



WAVE ENERGY CENTRE

# Potencial e Estratégia de desenvolvimento da **energia das ondas** em Portugal



# Potencial e Estratégia de desenvolvimento da **energia das ondas** em Portugal

Relatório elaborado pelo  
**WAVE ENERGY CENTRE – CENTRO DE ENERGIA DAS ONDAS**

**2004**



<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>5</b>
1.1 Enquadramento do estudo .....	5
1.2 Objectivos do estudo e metodologia utilizada .....	6
1.3 Apresentação do relatório .....	7
<b>2. TECNOLOGIAS DE EXTRACÇÃO DE ENERGIA DAS ONDAS.....</b>	<b>8</b>
2.1 Aspectos genéricos sobre a tecnologia do aproveitamento da energia das ondas.....	8
2.2 Classificação dos sistemas de extracção.....	10
2.3 Descrição dos sistemas de extracção.....	11
2.3.1 Centrais de Coluna de Água Oscilante.....	11
2.3.2 WaveDragon.....	13
2.3.3 Pelamis.....	14
2.3.4 AWS .....	15
2.3.5 AquaBuOY.....	17
2.3.6 OPT ‘Power Buoy’ .....	18
2.4 Parques de energia das ondas .....	19
2.5 Cabos eléctricos submarinos.....	20
2.6 Sinalização.....	21
2.7 Rede eléctrica nacional de transporte junto à costa .....	22
<b>3. POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO EM PORTUGAL CONTINENTAL.....</b>	<b>23</b>
3.1 Caracterização da faixa entre os 50 e 80 metros de profundidade.....	23
3.2 Condicionantes ambientais .....	24
3.2.1 Reservas Naturais .....	24
3.2.2 Impacte Ambiental de sistemas de energia das ondas.....	25
3.3 Condicionantes relacionados com a actividade da pesca.....	27
3.4 Condicionantes resultantes da navegação .....	29
3.5 Condicionantes relacionadas com a pesquisa e exploração de hidrocarbonetos .....	30
3.6 Outras condicionantes.....	30
3.7 Zonas potencialmente utilizáveis e possíveis áreas de concessão .....	31
<b>4. ECONOMIA DA ENERGIA DAS ONDAS .....</b>	<b>33</b>
4.1 Avaliação e Identificação de Custos.....	33
4.2 Viabilidade económica.....	34
4.3 Evolução dos custos, produtividade e tarifa.....	36
<b>5. IMPACTO POTENCIAL DA ENERGIA DAS ONDAS EM PORTUGAL.....</b>	<b>38</b>
5.1 Impacto energético.....	38
5.2 Impacto socio-económico .....	38
5.3 Outros impactes .....	39



<b>6. ENQUADRAMENTO LEGAL E FINANCEIRO.....</b>	<b>40</b>
6.1 Licenciamento de parques de energia das ondas .....	40
6.2 Financiamento de sistemas e de parques de energia das ondas .....	42
6.3 Estratégia nacional e instrumentos de apoio ao desenvolvimento da energia das ondas em Portugal	44
<b>7. CONCLUSÕES.....</b>	<b>47</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>49</b>
<b>LEGISLAÇÃO .....</b>	<b>50</b>
<b>ANEXOS</b>	
<b>ANEXO 1   CAPACIDADE TÉCNICA-CIENTÍFICA EM ENERGIA DAS ONDAS EM PORTUGAL .....</b>	<b>52</b>
<b>ANEXO 2   ENTIDADES CONTACTADAS PARA O ESTUDO.....</b>	<b>61</b>
<b>ANEXO 3   REDE ELÉCTRICA DE TRANSPORTE.....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXO 4   MAPA DE CONDICIONANTES NA COSTA ATLÂNTICA PORTUGUESA .....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXO 5   IMPACTES AMBIENTAIS.....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXO 6   METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE CUSTOS.....</b>	<b>70</b>



