficiência dos RAM.

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho dos RAM existentes em promover as suas múltiplas funções, incluindo: melhora das condições de surfe, proteção costeira, aumento da biodiversidade e incremento no turismo. O processo de planejamento e implantação dos RAM também será analisado em função das diretrizes da gestão costeira integrada (e.g. EC, 2002) utilizando-se a literatura científica disponível e meios de expressão da opinião pública (e.g. jornais, fóruns de discussão, páginas da internet sobre surfe etc.). A opção por tal abordagem restringe a análise a certos grupos de usuários e tem caráter puramente qualitativo, mas é justificada pela inexistência de dados quantitativos que possam ser utilizados para avaliar o desempenho de tais obras.

## 2. LITERATURA DISPONÍVEL SOBRE OS RAM

A literatura existente sobre os RAM é relativamente recente e ainda muito limitada, já que o primeiro recife multifuncional está completando apenas uma década, tendo sido construído em 1999 em Perth, Austrália. Em abril de 2009, uma procura por trabalhos científicos em banco de dados disponíveis a instituições acadêmicas, i.e. Web of Knowledge e ScienceDirect, usando-se os termos artificial surfing reef e multipurpose artificial reef resultou em um total de 14 artigos científicos. Dentre eles, incluem-se três estudos que abordam variações da linha de costa, quatro estudos usando resultados de modelagem para analisar as modificações nas

características das ondas devido à presença de recifes (artificiais ou não), três estudos sobre técnicas de monitoramento costeiro (que incluem áreas onde RAM estão instalados), três propostas de implementação de RAM (Dubai, Portugal e Nova Zelândia) e um estudo sobre reurbanização de áreas portuárias. Nenhum estudo científico publicado apresenta resultados sobre o desempenho dos RAM já construídos na qualidade das ondas, em atrair maior número de visitantes ou impulsionar a economia. Há porém um maior número de trabalhos sobre RAM publicados em anais de congressos (especialmente o International Multi-Purpose Reef Conference), que geralmente não são submetidos à revisão científica, têm distribuição restrita e na sua maioria foram produzidos por profissionais ligados a empresas que desenvolvem ou constroem os RAM e seus colaboradores. Adicionalmente, grande parte desses estudos apresenta resultados de modelagem ou estudos de viabilidade. Sendo assim, a busca de informações na internet (e.g. fóruns de discussão, jornais e sítios de associações de surfe da Austrália, Nova Zelândia e Estados Unidos) foi a única maneira encontrada de avaliar independentemente (ainda que qualitativamente) a percepção pública e comparar o desempenho dos RAM existentes atualmente.

### 3. OS RAM EXISTENTES

O conceito dos RAM foi desenvolvido pelo neozelandês Kerry Black, fundador e diretor da companhia Amalgamates Solutions and Research Limited (ASR Ltd) que comercializa os projetos mundialmente. Os dois primeiros RAM foram construídos na Austrália, em 1999 em Cable Station (próximo de Perth) e em 2000 na praia de Narrowneck (Gold Coast), mostrados na figura 1. O RAM conhecido como Pratte's Reef (Figura 2) foi o primeiro a ser construído no hemisfério norte, em 2001, na praia Dockweiler, em El Segundo, Califórnia (Estados Unidos), mas foi removido em outubro de 2008 por não ter atingido os objetivos esperados (Coastal Frontier Corporation, 2008). O RAM de Mount Maunganui na Nova Zelândia (Figura 2) começou a ser construído em novembro de 2005 e foi finalizado em junho de 2008, após ter sido necessária a substituição de dois grandes geotêxteis que sofreram ruptura em 2006. O recife de Boscombe,

na Inglaterra (Figura 3), teve sua construção iniciada em julho de 2008 e finalizada em novembro de 2009. A construção do RAM localizado em Opunake, Nova Zelândia (Figura 2), iniciou em 2006 e a finalização do projeto era esperada para 2009, no entanto até janeiro de 2010 o RAM ainda não havia sido concluído.

Segundo os criadores dos recifes multifuncionais artificiais (Mead & Black, 2002), os potenciais benefícios gerados pelos RAM são:

- ✓ melhores condições de ondas para o surfe;
- ✓ aumento da biodiversidade e biomassa de organismos marinhos pela criação de habitats;
- ✓ proteção costeira através do aumento da largura da praia adjacente ao RAM; e
- ✓ benefícios econômicos através do aumento do turismo e da pesca.

Não existem estudos que apontem as potenciais implicações negativas decorrentes dos RAM, outros que o fracasso da obra em atingir seus objetivos. De qualquer forma, pode-se supor que, por alterarem as características locais das ondas e correntes, os RAM possam interferir no transporte sedimentar similarmente ao efeito causado pelos quebra-mares. Os RAM podem atuar como uma obra de proteção costeira, pois dissipam a energia das ondas que chegam à costa reduzindo o transporte longitudinal e promovendo a deposição de sedimentos na praia adjacente. Desta forma, o sedimento ali depositado deixa de contribuir para o balanço sedimentar de áreas à jusante da corrente de deriva, resultando em erosão (e.g. French, 2001). Como outras obras costeiras, os RAM também podem provocar deposição ou erosão excessiva, de forma a interferir na integridade da estrutura por soterramento ou subsidência (e.g. Fredsoe & Sumer, 1997; USACE, 2006). É possível imaginar também que, por invocar o múltiplo uso de uma área costeira específica e visar atrair um maior número de turistas, os RAM potencialmente podem aumentar a demanda por recursos naturais, gerar conflitos entre os diferentes usuários e resultar em sobre-exploração turística.

Embora a multifuncionalidade seja o princípio que sustenta os RAM como uma proposta alternativa às obras de engenharia costeira tradicionais, é a sua aplicação para incrementar o surfe que tem o maior



Figura 1. Os RAM construídos na Austrália localizam-se em Cable Station, Perth, Western Austrália (1) e em Narrownneck, Gold Coast, Queensland (2). Os círculos amarelos indicam a posição do recife.

Figure 1. The RAM built in Australia are located at Cable Station, Perth, Western Austrália (1) and narrownneck, Gold Coast, Queensland (2). The yellow circles indicate the position of the reef.

apelo público e tem sido o motivo principal da sua construção. As principais características dos seis RAM existentes (concluídos ou em construção) são apresentadas abaixo, incluindo: o objetivo principal da sua construção; o desempenho em relação à proteção costeira, melhora da qualidade das ondas para o surfe e biodiversidade e o processo participativo no processo de implementação.

### 3.1 Cable Station (Perth, Austrália)

O recife de Cable Station (cuja localização é mostrada na Figura 1) foi construído em 1999 com o objetivo de melhorar as condições para o surfe (Tabela 1). A estrutura consistiu em blocos de granito arranjados em forma de “V” (com volume total de 5.000 m<sup>3</sup>) assentados sobre um recife natural, modificando a topografia do fundo. O projeto teve um custo total de AU\$1.8 milhões (Jackson & Corbett, 2007), equivalente a cerca de €980.000 em janeiro de 1999 (taxa de câmbio obtida em Economagic.com, 2009) e foi financiado pelo governo da região de Western Australia. A construção do recife resultou de pressão exercida por organizações ligadas ao surfe em função do uso intenso de certas áreas onde conflitos entre surfistas, banhistas e pescadores eram frequentes. A escolha do local para a construção do recife levou em consideração os seguintes fatores: a estabilidade da linha de costa, a ausência de conflitos entre usuários (área não propícia para pesca ou banho), acesso à praia e possíveis impactos ambientais (Pattiaratchi, 2003). O processo de participação pública consistiu na disponibilização dos critérios de construção para as partes interessadas.

Análises de dados de ondas e imagens obtidas por webcam durante 16 meses a partir da construção do recife indicaram que o desempenho em aumentar a qualidade das ondas para o surfe foi igual ou superior ao previsto no projeto (Pattiaratchi, 2003). Este autor relata que, em 1999, foram observados 178 dias em que ondas quebraram sobre o recife, sendo que em 142 dias, as ondas foram consideradas surfáveis. O mesmo autor ressalva que o número de dias surfáveis por ano depende da variabilidade interanual do clima de ondas. Na avaliação apresentada por Pattiaratchi, não há referências ao número de dias surfáveis existentes no local antes da construção do recife ou comparações com o número de dias surfáveis em

praias adjacentes. Assim, a avaliação da eficiência do recife em melhorar as condições para o surfe fica limitada. De forma geral, os comentários recolhidos em sítios da internet relatam que: (a) o recife produz boas ondas, predominantemente no inverno, mas a frequência depende de condições oceânicas favoráveis e (b) há um grande número de surfistas no recife nos dias de boas ondas (Life On Perth, 2007; Riptidemag, 2009; Surf-forecast.com, 2009). Não foram encontrados estudos sobre os efeitos do recife na morfodinâmica ou na largura da praia adjacente.