# 1. Introdução

## 1.1 Enquadramento do estudo

Embora as primeiras patentes de sistemas para aproveitamento da energia das ondas tenham aparecido no final do século XVIII, apenas a meados do século XX, no Japão, apareceu a primeira aplicação industrial com a utilização da energia das ondas em bóias de sinalização marítima. Contudo, o desenvolvimento de tecnologia de aproveitamento de energia das ondas para a produção de energia eléctrica em mais larga escala teve início anos mais tarde, a meados da década de 1970, na sequência do primeiro choque petrolífero. Desde então tem havido um esforço mais ou menos continuado, em diversas partes do mundo, nomeadamente na Europa (Reino Unido, Noruega, Dinamarca, Suécia, Portugal e Irlanda), Ásia (Japão, China, Índia e Austrália) e América (Estados Unidos e México)<sup>1</sup>. Esse esforço iniciou-se com investigação de natureza fundamental (teórica e experimental) e prosseguiu com investigação cada vez mais aplicada, até aos dias de hoje, em que se assiste ao teste dos primeiros protótipos em alto mar. Paralelamente, os principais interventores nesta área deixaram de ser cientistas e universitários, para passarem a incluir técnicos e engenheiros integrados em empresas envolvidas no desenvolvimento dos protótipos referidos e na prestação de serviços e fornecimentos diversos necessários à construção, instalação e teste no mar desses protótipos, bem como em preparar o caminho para o desenvolvimento industrial desta tecnologia. A este propósito refere-se que no *Workshop* em Normalização e Certificação em Energia dos Oceanos, realizado em Agosto de 2004 na Escócia, aquando da inauguração do Centro Europeu de Energia Marítima, os cientistas e universitários representavam apenas 1/10 dos cerca de 40 participantes.

Com quatro diferentes tecnologias de extracção de energia das ondas em fase de teste no mar (OWC, AWS, Pelamis e Wave Dragon – ver capítulo 2) e outras numa fase de desenvolvimento um pouco mais atrasada, e o anúncio de um parque de uma quinta tecnologia a ser instalado em 2005 no Mar Cantábrico, em Espanha, pela associação da Iberdrola com a empresa americana OPT (Ocean Power Technologies) detentora da tecnologia, há a convicção de que a tecnologia do aproveitamento de energia das ondas está numa fase crítica de evolução, que poderá estar concluída dentro de dois ou três anos, sendo este o intervalo de tempo disponível para quem, país ou empresa, quiser vir a desempenhar um papel importante nesta área.

O presente estudo pretende chamar a atenção para o impacte que esta forma de energia pode vir a ter para Portugal e para as empresas nacionais, a nível da produção de energia renovável, criação de emprego, inovação e exportação de bens e serviços, bem como para as barreiras que se colocam ao seu desenvolvimento e utilização e formas de as ultrapassar e, ainda, para as vantagens comparativas de Portugal nesta área.

As nossas vantagens comparativas resultam das características da nossa costa (recurso energético médio alto, águas profundas relativamente próximas da costa), da disponibilidade das infra-estruturas de suporte ao longo da costa (portos, estaleiros de reparação naval e rede eléctrica nacional), condições de compra da energia produzida (tarifa e obrigatoriedade da compra) e de relevantes conhecimentos técnico-científicos nesta área.

Sobre este último ponto é de acentuar que os estudos na área do aproveitamento da energia das ondas se iniciaram há quase 30 anos em Portugal (inicialmente no Instituto Superior Técnico e um pouco mais tarde no INETI), de onde resultou uma muito significativa capacidade técnica-

<sup>1</sup> Para mais informações sugere-se a leitura de “Aproveitamento da Energia das Ondas: Panorama e Perspectivas”, António F. O. Falcão, anais da ENER04, Figueira da Foz, 6-7 de Maio de 2004.