### 3.2 Narrowneck (Gold Coast, Austrália)

Para mitigar o problema de erosão e os danos econômicos causados durante tempestades, o governo de Gold Coast (Gold Coast City Council) desenvolveu em 1997 a “Estratégia de proteção das praias do setor norte de Gold Coast”, que incluía a construção de um recife artificial e o engorde da praia de Narrowneck utilizando 1.200.000 m<sup>3</sup> de areia (Turner et al., 2004). O recife artificial de Narrowneck (Figura 1) teve como objetivo principal a proteção costeira (aumentar a retenção de areia do engorde e provocar o alargamento da praia), sendo a melhoria das condições para surfe uma função secundária. A construção do recife começou em agosto de 1999 e foi concluída em dezembro de 2000 (Tabela 1), tendo um volume total de 70.000 m<sup>3</sup> e custo final de AU\$2,8 milhões (Jackson & Corbett, 2007), equivalente a cerca de €1,7 milhões em agosto de 1999 (taxa de câmbio obtida em Economagic.com, 2009). O recife é formado por 440 geocontentores preenchidos com areia, pesando entre 150 e 300 toneladas cada, colocados na sua maioria na fase inicial de construção, tendo sido necessário adicionar 25 unidades em novembro de 2001 e novamente em dezembro de 2002 para atingir a altura do recife desejada.

Utilizando imagens de câmeras do sistema ARGUS instalado em Narrowneck, Turner et al. (2004) analisaram as variações na largura da praia e a ocorrência da rebentação das ondas sobre o recife artificial. Os resultados mostraram que, entre janeiro e agosto de 2000, a largura da praia praticamente dobrou decorrente do engorde artificial; posteriormente, observou-se uma alternância entre períodos de erosão entre fevereiro e julho e acreção entre agosto e janeiro. Após três anos e meio de

Tabela 1. Características dos RAM existentes.

Table 1. Characteristics of the existing RAM.

| RAM   | Cable Station (Austrália)   | Narrowneck (Austrália)   | Pratte's* (EUA)                            | Mt. Maunganui (Nova Zelândia)  |
|---|---|--|--|--|
| Data de construção                                  | fevereiro a dezembro 1999   | agosto 1999 a dezembro 2000  | 2001                                       | novembro 2005 a abril 2008   |
| Custo (em €)  | 980.000   | 1.700.000  | 296.000                                    | 645.000  |
| Objetivo principal                                  | Melhora do surfe  | Proteção costeira e melhora do surfe                                     | Melhora do surfe                           | Melhora do surfe   |
| Material  | blocos de granito   | geo-contentores preenchidos por areia                                    | geotêxtil preenchidos por areia            | geo-contentores preenchidos por areia                                  |
| Dimensões   | 140m x 70m<br>5000m <sup>3</sup>                                    | 400m x 200m<br>70000m <sup>3</sup>                                       | 1600m <sup>3</sup>                         | 6500m <sup>3</sup>   |
| Efeito para a proteção costeira                     | Não aplicável   | Possivelmente efetivo  | Não aplicável                              | Não aplicável  |
| Melhora do surfe segundo estudos de monitoramento   | Melhora igual ou superior a prevista                                | Houve melhora, porém somente em condições ideais                         | Fraco, o recife não atingiu seus objetivos | Não disponível   |
| Melhora do surfe segundo opinião pública            | Controvertidas, predominam opiniões favoráveis                      | Controvertidas, predominam opiniões desfavoráveis                        | Unanimidade quanto ao fracasso do recife   | Controvertidas, predominam opiniões desfavoráveis                      |
| Efeitos na biodiversidade                           | Não disponível  | Possível incremento da produtividade local                               | Não disponível                             | Não disponível   |
| Avaliação dos benefícios econômicos pós- construção | Não disponível  | Não disponível   | Não disponível                             | Não disponível   |
| Processo participativo                              | Dados técnicos sobre o projeto foram disponibilizados à comunidade. | Foi realizada consulta pública e dados sobre o projeto foram divulgados. | Não disponível                             | Consulta das partes consideradas impactadas pela implementação do RAM. |

\* recife removido em 2008 por não ter atingido seus objetivos

monitoramento, verificou-se um aumento de 60-80 m na largura da praia em relação à praia pré-engorde, sendo 20-30 m a mais do que o observado em praias adjacentes que não foram engordadas (Turner et al., 2004). A análise de imagens obtidas entre janeiro de 2000 e agosto de 2001 mostraram que mais ondas quebraram sobre o recife do que sobre o banco arenoso adjacente, efetivamente aumentando a oportunidade de surfe (Turner et al., 2004). As imagens ARGUS são um meio efetivo de monitorar o

desempenho do recife, mas os autores deixaram de fazer ressalvas importantes sobre seus resultados. O aumento da largura da praia observado deveu-se, muito provavelmente, ao engorde artificial e nenhuma referência foi feita sobre a eficiência do recife em promover a deposição de sedimentos ou em aumentar a retenção do volume de areia adicionado. Uma comparação do aumento da largura da praia ou da variação do volume sedimentar entre a praia engordada imediatamente atrás do recife com outro

trecho de praia engordada sem influência do recife demonstraria mais claramente a eficiência do recife nesta questão. Há uma influência da variabilidade interanual e sazonal no aumento da porcentagem de ondas quebrando sobre o recife, especialmente nos dados apresentados por Turner et al. (2004), pois o período da análise inicia em janeiro de 2000 (verão, condições de menor energia de onda) e termina em julho de 2001 (inverno, condições de maior energia de ondas), de forma que o aumento no número de ondas seria naturalmente esperado. Adicionalmente, o período entre janeiro e julho de 2001 apresentou, segundo os autores, uma sequência de tempestades, aumentando ainda mais o número de ondas ao final do período. Não foram apresentados os dados de porcentagem de ondas quebrando sobre o banco arenoso adjacente, o que poderia ilustrar se houve realmente uma grande diferença no ganho de oportunidade para o surfe decorrente do recife artificial.

Segundo Jackson & Corbett (2007), ambos os objetivos da construção do recife em Narrowneck foram alcançados com sucesso, ainda que os autores considerem que são necessárias condições ideais de onda, vento e maré para replicar o resultado previsto em modelos. Adicionalmente, os autores ressaltam que muitos surfistas preferem os bancos de areia adjacentes ao recife artificial. Os autores também consideram que a existência de praias próximas com ondas reconhecidas internacionalmente e a expectativa exagerada por parte da mídia resultaram numa falsa percepção de insucesso. Estes fatores teriam prejudicado o ganho econômico esperado, mas não existem estudos sobre o assunto.

A rebentação das ondas sobre o recife de Narrowneck ocorre em aproximadamente 50% (Jackson et al., 2007) ou 60% do tempo (Jackson et al., 2005) dependendo das condições do mar. Resultados de monitoramentos indicam que o recife proporciona áreas adequadas para vários tipos de surfe (e.g. prancha longa ou curta, bodyboard, caiaques, jetskis), mas surfistas que utilizam pranchas curtas preferem outros locais devido ao tipo de rebentação de onda gerado (Jackson et al., 2005). As opiniões recolhidas em um fórum de internet (Seabreeze, 2009) são controversas em relação à performance deste recife, mas de uma maneira geral indicam insatisfação.

Informações sobre o processo participativo na implementação deste RAM não são detalhadas e parece ter sido restrita à divulgação de informação sobre custos e potenciais benefícios. Embora Jackson et al. (2007) indiquem que houve consulta pública, não foram encontradas informações sobre os termos desta consulta.

Estudos sobre a biodiversidade do recife artificial foi reportado por Jackson et al. (2005) indicando que, embora a diversidade seja menor do que em recifes naturais, parece haver um aumento na produtividade a nível local e, potencialmente, regional. Os autores relatam a popularidade do recife entre pescadores e mergulhadores.

### 3.3 Pratte's Reef (Califórnia, EUA)

O RAM conhecido como Pratte's Reef (Figura 2) foi instalado na praia de El Segundo na Califórnia com o objetivo de recuperar a qualidade do surfe que fora afetada por um espigão construído por uma refinaria de petróleo situada em frente à praia. Através de uma mobilização da organização não-governamental (ONG) Surfrider Foundation e do apoio de surfistas locais, a empresa petroleira doou US\$300.000 (equivalente a €296.000 em janeiro de 2001, segundo taxa de câmbio fornecida pelo Board of Governors of the Federal Reserve System, 2009) para a construção do primeiro recife artificial para surfe dos Estados Unidos (Borrero & Nelsen, 2003). Na construção deste recife foram utilizados sacos geotêxteis de tecnologia inferior à utilizada em Narrowneck (Borrero & Nelsen, 2003). Este foi o único RAM construído sem participação direta de governos locais, de forma que a iniciativa do processo de implantação partiu de uma ONG com apoio de grupos locais ligados ao surfe e o financiamento foi dado por uma empresa privada. Não há indícios de que houve objeção por parte da comunidade, muito provavelmente devido ao fato do local ser utilizado predominantemente por surfistas, de forma que a construção do RAM não afetaria atividades desenvolvidas por outros usuários.

Após seis anos de monitoramento o recife foi considerado como um fracasso em termos de melhora de ondas (Tabela 1), sendo que o seu tamanho (1.600 m<sup>3</sup>) foi considerado demasiado pequeno (volume 40 vezes menor do que o de Narrowneck) para ter

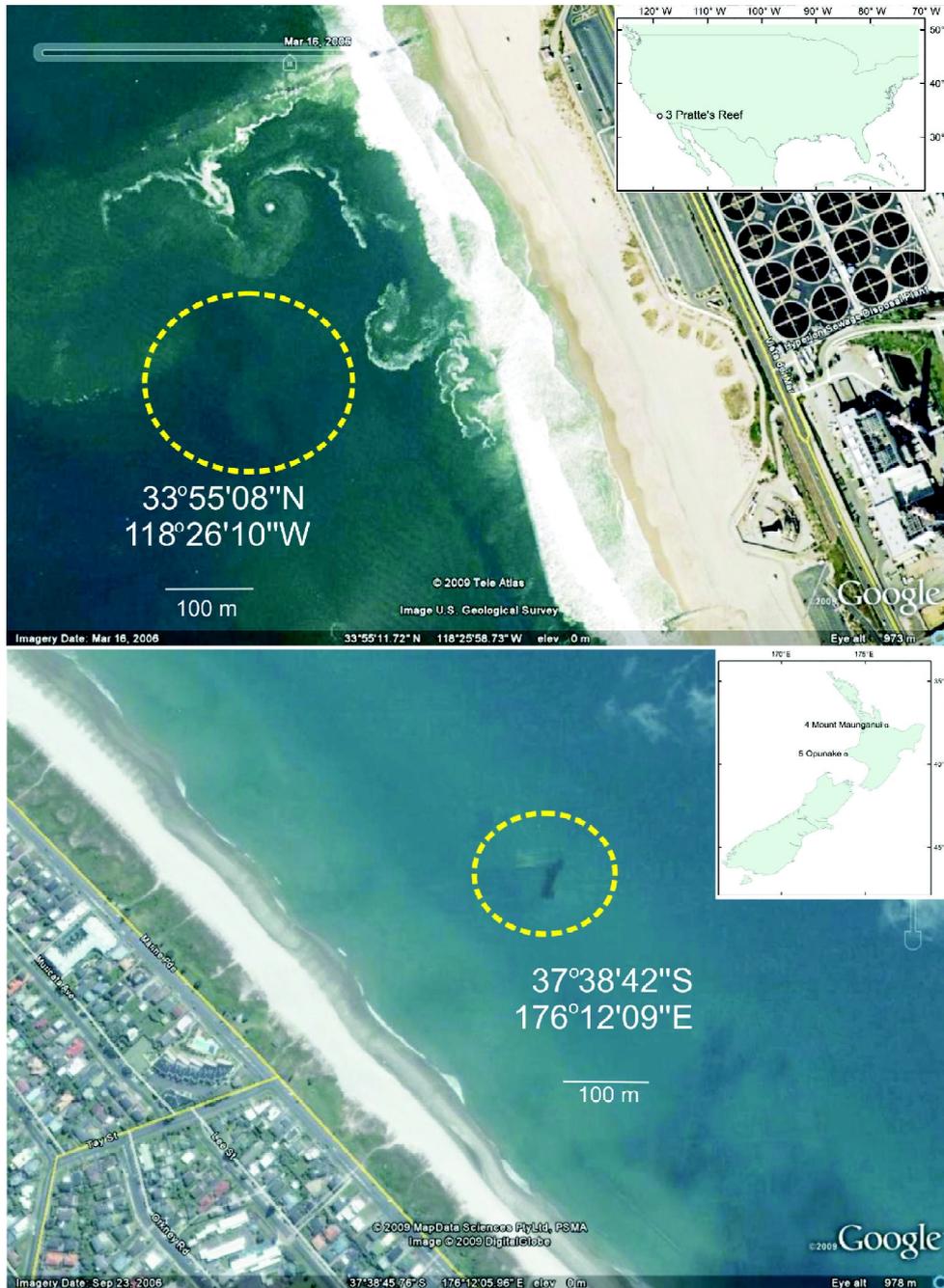


Figura 2. Localização dos RAM construídos em El Segundo, Califórnia, Estados Unidos (acima) e em Mount Maunganui, Nova Zelândia (abaixo). Os círculos amarelos indicam a posição do recife. O mapa da Nova Zelândia também indica a localização do recife em construção em Opunake.

Figure 2. Location of the RAM built in El Segundo, California, United States (top) and in Mount Maunganui, New Zealand (bottom). The yellow circles indicate the position of the reef. The map of New Zealand also indicates the location of the reef under construction in Opunake.

influência na quebra de ondas. As opiniões em fóruns de surfe e sítios de internet são unânimes quanto ao fracasso do recife (Surflife, 2008), que acabou por ser desmanchado no final de 2008. Ainda assim, o fato de uma empresa ter sido responsabilizada por interferir negativamente no ambiente e ter arcado com o passivo ambiental através da construção do recife artificial, foi considerado um importante sucesso pela Surfrider Foundation (Coastal Frontier Corporation, 2008). A Surfrider Foundation opõe-se a qualquer tipo de interferência na costa que possa vir a ter impactos negativos, e acredita que recifes artificiais para surfe só devem ser utilizados para recuperar ondas degradadas pela intervenção humana (Surfrider Foundation, 2008).

### 3.4 Mt. Maunganui (Mt. Maunganui, Nova Zelândia)

A construção do recife de Mount Maunganui teve início em novembro de 2005 e foi terminada em junho de 2008, tendo sido utilizados geocontentores preenchidos com areia atingindo um volume total de 6.500 m<sup>3</sup>. Atrasos na conclusão da obra ocorreram por dificuldades em recolher fundos para cobrir o aumento do custo do projeto (Jackson & Corbett, 2007), que passou dos NZ\$500.000 (cerca de €291.000 com base na taxa de câmbio em 01/11/2005 do European Central Bank, 2009) estimados originalmente para NZ\$1.5 milhões (NZHerald, 2009a), equivalentes a €645.000 (em taxa de câmbio de 30/04/2009, European Central Bank, 2009). Este estudo não encontrou nenhum relatório de monitoramento avaliando a qualidade das ondas sobre o recife, e sua efetividade quanto a este aspecto gera debate. Em resposta a um estudo de viabilidade realizado para um recife artificial nos Estados Unidos, a empresa que concluiu a obra de Mt. Maunganui cita, baseada em imagens obtidas por surfistas locais e sites de surfe, que há boas evidências de que o recife melhorou a qualidade de ondas (ASR, 2008). Porém as notícias recentes sobre o recife artificial (NZHerald, 2009a) indicam que o RAM vem sendo ignorado pelos surfistas locais e que apenas duas vezes desde sua finalização houve ondas de qualidade quebrando sobre a estrutura. O mesmo artigo cita que Shaw Mead, diretor da companhia ASR, considera que o recife não vem atingindo seus objetivos e que as

expectativas geradas estavam acima do que a companhia pôde entregar. Uma notícia publicada sobre este recife no sítio de internet do jornal local (NZHerald, 2009b) recebeu comentários de 44 leitores. O número de leitores que resolveram expressar publicamente sua opinião indica que o assunto gera polêmica. A análise desses comentários mostra que 84% das opiniões expressadas eram negativas.

De acordo com Rennie & Makgill (2003), na Nova Zelândia áreas marinhas são tidas como áreas públicas em que todos têm direito de acesso e uso. Assim, a ocupação mais permanente, como a construção de recifes artificiais, requer autorização das autoridades competentes e é regulamentada pelo Resource Management Act 1991 (Ministry for the Environment, 2009). Este determina que a comunidade deve identificar em Planos Regionais os níveis de impactos ao ambiente e às pessoas gerados por atividades específicas considerados aceitáveis. De forma que as atividades que geram impactos dentro dos níveis aceitáveis são permitidas sem necessidade de autorização, enquanto as que geram impactos além do nível aceitável devem ser autorizadas pelo governo local. O processo de autorização pode ser 'notificado', quando as partes impactadas são comunicadas publicamente e a decisão é tomada em audiência pública; ou 'sem notificação', quando o empreendedor obtém aprovação por escrito das partes impactadas e as autoridades relevantes concordam que os impactos gerados serão mínimos. No processo notificado, as partes afetadas pela atividade em questão podem manifestar-se à favor ou contra sua implementação e a decisão tomada em audiência pública pode ser contestada na Corte Ambiental e na Corte Superior. Neste caso, tanto os custos das audiências quanto os custos decorrentes do atraso em iniciar as obras são arcados pelo solicitante. Assim, em alguns casos, é vantajoso o empreendedor pagar 'compensações' às partes impactadas em troca das assinaturas necessárias para que a obra seja aprovada sem notificação (Rennie & Makgill, 2003).