científica, para o que se remete o leitor para o Anexo I deste relatório. De uma forma muito sucinta, refere-se que a equipa de investigação em energia das ondas do IST/INETI participou ou participa desde 1992 em 14 dos 22 projectos comunitários neste domínio, tendo liderado seis, foi responsável pela elaboração de 8 teses de doutoramento e 9 de mestrado defendidas no IST e pela publicação de 41 artigos científicos em revista da especialidade e 112 artigos científicos publicados em anais de conferências científicas. Para além disso, foi português o Presidente do 1º Congresso Europeu de Energia das Ondas, foi realizado em Portugal o 2º destes congressos e desde sempre tem havido um português na sua Comissão Científica. A equipa do IST/INETI esteve na génese da central piloto europeia do tipo OWC construída na ilha do Pico, nos Açores, e colaborou em outras duas centrais piloto, a de LIMPET (também do tipo OWC), na ilha de Islay, Escócia, e a central piloto AWS instalada junto à Póvoa do Varzim. Para além destas duas instituições de I&D referidas, a construção da central da ilha do Pico e a instalação da central AWS envolveram um número importante de empresas, de onde se salientam a Electricidade de Portugal, a Electricidade dos Açores, a EFACEC, a Profabril, a Consulmar, a PROET, a Marques, no caso da central do Pico e a Blue Edge, os Estaleiros Navais de Viana do Castelo, a Oliveira Fernandes e a Levantamentos Batimétricos no caso da central AWS.

Actualmente está em desenvolvimento um projecto para instalação de uma central de energia das ondas semelhante à do Pico no molhe norte a construir na Foz do Douro, um projecto liderado pela Consulmar, envolvendo também o Instituto Português e dos Transportes Marítimos, a Enernova, o IST, o INETI e o Centro de Energia das Ondas.

## 1.2 Objectivos do estudo e metodologia utilizada

O presente estudo tem por objectivo reflectir sobre o potencial impacte que a energia das ondas poderá ter para Portugal, caso se venha a afirmar como uma alternativa tecnologicamente fiável e economicamente viável, e sobre a estratégia nacional a adoptar para que esse potencial venha a ser atingido. É do balanço entre o potencial da energia das ondas para o país, o custo de desenvolvimento e os riscos inerentes que deve sair a estratégia a adoptar.

Para tal é necessário avaliar qual o potencial de utilização desta forma de energia em termos de produção de energia renovável, criação de empregos, inovação tecnológica e exportação de bens e serviços. Esse potencial está ligado a aspectos intrínsecos à própria tecnologia, nomeadamente à sua fiabilidade e viabilidade, mas também com limitações decorrentes da sua aplicação em Portugal. Deste último aspecto salientam-se os conflitos de ordem ambiental e de utilização do espaço e também os associados à limitada capacidade tecnológica e de inovação nacionais. A adopção de uma política nacional adequada para esta área, poderá ajudar a atrair inovação e investimento estrangeiro, e permitir que, em ligação com as suas congéneres estrangeiras, as empresas portuguesas participem desde cedo no desenvolvimento industrial e na comercialização desta tecnologia à escala mundial nesta área.

O estudo foi desenvolvido com recurso a literatura específica sobre este assunto, nomeadamente o relatório final da rede europeia “European Thematic Network on Wave Energy” (WaveNet), envolvendo 14 organizações/instituições europeias ligadas ao sector da energia das ondas. No âmbito deste projecto financiado pela Comissão Europeia foram abordados diversos aspectos ambientais, técnicos e económicos da energia das ondas a nível europeu, com o objectivo de identificar potenciais barreiras ao desenvolvimento da energia das ondas (Wavenet, 2003). No



presente documento alguns destes aspectos são particularizados para a costa Atlântica portuguesa. Para tanto foram contactadas as principais entidades nacionais com jurisdição marítima, nomeadamente as relacionadas com as actividades marítimas de navegação, pesca, exercícios militares, passagem de cabos submarinos, actividades de pesquisa de hidrocarbonetos e zonas de reserva natural.

Para avaliar a potencial utilização de energia das ondas identificaram-se as diferentes zonas do domínio marítimo que estão sujeitas a restrições de algum tipo. Este estudo foi orientado para as actividades existentes entre as batimétricas dos 50 m e 80 m ao largo da costa ocidental portuguesa, tendo em atenção que a travessia dos cabos eléctricos submarinos para terra envolve também algum cuidado com restrições existentes na orla costeira. Para tanto foram realizadas reuniões com as diversas entidades com jurisdição no domínio marítimo e consultadas a legislação e as cartas marítimas pertinentes, como será descrito no capítulo III deste relatório.

A reflexão sobre a estratégia nacional a adoptar teve em conta as estratégias seguidas noutros países, a legislação nacional relevante, e sobretudo a experiência adquirida com a execução dos programas nacionais de apoio, a dinâmica da administração pública portuguesa e o conhecimento do tecido empresarial nacional.

### 1.3 Apresentação do relatório

Na secção 2 são apresentados os sistemas em fase de teste no mar e os que, estando em fase mais atrasada, envolvem parceiros nacionais, com indicação dos equipamentos utilizados e da adequabilidade para serem construídos em Portugal. São também abordados aspectos relacionados com a sinalização, cabos eléctricos submarinos e rede eléctrica de transporte e indicada uma possível configuração dos parques de energia das ondas.

A secção 3 debruça-se sobre uma análise do potencial de utilização da energia das ondas *offshore* ao longo da costa Oeste Portuguesa, com base na identificação dos principais condicionantes na faixa dos 50 a 80 metros de profundidade resultantes de eventuais conflitos de utilização simultânea do espaço marítimo. São ainda abordados os possíveis impactes ambientais. Como resultado deste estudo é indicada uma localização provável das zonas para instalação de futuros parques de energia das ondas.

A secção 4 centra-se sobre os aspectos económicos da energia das ondas seguindo a abordagem desenvolvida pelo DTI – *Department of Trade and Industry*, do Reino Unido. É apresentado o método de determinação de custos de um dispositivo e indicadas estimativas de custo relativamente a alguns dispositivos. É finalmente mencionada a evolução dos custos, produtividade e tarifas.

Na secção 5 apresenta-se a caracterização da produção potencial de energia eléctrica na costa portuguesa e aborda-se o impacto socio-económico desta actividade.

A secção 6 apresenta uma reflexão sobre a estratégia nacional para o aproveitamento da energia das ondas, que inclui aspectos relativos ao licenciamento dos parques, evolução da tarifa e mecanismos de apoio ao desenvolvimento da tecnologia e à participação de empresas e outras instituições nacionais nesse desenvolvimento.

Na secção 7 são apresentadas as principais conclusões deste trabalho.



## 2. Tecnologias de extracção de energia das ondas

### 2.1 Aspectos genéricos sobre a tecnologia do aproveitamento da energia das ondas

Na sua forma mais simples as ondas são apresentadas como ondas sinusoidais, caracterizadas por uma amplitude  $A$  e um período  $T$ , sendo a sua superfície livre  $\eta$  dada por

$$\eta = A \cos(\omega t - kx) \quad (2.1)$$

em que  $\omega = 2\pi/T$  é a frequência da onda,  $t$  é o tempo,  $x$  o ponto do espaço na direcção de propagação da onda e  $k = 2\pi/L$  o número de onda ( $L$  é o comprimento de onda), relacionado com a frequência e a profundidade da água no local  $h$  por

$$k = \frac{\omega^2}{g} \coth(kh) \quad (2.2)$$

em que  $g$  é a aceleração da gravidade. Ao dobro da amplitude é chamada a altura da onda,  $H=2A$ . Ao propagar-se, a onda transporta consigo um fluxo de energia que é proporcional ao período da onda e ao quadrado da sua amplitude.

Por razões de ordem hidrodinâmica, os sistemas de extracção de energia das ondas são muito sensíveis ao período da onda. A eficiência máxima de aproveitamento de energia obtém-se para uma onda cuja frequência é idêntica à frequência própria de oscilação (isto é àquela a que o sistema fica a oscilar quando é perturbado da sua posição de equilíbrio). Como a equação (2.2) mostra há uma relação entre a frequência e o comprimento de onda. Desta forma há também uma relação entre o comprimento de onda e a dimensão do sistema de absorção para uma extracção de energia eficiente. Quanto mais a frequência (e o comprimento de onda) se afastam do óptimo, menor a eficiência de extracção de energia. A taxa com que a eficiência de extracção de energia decresce com a frequência é uma característica de cada sistema de extracção e pode variar significativamente com o tipo de sistema. O mesmo é verdade em geral com a direcção de propagação da onda, sendo óbvio que sistemas de extracção com simetria axial não são afectados por este parâmetro.