A autorização para a construção do RAM de Mount Maunganui foi solicitada em 1998 e foi dada pelas autoridades locais (o Conselho de Bay of Plenty) em 2000 sem passar pelo processo de notificação pois não havia previsões sobre os níveis de impactos

gerados por este tipo de obra no Plano Regional. A decisão de autorizar a obra sem notificação foi contestada por dois moradores e pelo empreendimento imobiliário Sun Pacific Villas e levada para Corte Superior, que em 2002 manteve a decisão em favor do Conselho de Bay of Plenty após examinar o Estudo de Impactos Ambientais preparado pela companhia ASR e pela Universidade de Waikato (que solicitaram a autorização para a construção do RAM). O custo da apelação foi de NZ\$65.000 (aproximadamente €38.000), sendo que o Sun Pacific Villas teve que pagar por volta de um terço deste valor por ter sido o primeiro a recorrer da decisão na Corte Superior. Os residentes e o Sun Pacific Villas alegaram que o RAM atrairia visitantes cujo comportamento seria indesejável para a comunidade local, incluindo o hábito de despir-se em público, escutar música em alto volume e causar atos de vandalismo. Outros argumentos consistiam na falta de estacionamento decorrente do aumento de visitantes e os impactos ambientais na vegetação e nas dunas na área entre o Sun Pacific Villas e o RAM. A decisão da Corte Superior levou em consideração o fato da companhia ASR ter realizado consulta de opinião pública sobre o projeto de construção do RAM que consistiu em reuniões abertas com mais de 100 residentes locais e a obtenção de assinaturas de aprovação de representantes da população Maori, do Departamento de Conservação, de grupos de surfe etc. (Rennie & Makgill, 2003).

### 3.5 Opunake (Taranaki District, Nova Zelândia)

Estudos de viabilidade prevêem que o recife de Opunake trará os seguintes benefícios em um período de cinco anos: promover retorno econômico equivalente ao dobro do custo da obra, gerar cerca de seis empregos e um aumento na economia na área do distrito de Taranaki da ordem de NZ\$147.500, cerca de €64.000 (Tourism Resource Consultants, 2002). Os aspectos negativos potencialmente causados pela implementação do recife incluem: aumento exacerbado do número de surfistas, resultando em conflitos de uso e risco para os banhistas, atração de surfistas desempregados para a área de Opunake e a supervalorização do mercado imobiliário deslocando os moradores locais. A construção do recife de Opunake vem sofrendo

atrasos devido ao aumento dos custos em relação ao orçamento inicial. Em abril de 2008, NZ\$1,7 milhões (cerca de €848.000 em taxas de câmbio de 01/04/2008, European Central Bank, 2009) haviam sido gastos para a construção do recife, um ano depois ainda faltava arrecadar NZ\$60.000-70.000 (cerca de €26.000-30.000) para sua finalização (Taranaki daily news, 2008, 2009). O processo de participação pública envolveu audiências com a população e a formação de um comitê local para avaliação das propostas (Lusk, 2006).

### 3.6 Boscombe (Bournemouth, Reino Unido)

Boscombe localiza-se no condado de Dorset, no sudoeste do Reino Unido (Figura 3). A construção deste recife foi iniciada em julho de 2008 e concluída em novembro de 2009 e faz parte do projeto de revitalização da orla de Boscombe desenvolvido e financiado pelo governo local (Bournemouth Borough Council). O custo total do projeto de revitalização foi originalmente estimado em £8 milhões (€9 milhões), mas devido ao aumento no custo da construção do recife, hoje ultrapassa £11 milhões (Daily Echo, 2009a) ou €12,8 milhões. O orçamento inicial do recife foi de £1,35 milhões (cerca de €1,5 milhões) e, devido a uma série de fatores, inclusive condições meteorológicas e oceanográficas desfavoráveis, o custo total da obra está estimado em £3,03 milhões (Daily echo, 2009b), aproximadamente 3,5 milhões. Em 2003, a agência Market Research Group (MRG) conduziu uma consulta pública encomendada pelo governo local em que os interessados podiam indicar através de múltipla escolha as suas prioridades ou preferências de uma lista de obras previamente selecionadas. Dos 2.300 participantes, 89% selecionaram a revitalização do Pier de Bournemouth, 81% votaram na melhora da iluminação e da infraestrutura da orla, 74% escolheram a construção de uma praça em estilo mediterrâneo, enquanto 59% optaram pelo recife (MRG, 2003). A revitalização do Pier, a construção do RAM e um projeto de cabanas de praia de desenho luxuoso e arrojado de um arquiteto famoso foram as principais obras financiadas pelo governo local.

Embora a orla de Boscombe seja considerada uma das mais ricas de Bournemouth (Safer Neighbourhoods Bournemouth, 2006), esta área

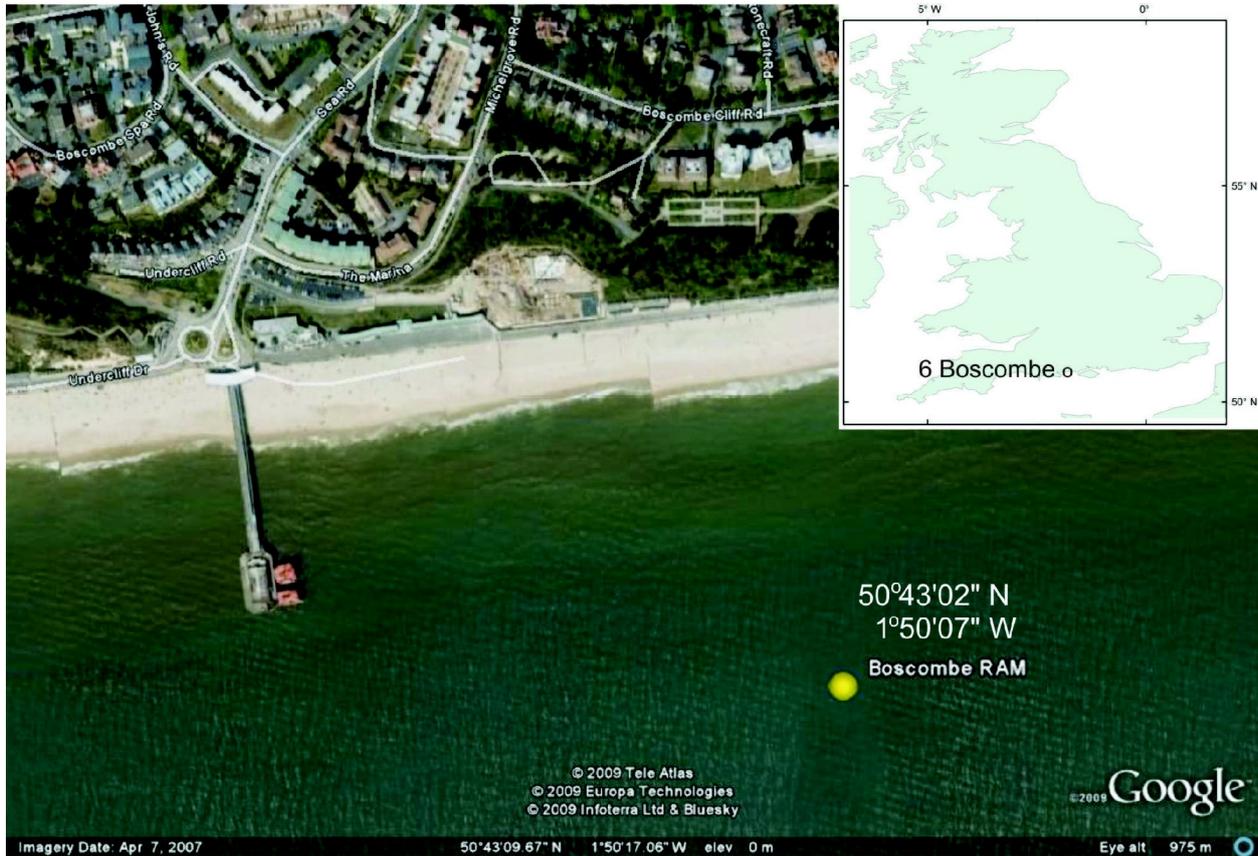


Figura 3. Localização do recife multifuncional construído em Boscombe, Dorset, Inglaterra (indicada pelo círculo amarelo).

Figure 3. Location of the multifunctional reef built in Boscombe, Dorset, England (indicated by yellow circle).

apresenta um dos maiores índices de privação social da região (Census, 2001; DCLG English Indices of Deprivation, 2007). O projeto de revitalização da orla é uma tentativa de estimular a economia local e as autoridades locais consideram o recife como parte essencial do projeto por ter a potencialidade de aumentar o número de visitantes, estender a temporada turística e promover o crescimento econômico. Informações recentes (Daily Echo, 2009b) indicam que houve uma leve redução na criminalidade na orla de Boscombe, mas o mesmo não foi observado a poucas ruas de distância. O governo local alega que houve um aumento no número de turistas, mas não houve aumento de recursos para melhorar a segurança pública. As projeções indicam a criação de 60 empregos de período integral e 34 de meio período (Boscombe

Spa Village Information Pack, 2007). O governo local angariou fundos para o projeto de revitalização através da venda de um terreno usado como área de estacionamento localizado na orla. A companhia imobiliária Barratt Homes comprou o terreno para construir um complexo residencial de 169 apartamentos, que estão à venda com preços entre £200.000 e 590.000. O impacto ambiental previsto foi considerado na pior hipótese como neutro (Boscombe Spa Village Information Pack, 2007), mas a população local demonstrou preocupação com o aumento do trânsito de carros, a falta de estacionamento e o aumento exagerado de pessoas na praia (MRG, 2003; Bournemouth University, 2007), problemas já existentes durante o verão.