Os sistemas de aproveitamento de energia das ondas possuem equipamentos que permitem produzir energia eléctrica. Conforme os sistemas de aproveitamento de energia das ondas, estes equipamentos podem ser turbinas de ar, turbinas de água ou sistemas hidráulicos acoplados a geradores eléctricos, ou geradores eléctricos lineares acoplados directamente às partes móveis dos sistemas de extracção. Em qualquer dos casos, estes equipamentos são eficientes numa banda de potências que normalmente é limitada superiormente pela potência nominal do equipamento e inferiormente por uma fracção deste valor, que depende do tipo de equipamento. Assim, se a potência da onda for excessivamente baixa, ou excessivamente alta, o sistema opera com muito baixa eficiência.

Em conclusão o rendimento de conversão de energia depende das características da onda incidente, nomeadamente do período e altura da onda e, em geral, da sua direcção de propagação.

Na realidade as ondas do mar não são sinusoidais, mas podem ser representadas como a sobreposição de ondas sinusoidais de diferentes amplitudes, frequências e direcções de propagação. Define-se, então, e por semelhança com as ondas sinusoidais, uma altura significativa (relacionada com a altura média), um período médio (de facto existem diversas formas de o definir) e uma direcção de propagação média. Para além dos valores médios, as ondas do mar são caracterizadas pela forma como a energia se distribui em frequência e por direcção de propagação, o que leva ao

conceito de espectro direccional (distribuição da energia das ondas conjuntamente por frequência e por direcção de propagação) e de espectro de frequência (distribuição da energia apenas por frequência, independentemente da direcção de propagação).

A caracterização do clima de ondas de um determinado local pressupõe, portanto, que se conhece o fluxo médio de energia transportado pelas ondas, o diagrama de ocorrências, a distribuição do fluxo de energia por rumos de propagação de onda e as formas espectrais dominantes no local. O fluxo médio de energia é normalmente expresso em kW por metro de frente de onda (ou MW por Km de frente de onda). O diagrama de ocorrências é uma tabela com a probabilidade de ocorrência dos estados de mar definidos por intervalos de altura significativa e período, sendo comum definirem-se intervalos de 2 m para as alturas significativas e de 1 segundo para os períodos. A distribuição de direcções é apresentada sob a forma de uma “rosa de ventos” com os traços proporcionais à energia incidente em cada direcção.

$H_s$ (m)	$T_p$ (s)									
	<6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	>14
4.0-4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.1	0.1	0.3	0.2
3.5-4.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0
3.0-3.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	1.4	3.2	1.1	0.0	0.0
2.5-3.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.3	2.3	4.2	0.8	0.0	0.1
2.0-2.5	0.0	0.0	0.4	0.1	3.0	3.8	2.7	0.7	0.0	0.0
1.5-2.0	0.1	0.1	0.0	2.3	5.0	9.0	5.5	0.3	0.0	0.0
1.0-1.5	0.0	0.0	2.2	8.7	8.6	3.2	1.8	0.5	0.0	0.0
0.5-1.0	0.0	0.3	4.7	5.6	3.5	4.4	1.7	0.0	0.0	0.0
0.0-0.5	0.6	0.3	1.8	2.2	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Figura 1. Diagrama de distribuição da agitação marítima em Porto Cachorro, Pico, Açores

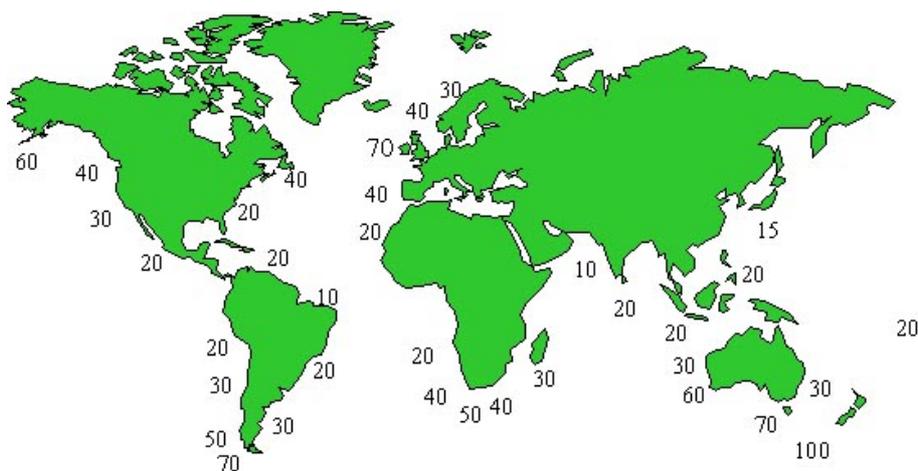


Figura 2. Distribuição do fluxo médio de energia das ondas no mundo em kW/m ou MW/km.