Com base nos comentários públicos sobre notícias referentes ao RAM de Boscombe publicadas

no jornal local (Daily Echo, <http://www.bournemouthecho.co.uk>), observa-se que o assunto é bastante controverso na comunidade local. Uma notícia sobre os avanços atuais na construção do recife publicada em 04/08/2009 (Daily Echo, 2009c), obteve seis comentários públicos, dos quais dois expressavam opiniões claramente negativas, dois demonstravam o “desejo” de que os resultados após a construção sejam positivos apesar de reconhecer as percepções negativas existentes e dois não indicaram uma posição a favor ou contra. Em julho de 2009, Guy Cribb, 13 vezes campeão de windsurf no Reino Unido, “testou” o RAM de Boscombe e declarou que o recife já apresenta boas condições de ondas mesmo antes de estar concluído (Daily Echo, 2009d). A mesma notícia também relata que mergulhadores que fazem a instalação dos geocontentores observaram o crescimento de vida marinha sobre o recife. Dos 31 comentários públicos referentes a esta notícia (Daily Echo, 2009d), desconsiderando-se os comentários repetidos das mesmas pessoas, pode-se identificar sete pessoas manifestando-se claramente a favor do recife, onze contra e duas pessoas fizeram questionamentos ou comentários neutros. Dentre os comentários negativos, ficou evidente que o custo elevado, o aumento do custo em relação ao orçamento inicial, a falta de resultados concretos sobre o desempenho dos RAM e a percepção de que os recursos públicos deveriam ter sido utilizados para outros fins são os maiores pontos de criticismo.

#### 4. OS RAM E A GESTÃO COSTEIRA INTEGRADA

A gestão costeira integrada tem sido considerada o mecanismo mais adequado para promover o uso sustentável dos recursos naturais (e.g. EC, 2002; UNESCO, 2003; DEFRA, 2008). Em 2002, o Parlamento e o Conselho Europeus publicaram um documento (2002/413/EC de 30 de maio de 2002) recomendando que os países membros da Comunidade Européia implementassem estratégias nacionais de gestão costeira integrada, com base em oito princípios (EC, 2002): visão holística, planejamento em escalas de longo-termo, manejo adaptativo, especificidade local, trabalhar com os processos naturais, participação pública, integração

entre diferentes níveis de governo e o uso de uma combinação de instrumentos. Considerando-se que os RAM têm como essência do seu conceito trabalhar com os processos naturais para promover múltiplas funções e maximizar os benefícios gerados; faz-se pertinente a discussão do seu processo de implementação e os efeitos observados sob a perspectiva da gestão costeira integrada. As recomendações para a implementação da gestão costeira integrada na Europa (EC, 2002) estimulam a criação de áreas de lazer e oportunidades econômicas para as populações de regiões costeiras porém ressaltam a importância em se manter as culturas tradicionais locais, em se evitar a pressão excessiva do turismo e, em especial, promover a participação de todos os setores da sociedade no planejamento e manejo adaptativo.

A participação pública na gestão costeira tem o objetivo de envolver o maior número possível de setores da comunidade (e.g. moradores, empresas, organizações não-governamentais, governo e universidades) no processo de tomada de decisão de forma que todos se tornam igualmente responsáveis pelos resultados obtidos. Com exceção do recife construído em El Segundo (Estados Unidos), todos os outros tiveram o envolvimento direto de governos locais na decisão de se construir o recife e no seu financiamento (total ou parcial). Os governos locais são as instituições responsáveis por implementar na prática a gestão costeira integrada, incentivando e promovendo a participação da comunidade. Como se observou no caso dos RAM, o processo participativo tem sido inexistente ou, no máximo, limitado a consultas de opinião sobre uma decisão já tomada (como em Boscombe). Segundo Davos (1998), os benefícios da gestão costeira integrada nunca serão atingidos enquanto a “melhor prática” for definida pela opinião técnica de (poucos) experts em vez de se buscar identificar a “prática mais correta”, que é aquela capaz de atrair o apoio do maior número de grupos e indivíduos. Portanto, o envolvimento do público é imprescindível desde as etapas iniciais do processo de decisão (e.g. McFadden, 2008), incluindo a seleção das obras, eventos ou práticas a serem contempladas com estudos de viabilidade. Como exemplo, a análise de comentários públicos sobre o RAM de Boscombe expressos sobre

notícias publicadas no jornal local (Daily Echo, 2009a,b,c,d,e) evidencia um descontentamento na aplicação de um montante considerável de recursos públicos (cerca de €3,5 milhões) em uma obra que, se funcionar como previsto, irá beneficiar um número limitado de residentes locais. Essas opiniões indicam que o governo teria maior apoio público ao investir em melhorias de serviços comuns, como segurança pública ou áreas de lazer que beneficiem um maior número de residentes.

Outra preocupação demonstrada pela comunidade de Boscombe é a de que o RAM aumentará pressões de ocupação e uso da orla agravando problemas já existentes, como o aumento no trânsito de veículos, a falta de estacionamentos e o número exagerado de pessoas na praia. Adicionalmente, surfistas locais relatam que o recife deve melhorar as condições para surfe em uma pequena área que não será suficiente para acomodar o número de surfistas locais, alguns sugerem inclusive que seja cobrada uma taxa de uso do recife (Daily Echo, 2009e). Considerando que o objetivo é atrair visitantes e proporcionar múltiplos usos, pode-se supor que o aumento no número de pessoas na área do RAM venha trazer conflitos entre os usuários, principalmente entre residentes e visitantes. Assim, atividades que venham a atrair visitantes nos períodos de menor movimento turístico são mais atraentes ambientalmente e beneficiam de forma mais direta a população e a economia local. Um impacto negativo do turismo, a especulação imobiliária, já começa a ser sentido na região de Boscombe, onde o preço das propriedades foi elevado em 30% entre 2006 e 2007 em função do projeto de revitalização da orla (Bournemouth Borough Council, 2008a). Na maioria dos casos, assim como em Boscombe, embora as autoridades locais esperem que os RAM venham a incrementar o turismo, não há planejamento em melhorar a infra-estrutura básica que atenda as necessidades dos residentes locais e do número de turistas previstos. Da mesma forma, não é dado suporte para comerciantes e empresários para expansão dos negócios locais visando atender o maior número de turistas.

Apesar de suas múltiplas funções, os RAM têm sido instalados principalmente com a função de melhorar o surfe (com exceção de Narrowneck). Em locais onde o risco de erosão ou inundações é grave,

muito dificilmente os governos optarão por financiar obras de proteção costeira não tradicionais (mesmo em Narrowneck a estratégia incluiu o engorde de praia). É claro, então, que os RAM tornam-se atrativos apenas em áreas que já possuem uma comunidade de surfe estabelecida e onde as condições das ondas são boas, mas não excelentes. Estas características aliadas à necessidade do governo em estimular a economia local, faz com que a tomada de decisão seja facilmente influenciada por grupos ou indivíduos ligados ao surfe (à prática ou à exploração comercial do esporte ou ambos). Embora a possibilidade de promover múltiplas atividades amplie as oportunidades de financiar estas obras através de parcerias entre organizações públicas e privadas, o interesse do governo local será sempre determinante na viabilização dos RAM já que as zonas costeiras são consideradas áreas de uso público na maioria dos casos.

A intenção de governos locais em subsidiar atividades que beneficiam um ou outro grupo específico tendo em vista o possível retorno econômico gerado à comunidade a médio prazo pode ser justificada. Ao mesmo tempo, pode-se também questionar que este processo de decisão não segue os princípios de gestão integrada nem de justiça social; pois outros grupos da comunidade, dada a oportunidade através de processos participativos, podem reivindicar que o investimento de dinheiro público nas suas áreas de interesse poderia gerar o mesmo retorno financeiro, atendendo um número igual ou maior de pessoas e resultando em impactos ambientais menores ou menos controversos. Embora seja um conceito ainda subjetivo, a justiça social é considerada essencial para o desenvolvimento sustentável, pois visa a distribuição igualitária dos benefícios gerados (principalmente através de recursos públicos) tanto espacialmente (para diferentes áreas atendidas pelo governo financiador do projeto) quanto entre diferentes setores ou grupos da sociedade (e.g. Cooper & McKenna, 2008; McFadden, 2008). A implementação dos RAM gera “desenvolvimento” em uma área específica (a orla) e beneficia preferencialmente certos grupos (surfistas, outros adeptos dos esportes aquáticos e os comerciantes localizados na orla). Enquanto não ficarem explícitos quais serão os benefícios

econômicos gerados pelo RAM e como eles serão distribuídos (especialmente, temporalmente e para que setores da comunidade), o uso de espaço público para implementação dos RAM pode ser caracterizado como uma escolha social injusta. Isto fica ainda mais evidente nos casos em que a implementação ocorre com o objetivo primário de melhorar as condições para o surfe, pois os impactos positivos beneficiam mais diretamente alguns poucos enquanto os impactos negativos são arcados por toda a comunidade.

O Decreto Presidencial 5.300/2004 que regulamenta a nova versão do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro brasileiro (PNGC) recomenda o “Princípio de Prevenção” para qualquer interferência na Zona Costeira, “sempre que houver perigo de dano grave ou irreversível” ao meio ambiente. Cita também a necessidade de se estender a participação da sociedade na elaboração de políticas públicas (PNGC, 2004). Segundo Kasperson (2006) os processos participativos se fazem mais necessários quando as decisões tomadas envolvem riscos incertos e tecnologias inovadoras. Através do envolvimento da sociedade diminuem-se os riscos de conflitos entre os que promovem as estruturas e aqueles que são afetados pela construção destas. Ainda segundo o autor, muitos dos processos participativos realizados têm o intuito de legitimar os objetivos dos empreendedores e não de desenvolver um planejamento mais democrático (como em Boscombe).

A falta de estudos sobre o desempenho dos RAM tanto nas funções ambientais quanto econômicas, impede que a decisão em implementar estas obras seja tomada com base em dados de monitoramento, de forma que análises comparativas são mais comumente utilizadas. Por exemplo, análises de custos e benefícios do RAM de Boscombe foram realizadas considerando-se apenas sua função de proteção costeira através de comparação com obras de proteção costeira mais tradicionais. O custo médio de obras de proteção costeira no Reino Unido é de £53.700/km/ano considerando-se uma durabilidade média de 60 anos, de forma que a análise média de benefício/custo indica uma proporção de 1:1 (DEFRA, 2001). Em 2004, um estudo sobre as opções de proteção costeira para a região de Poole Bay (onde está localizado o RAM de Boscombe) avaliou que a construção de cada

espigão de 150 metros custaria em torno de £360.000, enquanto um recife artificial custaria por volta de £626.000 se implementado durante um período de 3 semanas (Halcrow Group Ltd., 2004). O estudo considerou que a maior diferença no custo final seria na durabilidade das estruturas, 50 anos para substituir 50% da estrutura dos espigões e 20 anos para substituir 50% dos geotêxteis do recife artificial. Fica claro que os custos totais da obra e a proporção de custos e benefícios são alterados em função do nível de proteção costeira oferecida pelo RAM, da necessidade de mão-de-obra mais especializada e do desconhecimento sobre a longevidade dessas estruturas. A análise de benefício/custo resultou em 4,20:1 para o uso de espigões e 3,34:1 para o uso do recife artificial (Halcrow Group Ltd., 2004). Contudo estas análises não consideram os efeitos econômicos positivos do turismo e marketing associados ao apelo esportivo do recife artificial. Considerando estes aspectos, a empresa responsável pela construção do RAM estimou a relação benefício/custo em 26:1 (ASR, 2000). Com base no custo atual do RAM estimado em £3,03 milhões, os benefícios gerados seriam da ordem de £78,78 milhões. Se considerarmos que o RAM protege um quilômetro de costa e que esta proteção dure 20 anos (vida útil do RAM), o retorno em termos de proteção costeira seria de um pouco mais de £1 milhão (utilizando o custo médio estimado por DEFRA (2001) de £53.700/km/ano). Assim, o aumento de biodiversidade e o turismo devem gerar os restantes £77,78 milhões durante a vida útil do RAM ou £3,88 milhões por ano. Considerando-se que a média de gastos dos turistas na região de Boscombe é de £44,22 por pessoa por dia e que a média de permanência na região é cerca de 8 dias (Bournemouth Borough Council, 2008b), seriam necessárias visitas de aproximadamente 11.000 turistas por ano para gerar os esperados £3,88 milhões. Atualmente aproximadamente 5.000 surfistas visitam Boscombe a cada ano (Bournemouth Borough Council, 2008a), de forma que, para o RAM gerar os benefícios econômicos esperados, deve atrair 11.000 turistas adicionais, visto que os atuais 5.000 visitantes anuais não podem ser contabilizados como tendo sido atraídos pelo RAM.

Os RAM podem trazer benefícios sócio-econômicos para algumas regiões, mas até o

momento, não há evidências concretas de que a construção destas obras tenham promovido o retorno econômico esperado. Considerando-se a falta de conhecimento sobre os impactos positivos e negativos de tais obras costeiras, faz-se necessário estabelecer protocolos de monitoramento que possibilitem quantificar de forma objetiva o seu desempenho, evitando assim a disparidade de opiniões entre órgãos públicos, empreendedores, usuários e a população local. Adicionalmente, os critérios usados pelos governos locais na tomada de decisão em implementar os RAM devem ser transparentes e o processo de decisão deve incluir mecanismos de participação pública. Também é importante a divulgação das limitações desta obra em melhorar as condições das ondas para o surfe, visto que os resultados de modelos não podem ser encarados como certificado de garantia do produto.

## 5. CONCLUSÕES

Os RAM representam um novo conceito em obras de engenharia costeira por buscarem a maximização dos benefícios através de múltiplas funções, i.e. proteção costeira, melhoria da qualidade de ondas para o surfe, aumento na biodiversidade e revitalização econômica através do turismo. Apesar de potencialmente possibilitar múltiplos benefícios, a razão principal da construção dos RAM existentes tem sido a melhora das ondas para a prática do surfe. Cinco projetos de RAM foram concluídos no mundo, tendo sido um deles desinstalado por não produzir os resultados desejados (em El Segundo, Califórnia). Outro projeto encontra-se em construção (em Opunake, Nova Zelândia) e cuja previsão de ser concluído em 2009 não foi realizada. Até o momento, não existem estudos de monitoramento suficientes que possibilitem quantificar de forma objetiva o desempenho dos RAM em melhorar a qualidade das ondas, promover a proteção costeira, aumentar a biodiversidade ou incrementar a economia através do turismo. Uma avaliação qualitativa da percepção dos surfistas indica uma tendência geral de insatisfação com os resultados produzidos. Provavelmente, a inexistência de estudos que avaliam o impacto econômico gerado pelos RAM existentes seja o fator que mais contribui para acirrar o debate e influenciar a percepção sobre este tipo de investimento do erário

público. Ao mesmo tempo, a falta de dados sobre o desempenho destas obras em promover suas múltiplas funções favorece que a sua instalação seja feita quase que exclusivamente com base na publicidade feita pelos próprios empreendedores. Adicionalmente, a participação pública no processo de escolha e implementação dos RAM tem sido limitada ou inexistente, o que possivelmente agrava a percepção de descontentamento. Assim, o estabelecimento de protocolos regulamentando a implementação, operação e monitoramento dessas obras é essencial para que a tomada de decisão possa ser feita considerando-se dados de desempenho dessas obras. Os protocolos de regulamentação da construção dos RAM devem incluir: as formas de participação pública no processo de decisão, planos de monitoramento pré e pós-construção, critérios claros que permitam a avaliação objetiva do desempenho dos RAM e a divulgação pública e transparente dos custos, impactos ambientais, desempenho e retorno econômico da obra.

## BIBLIOGRAFIA

- ASR (2000) – Surfing reefs. 4p., Raglan, Nova Zelândia. [http://www.asrltd.co.nz/downloads/Reefs/reef%20general/Surfing\\_Reefs.pdf](http://www.asrltd.co.nz/downloads/Reefs/reef%20general/Surfing_Reefs.pdf).
- ASR (2008) – ASR America Response to the Brevard County Multi-Purpose Artificial Surfing Reef Feasibility Study: Final Report – Draft. 30p., Florida, United States of America. [http://www.brevardcounty.us/environmental\\_management/documents/SubAppC62008-10-31ASRAResponsetoDraftReport.pdf](http://www.brevardcounty.us/environmental_management/documents/SubAppC62008-10-31ASRAResponsetoDraftReport.pdf).
- Board of Governors of the Federal Reserve System (2009) - U.S. / Euro Foreign Exchange Rate. In: <http://research.stlouisfed.org/fred2/data/EXUSEU.txt> (acessado em abril 2009)
- Boscombe Spa Village Information Pack (2007) - Boscombe Spa Village Development Information Pack. In: <http://www.bournemouth.co.uk/scms/media.php/11152/Info%20Pack%20Sept%2007.pdf> (acessado em abril 2009)
- Borrero, J.C. & Nelsen, C. (2003) – Results of a Comprehensive Monitoring Program at Pratte's Reef. Proceedings of the 3rd International Surfing Reef Symposium. Raglan, New Zealand, 83-99.