Apresentam-se nas Figs. 1 e 2, respectivamente, o diagrama de ocorrências no local onde está implantada a central do Pico e a distribuição do fluxo médio de energia das ondas no mundo. Nele se pode ver que, com 40 MW/km, Portugal tem um recurso médio-alto em termos mundiais e que no mundo, existe uma elevadíssima extensão de costa com recursos idênticos ou superiores ao nosso, o que significa que, a ser desenvolvida com sucesso, a energia das ondas tem um potencial de aplicação elevadíssimo a nível mundial.

## 2.2 Classificação dos sistemas de extracção

Ao longo de várias décadas têm surgido diversos tipos de dispositivos que se encontram actualmente em níveis diferentes de desenvolvimento. Existem alguns critérios de classificação propostos, sendo o mais comum o adoptado em Wavenet (2003), em que a distinção de dispositivos é feita com base no local de instalação.

Os dispositivos de extracção de energia das ondas podem ser instalados na costa, em águas pouco profundas ou ao largo, em águas de maior profundidade. De acordo com a localização dos dispositivos é habitual classificá-los em:

- i) dispositivos sobre a costa, ou de primeira geração,
- ii) dispositivos próximos da costa, assentes no fundo entre 10 a 25 m de profundidade, ou de segunda geração,
- iii) dispositivos ao largo, ou de terceira geração.

Na literatura inglesa é comum designá-los, respectivamente por dispositivos *onshore*, *nearshore* e *offshore*.

Os dispositivos costeiros revelam vantagens importantes em termos de facilidade de acesso e ausência de amarrações, mas apresentam alguns inconvenientes nomeadamente restrições em termos da sua localização associadas a requisitos de profundidade de água e boa exposição, maior impacto ambiental, sobretudo visual e um nível de potência média das ondas mais reduzido, em relação ao largo, devido aos efeitos dissipativos de energia por rebentação e atrito no fundo.

O sistema **coluna de água oscilante** (CAO) é a tecnologia mais conhecida e mais investigada. No caso de estarem assentes no fundo, junto à costa, constituem sistemas de “primeira geração”. São deste tipo a central piloto europeia construída na ilha do Pico, Açores, e a central *LIMPET* na ilha de Islay, Escócia construída pela empresa Wavegen. A experiência com a construção e operação deste tipo de centrais levou ao desenvolvimento da “segunda geração” incorporando algumas modificações no seu projecto e incluindo sistemas próximos da costa e do tipo de absorção pontual. A “terceira geração” corresponde aos dispositivos projectados para capturar energia em águas profundas, instalados ao largo da costa.

Os dispositivos flutuantes instalados ao largo, além de permitirem explorar mais plenamente o recurso energético em águas de maior profundidade, apresentam menos restrições quanto à sua localização e têm certamente um menor impacto visual. Estes dispositivos têm, no entanto, de lidar com diversas dificuldades relacionadas principalmente com a sua manutenção, transporte de energia para terra e processos de ancoragem ao fundo. Os dispositivos *offshore* que tem sido propostos apresentam princípios de funcionamento bastante distintos. São neste relatório mencionados os que já atingiram um nível avançado de desenvolvimento ou estão actualmente em fase de testes no mar, nomeadamente:



- **Archimedes Wave Swing (AWS)**, dispositivo de absorção pontual, completamente submerso concebido pela empresa holandesa Teamwork Technology, com colaboração do Instituto Superior Técnico. Uma unidade piloto de 2 MW foi instalada no Verão de 2004 ao largo da Póvoa do Varzim pela Oceanergía em colaboração com a Teamwork Technology.  
(<http://www.waveswing.com>)
- **WaveDragon**, dispositivo de galgamento concebido pela empresa dinamarquesa Wave Dragon Aps e comercializado pela empresa SPOK Aps.  
(<http://www.wavedragon.net>)
- **Pelamis**, dispositivo semi-submerso concebido e comercializado pela empresa escocesa Ocean Power Delivery Lda (OPD). Espera-se que no decorrer de 2005 venham a ser instaladas 4 unidades deste sistema em Portugal, em resultado de uma colaboração entre a OPD e a Enersis.  
(<http://www.oceanpd.com>)
- **AquaBuOY** dispositivo comercializado pela empresa AquaEnergy Group, Ltd. que resulta da combinação de dois tipos de tecnologias, desenvolvidas por uma empresa sueca, designadamente: o dispositivo “IPS Buoy” do tipo absorção pontual e o dispositivo conhecido por “Hose-Pump”. O consórcio que desenvolve este sistema apoia-se parcialmente em empresas e instituições de I&D portuguesas.  
(<http://www.aquaenergygroup.com>)
- **OPT ‘Power Buoy’**, bóia submersa comercializada pela companhia norte-americana Ocean Power Technology (OPT). Está prevista a construção de um parque destes sistemas no Mar Cantábrico em 2005, por associação com a Iberdrola.

## 2.3 Descrição dos sistemas de extracção

No que se segue são apresentadas as características técnicas dos sistemas acima referidos. Do ponto de vista técnico qualquer destes dispositivos podem ser instalados em Portugal, ou na costa, caso dos sistemas de coluna de água oscilante assentes no fundo, ou em profundidades de 50-80 m, caso dos sistemas *offshore*, permitindo aproveitar o elevado recurso energético disponível ao largo.

### 2.3.1 Centrais de Coluna de Água Oscilante

O sistema coluna de água oscilante (CAO – ver Fig. 3) consiste numa estrutura oca semi-submersa de betão ou aço, no interior da qual existe uma câmara de ar que está em contacto com o mar exterior, através de uma abertura na parte submersa da parede frontal da estrutura. É através desta abertura que as ondas se propagam para o interior da estrutura, provocando a oscilação vertical da superfície livre interior. Na fase de subida da superfície livre ocorre a compressão do ar interior, que flui para a atmosfera através de uma conduta que contém uma turbina de ar à qual está acoplada um gerador eléctrico. O processo inverso ocorre na fase de descida da onda.

A CAO é a tecnologia mais investigada até à data com protótipos instalados em vários países, nomeadamente a Escócia, o Japão, a Índia, a China e Portugal (Açores). No passado existiu uma central deste tipo na Noruega e prevê-se a construção de uma central na Austrália em 2005.

A potência destas centrais depende do número de turbinas instaladas, sendo habitual utilizar grupos de cerca de 0,5 MW de potência instalada. Este limite tem a ver com as amplitudes de pressão de ar



caixotões. Esta solução deverá ser implementada na cabeça do novo molhe Norte a construir na Foz do Douro, num projecto que envolverá a Consulmar (projectista), IPTM e Erenova e que deverá ser lançado no início de 2005. Existem igualmente planos para a instalação de uma CAO integrada num quebramar em Mutriku, no País Basco, tendo sido realizados estudos preliminares pelo IST para a empresa EVE (Ente Vasco de Energia).

No futuro, prevê-se que venham a ser construídas centrais de CAO flutuantes, para aplicação *offshore*. Estas centrais de CAO de 3ª geração deverão beneficiar da experiência adquirida com as centrais integradas em quebramares, que podem ser vistas como uma oportunidade de desenvolver a tecnologia a baixo custo. Existem contactos com um consórcio irlandês para o desenvolvimento conjunto de centrais de CAO flutuantes de 3ª geração.