- Bournemouth Borough Council (2008a) – Surf reef costs – the facts behind the headlines, press release. In: [http://www.bournemouth.gov.uk/News/press\\_office/Press\\_Releases/June\\_2008/surf.asp](http://www.bournemouth.gov.uk/News/press_office/Press_Releases/June_2008/surf.asp) (acessado em julho 2009)
- Bournemouth Borough Council (2008b) – Tourism Statistics for Bournemouth, 2005. In: [http://www.bournemouth.gov.uk/Residents/Research\\_Information/Themes/Tourism/Tourism\\_Statistics.asp](http://www.bournemouth.gov.uk/Residents/Research_Information/Themes/Tourism/Tourism_Statistics.asp) (acessado em agosto 2009)
- Bournemouth University (2007) – “Which Tube will you catch Tonight,” Bournemouth University, Bournemouth, United Kingdom. (não publicado).
- Burchartch, H.F. & Hughes, S.A. (2002). Types and Functions of Coastal Structures. In: Coastal Engineering Manual, Part VI, Chapter 2, EM 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC.
- Census (2001) – Census 2001. In: <http://www.statistics.gov.uk/census2001/census2001.asp> (acessado em fevereiro 2009)
- Coastal Frontier Corporation. (2008) – Project Description for Removal of Pratte’s Reef. In: [http://www.surfrider.org/Prattes\\_reef/Prattes\\_Reef\\_Project\\_Description.pdf](http://www.surfrider.org/Prattes_reef/Prattes_Reef_Project_Description.pdf) (acessado em fevereiro 2009)
- Cooper, J.A.G. & McKenna, J. (2008) – Social justice in coastal erosion management: the temporal and spatial dimension. *Geoforum*, 39: 294-306.
- Daily Echo (2009a) – Surf’s up. In: [http://www.bournemouthecho.co.uk/search/2348174.SURF\\_\\_\\_S\\_UP/](http://www.bournemouthecho.co.uk/search/2348174.SURF___S_UP/) (acessado em fevereiro 2009)
- Daily Echo (2009b) – Boscombe: is it surfing or suffering? In: [http://www.bournemouthecho.co.uk/search/4477447.BOSCOMBE\\_\\_IS\\_IT\\_SURFING\\_OR\\_SUFFERING\\_/](http://www.bournemouthecho.co.uk/search/4477447.BOSCOMBE__IS_IT_SURFING_OR_SUFFERING_/) (acessado em agosto 2009)
- Daily Echo (2009c) – Bags more news for reef watchers. In: [http://www.bournemouthecho.co.uk/news/features/surfreef/surfreefstories/4527367.Bags\\_more\\_news\\_for\\_reef\\_watchers/#show](http://www.bournemouthecho.co.uk/news/features/surfreef/surfreefstories/4527367.Bags_more_news_for_reef_watchers/#show) (acessado em agosto 2009)
- Daily Echo (2009d) – Windsurfing champion puts Boscombe surf reef to the test. In: [http://www.bournemouthecho.co.uk/news/features/surfreef/surfreefstories/4498200.Windsurfing\\_champion\\_puts\\_Boscombe\\_surf\\_reef\\_to\\_the\\_test/#show](http://www.bournemouthecho.co.uk/news/features/surfreef/surfreefstories/4498200.Windsurfing_champion_puts_Boscombe_surf_reef_to_the_test/#show) (acessado em agosto 2009)
- Daily Echo (2009e) – View from the deep. In: [http://www.bournemouthecho.co.uk/news/features/surfreef/surfreefstories/4419828.View\\_from\\_the\\_deep/](http://www.bournemouthecho.co.uk/news/features/surfreef/surfreefstories/4419828.View_from_the_deep/) (acessado em agosto 2009)
- Davos, C.A. (1998) – Sustaining co-operation for coastal sustainability. *Journal of Environmental Management*, 52: 379-387.
- DCLG English Indices of Deprivation (2007) – The English Indices of Deprivation 2007. Department for Communities and Local Government. London, United Kingdom, 07 NRAD 05137.
- DEFRA - Department for Environment Food and Rural Affairs (2001) - National appraisal of assets at risk from flooding and coastal erosion, including the potential impact of climate change - Final Report. 64p. In: <http://www.defra.gov.uk/enviro/fcd/policy/NAAR1101.pdf> (acessado em julho 2009)
- DEFRA – Department for Environment Food and Rural Affairs (2008) – A strategy for promoting an integrated approach to the management of coastal areas in England. 48p. In: <http://www.defra.gov.uk/marine/pdf/environment/iczm/iczm-strategy-england.pdf> (acessado em abril 2009)
- Duxbury, J. & Dickinson, S. (2007) – Principles for sustainable governance of the coastal zone: in the context of coastal disasters. *Ecological Economics*, 63: 319-330.
- EC (2002) – Recommendation Of The European Parliament And Of The Council of 30 May 2002 concerning the implementation of Integrated Coastal Zone Management in Europe. Official Journal of the European Communities.
- Economagic.com (2009) - Series Title: ECB reference exchange rate, Australian dollar/Euro. In: <http://www.economagic.com/em-cgi/data.exe/ecb/EXR-M-AUD-EUR-SP00-A-m> (acessado em abril 2009)
- European Central Bank (2009) - ECB reference exchange rate, New Zealand dollar/Euro. In:

- [http://sdw.ecb.europa.eu/quickview.do?SERIES\\_KEY=120.EXR.D.NZD.EUR.SP00.A](http://sdw.ecb.europa.eu/quickview.do?SERIES_KEY=120.EXR.D.NZD.EUR.SP00.A) (acessado em abril 2009).
- Fredsoe, J. & Sumer, B.M. (1997) - Scour at the round head of a rubble-mound breakwater. *Coastal engineering*, 29(3-4):231-262.
- French, P.W. (2001) – *Coastal Defences: Processes, problems and solutions*. 384p., Routledge, New York & London.
- Halcrow Group Ltd. (2004) – Poole Bay and Harbour, assessment of flood and coastal defence options. 91p. In: [http://www.twobays.net/Strategy%20Study/2004\\_Strategy%20Report%20-%20PBY-%20Poole%20Bay.pdf](http://www.twobays.net/Strategy%20Study/2004_Strategy%20Report%20-%20PBY-%20Poole%20Bay.pdf) (acessado em Julho 2009)
- Hiliau, W. & Phillips, D. (2003) – Artificial Surfing Reef Construction. *Proceedings of the 3rd International Surfing Reef Symposium*. Raglan, New Zealand: 378-397.
- Jackson, L. & Corbett, B. (2007) – Review of existing multi-function artificial reefs. *Australasian Conference on Coasts and Ports 2007*, 6p.
- Jackson, L., Corbett, B., Tomlinson, R. McGrath, J., & Stuart, G. (2007) – Narrowneck Reef: Review of 7 years of monitoring results. *Shore & Beach (American Shore & Beach Preservation Association)*. Vol. 75(4):67-79.
- Jackson, L., Tomlinson, R., Turner, I., Corbett, B., D'Agata, M. & McGrath, J. (2005) – Narrowneck artificial reef: results of 4 yrs of monitoring and modifications. *Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Surfing Reef Symposium (January 12-14, 2005, Manhattan Beach, California)*, 11p.
- Kasperson, R. (2006) – Rerouting the stakeholder express. *Global Environmental Change* 16:320–322.
- Life On Perth (2007) – Surfing at Cables Artificial Surfing Reef. In: <http://www.lifeonperth.com/cablessurf.htm> (acessado em fevereiro 2009)
- Lusk, D. (2006) – Opunake artificial reef presentation, 5th International Surfing Reef Symposium. Lombok, Indonesia.
- Martínez, M.L., Intralawan, A., Vázquez, G., Pérez-Maqueo, O., Sutton, P. & Landgrave, R. (2007) - The coasts of our world: Ecological, economic and social importance. *Ecological Economics*, 63:254 – 272.
- McFadden, L. (2008) – Exploring the challenges of integrated coastal zone management and reflecting on contributions to 'integration' from geographical thought. *The Geographical Journal*, 174(4):299-314.
- MRG (2003) – *Boscombe Spa Village Consultation*, The Market Research Group. England. (não publicado).
- Mead, S. & Black, K. (2002) – Multi-Purpose Reefs Provide Multiple Benefits – Amalgamating Coastal Protection, High-Quality Surfing Breaks and Ecological enhancement to Maximise User Benefits and Development Opportunities, Prepared for South Australian Spatial Information Council Conference. Holiday Inn Conference Centre, Ventura, California. (<http://www.asrltd.co.nz/downloads/Reefs/reef%20general/ShawMeadSASIC2Paper.pdf>)
- Ministry for the Environment (2009) - Resource Management Act. In: <http://www.rfe.govt.nz/rma> (acessado em julho 2009)
- NZHerald – New Zealand Herald (2009a) - Is Mt Maunganui's \$1.5m artificial surf reef a waste of money? Jan. 29, 2009. In: [http://blogs.nzherald.co.nz/blog/your-views/2009/1/29/mt-maunganuis-15m-artificial-surf-reef-waste-money/?c\\_id=1501154](http://blogs.nzherald.co.nz/blog/your-views/2009/1/29/mt-maunganuis-15m-artificial-surf-reef-waste-money/?c_id=1501154) (acessado em fevereiro 2009)
- NZHerald – New Zealand Herald (2009b) – Where's the surf? In: [http://www.nzherald.co.nz/nz/news/article.cfm?c\\_id=1&objectid=10554007](http://www.nzherald.co.nz/nz/news/article.cfm?c_id=1&objectid=10554007). (acessado em fevereiro 2009)
- Pattiaratchi, C. (2003) – Performance of an artificial surfing reef: Cable Station Western Australia. *Proceedings of the Sixth International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries (Colombo, Sri Lanka)*, 18p.
- PNGC (2004) – Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro II, Decreto nº 1.540 de 27 de junho de 1995. Brasília, Brasil.
- Ranasinghe, R., Hackings, N. & Evans, P. (2001) – Multi-functional artificial surfing breaks, a review, Centre for Natural Resources, NSW Department of Land and Water Conservation. 35p. New South Wales, Australia.
- Rennie, H.G. & Makgill, R. (2003) – Implications of New Zealand's effects-based coastal planning

- regime for artificial surfing reefs: The Mount Reef case. Proceedings of the 3rd International Surfing Reef Symposium. Raglan, New Zealand, 260-267.
- Riptidemag (2009) – Marine biology and surf science. In: <http://www.riptidemag.com.au/forum/viewtopic.php?f=5&t=712&start=45>. Comentário publicado em Jul. 2008. (acessado em fevereiro 2009)
- Safer Neighbourhoods Bournemouth (2006) – Vulnerable Area Profile: Boscombe. Bournemouth Borough Council, 30p. Bournemouth, United Kingdom.
- Seabreeze (2009) – Artificial Surfing Reefs on the Goldie! Why not? In: [http://www.seabreeze.com.au/forums/topic.asp?TOPIC\\_ID=47366](http://www.seabreeze.com.au/forums/topic.asp?TOPIC_ID=47366). Acessado em Fev. 2009.
- Surf-forecast.com (2009) - Cable Station Reef, Australia, Surf Forecast and Surf Reports - Break Info. In: <http://www.surf-forecast.com/breaks/CableStationReef> (acessado em fevereiro 2009)
- Surflie (2008) – Pratte's reef redux. In: [http://www.surflie.com/surf-news/one-researchers-opinion-it-didnt-have-to-end-like-that-prattes-reef-redux\\_20360/](http://www.surflie.com/surf-news/one-researchers-opinion-it-didnt-have-to-end-like-that-prattes-reef-redux_20360/). (acessado em fevereiro 2009)
- Surfrider Foundation (2008) – Surfrider Foundation's Artificial Surf Reef Policy. In: <http://www.surfrider.org/artificialreef/areefs.asp>. (acessado em fevereiro 2009)
- Taranaki daily news (2008) – Taranaki's artificial reef takes shape. In: <http://www.stuff.co.nz/environment/373562> (acessado em fevereiro 2009)
- Taranaki daily news (2009) – Underwater check on 'surf grief.' In: <http://www.stuff.co.nz/taranaki-daily-news/news/2334938/Underwater-check-on-surf-grief>. (acessado em abril 2009)
- Ten Voorde, M., Antunes do Carmo, J.S. & Neves, M.G. (2009) - Designing a Preliminary Multifunctional Artificial Reef to Protect the Portuguese Coast. *Journal of Coastal Research*, 25(1):69–79.
- Tourism Resource Consultants (2002) – Proposed Artificial surf reef, OPunake, South Taranaki. Economic and Social Impact report, march 2002.
- Turner, I.L., Aarninkhof, S.G.J., Dronkers, T.D.T., & McGrath, J. (2004) - CZM application of Argus coastal imaging at the Gold Coast, Australia. *Journal of Coastal Research*, 20(3):739-752.
- UNESCO (2003) - A Reference Guide on the Use of Indicators for Integrated Coastal Management - ICAM Dossier 1, IOC Manuals and Guides No. 45. 127p.
- von Bodungen, B. & Turner, R.K. (2001) - Science and Integrated Coastal Management (ICM): Introduction. In: von Bodungen, B. & Turner, R.K. (eds.) Science and Integrated Coastal Management, Dahlem Workshop Report 85, Dahlem University Press, Berlin, 1-14.
- USACE (2006) - Coastal Engineering Manual, Part VI, Chapter 2, Types and Functions of Coastal Structures. U.S. Corps of Engineers, In: [http://chl.erdc.usace.army.mil/Media/2/0/4/CEM\\_Part-VI\\_Chap-2.pdf](http://chl.erdc.usace.army.mil/Media/2/0/4/CEM_Part-VI_Chap-2.pdf) (acessado em julho 2009).





Revista da Gestão Costeira Integrada 10(1):147-148 (2010)  
Journal of Integrated Coastal Zone Management 10(1):147-148 (2010)



## *RECENSÃO CRÍTICA / BOOK REVIEW*

### Métodos en teledetección aplicada a la prevención de riesgos naturales en el litoral

J. Alcántara-Carrió *et al.* (Editores). Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. 2009. - Manuales CYTED.  
Disponível on-line em <http://www.redriesgoslitorales.com>

Dieter Muehe @

---

Tomei conhecimento do livro pouco antes de seu lançamento por ocasião do CoastGIS 2009. Fiquei muito interessado pois se tratava de técnicas parte das quais eu vinha usando na avaliação da vulnerabilidade costeira mas que, em função da experiência e desenvolvimento de novos instrumentos de medição apresentam continuamente avanços de enorme ajuda para os pesquisadores. Quando recebi do Prof. Alveirinho Dias, editor da Revista de Gestão Costeira Integrada, o convite para efetuar uma resenha do livro aceitei com prazer. Pouco tempo depois, já com o livro na mão, enviado pelo Prof. Alcántara-Carrió, fui folheando aleatoriamente os diversos capítulos buscando inicialmente aqueles sobre os quais já tinha alguma experiência mas, com a curiosidade de avaliar a adequação da minha própria experiência e aprender mais. Comecei a ler o artigo sobre geofísica marinha, pois pretendia avaliar o volume de areias em locais adequados da plataforma continental interna para fins de recuperação de praias, uma solução que deverá se tornar cada vez mais requisitada em função da redução do estoque de areias das praias em decorrência da elevação do nível do mar. O artigo mostra de forma didática os diferentes métodos e graus de resolução desde a ecobatimetria, ao sonar de varredura lateral e a sísmica de subsuperfície. Em outro capítulo, sobre perfis de praia, são descritas técnicas de levantamento topográfico, do emprego das balizas de Emery ao nivelamento topográfico convencional assim como a extensão do perfil subaéreo a zona de surfe. O emprego de técnicas DGPS e laser (LIDAR) para levantamento altimétrico e posicionamento da linha de costa e a extensão dos levantamentos mar afora através de ecobatimetria monofeixe, multifeixe e por altimetria laser são abordados em outros capítulos e constituem importantes métodos na avaliação do perfil de equilíbrio e na determinação da profundidade de fechamento, como subsídio à avaliação do recuo potencial da linha de costa à elevação do nível do mar e para comparação para fins de avaliação da tendência evolutiva da linha de costa. Técnicas para comparação de imagens de satélites ou fotos aéreas para

---

@ - autor correspondente: [dieter@ufrj.br](mailto:dieter@ufrj.br)

avaliação da erosão ou progradação costeira são tratadas mais especificamente em outro capítulo com informações importantes sobre a resolução requerida e o número de pontos a serem considerados no georreferenciamento da imagem, um requisito às vezes de difícil obtenção em locais de baixa ocupação devido à falta de pontos de referência. Outro capítulo é dedicado à comparação de modelos de ajuste do perfil de praia em planta. Outros capítulos se dedicam a técnicas modernas como o radar de penetração de sub-superfícies para avaliação de estruturas sedimentares, o emprego de vídeo-imagem para monitoramento contínuo de processos morfo-sedimentares na zona costeira, o emprego de imagens de satélites e levantamentos LIDAR na identificação de áreas de risco a inundações em função de uma elevação do nível do mar, os efeitos de furacões e riscos associados, os processos erosivos em costas de falésias através de sensores remotos, os riscos geológicos associados à ocorrência de terremotos e o emprego de técnicas de modelagem computacional na reprodução de processos oceanográficos e morfológicos.

Ao longo de quinze capítulos técnicos, precedidos de uma introdução sobre riscos geológicos costeiros, o que dá um balizamento ao conjunto das contribuições, e concluído com um capítulo sobre riscos costeiros no contexto do gerenciamento costeiro integrado, o livro representa uma ajuda valiosa para os que se dedicam ao estudo de processos costeiros num momento em que mudanças significativas nas tendências evolutivas da franja costeira são esperadas devido a ajustes às mudanças na intensidade e frequência destes processos em decorrência das mudanças do clima. Com exceção de um capítulo, escrito em português, todos os outros, apesar de escritos em espanhol, o são de forma clara e de fácil compreensão para o público de língua portuguesa. Os editores e colaboradores estão de parabéns por essa tão valiosa contribuição.

Métodos en Teledetección Aplicada a la Prevención de Riesgos Naturales en el Litoral (2009), 297 páginas.  
Editores: J. Alcántara Carrió, I.D. Correa Arango, F.I. Isla Mendy, M. Alvarado Ortega, A.H.F. Klein, A. Cabrera Hernández y R. Sandoval Barlow

ISBN: 978-84-96023-67-3

CAP01-Introducción a los riesgos geológicos litorales

CAP02 - Huracanes

CAP03 - Costas rocosas

CAP04-Perfiles de playa\_teodolito

CAP05 - Erosion de costas satellite

CAP06- Lidar

CAP07- GPS diferencial y ecosondas

CAP08-Foto aerea

CAP09- Modelos de ajuste

CAP10-Video

CAP11-Modelos\_ numericos

CAP12-Georadar

CAP13- Geofisica marina

CAP14-Neotectonica y paleosismicidad

CAP15-Gestión playas