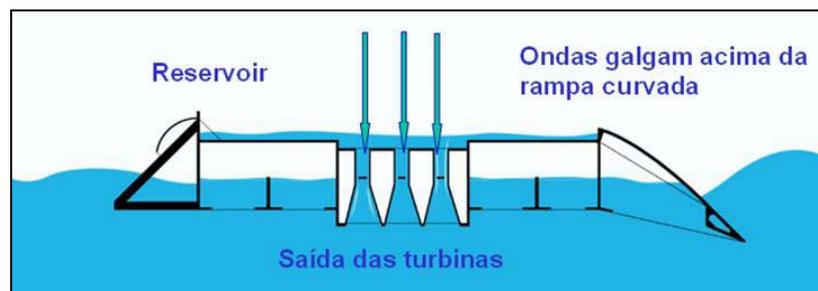
### 2.3.2 WaveDragon

O Wave Dragon (Fig. 4) é um dispositivo flutuante para aplicação no alto mar. O seu princípio de funcionamento baseia-se na acumulação de água num reservatório sobrelevado relativamente ao nível médio da superfície livre do mar. A água acumulada é devolvida ao mar através de turbinas hidráulicas Kaplan de baixa queda que accionam geradores eléctricos de fabrico comum. A acumulação da água no reservatório sobrelevado produz-se através do galgamento de uma rampa inclinada pela onda. Para aumentar o desnível de galgamento, existem dois reflectores parabólicos colocados a montante da rampa que nela concentram a onda incidente.

Para além da estrutura metálica, que inclui os dois concentradores parabólicos, este sistema requer as turbinas Kaplan, os geradores eléctricos, os sistemas de aquisição e controlo, os sistemas auxiliares e o sistema de amarração. Todas estas peças são de fabrico acessível à indústria nacional.

Desde Maio de 2003 que uma central piloto de 20 kW de potência máxima está a funcionar em Nissum Bredning/Dinamarca, uma zona marítima protegida no mar do Norte, a uma profundidade de 6 m. A estrutura deste dispositivo tem um peso absoluto de 260 toneladas, o reservatório tem as dimensões de 26 m x 17 m x 3.6 m e uma capacidade de 55 m<sup>3</sup> e a boca do dispositivo à entrada dos concentradores parabólicos (envergadura) é de 58 m.

Para as condições de agitação no Atlântico seria necessário um sistema 5 vezes maior. Esse dispositivo, a instalar em águas de profundidade superior a 20 metros, teria uma potência instalada de cerca de 3-4 MW e possuiria as seguintes características: estrutura em aço/betão com um peso total de 22000 toneladas, envergadura total de cerca de 260 m, reservatório com capacidade de 5000 m<sup>3</sup> (120 m x 50 m x 16 m), 16 turbinas Kaplan. A produção anual esperada de uma central com estas características seria na ordem dos 12 GWh.





**Figura 4.** Wavedragon. Esquema de funcionamento (em cima) e central piloto no local de teste em Nissum Bredning/Dinamarca (<http://www.wavedragon.net>, 2004)

Para além das dificuldades económicas, comuns às restantes tecnologias de aproveitamento de energia das ondas (ver Capítulo IV), o principal ponto fraco deste sistema parece ser o do perigo de perda do único ponto de amarração, caso em que ficaria à deriva. Este é com certeza um aspecto que será fruto de estudo em versões posteriores do sistema.

### 2.3.3 Pelamis

O Pelamis é uma estrutura semi-submersa composta por vários cilindros horizontais, ligados entre si por articulações e disposto segundo a direcção de incidência das ondas. O movimento das articulações provocado pela ondulação é resistido por cilindros hidráulicos que bombeiam óleo em alta pressão para motores hidráulicos. Os motores hidráulicos accionam geradores eléctricos, sendo a electricidade produzida por todas as articulações transportada num único cabo umbilical para um ponto de ligação no fundo. O sistema de amarração do dispositivo consiste numa combinação de flutuadores e pesos, evitando tensões excessivas nos cabos de amarração, mas permitindo a orientação dinâmica do dispositivo em relação à frente de onda. A instalação do dispositivo é relativamente independente da profundidade de água e das condições geomorfológicas do fundo. Tal como o Wavedragon este dispositivo foi desenvolvido com base na utilização de tecnologias existentes (sistema de amarração, sistema hidráulico, gerador e cabos eléctricos). A estrutura e a generalidade dos equipamentos referidos podem ser fornecidos em Portugal, embora, como nas outras tecnologias, haja componentes que não haverá interesse em produzir em Portugal, tal como os cabos eléctricos e alguns componentes hidráulicos.

O protótipo construído e actualmente testado em Orkney/Escócia tem um comprimento de 120 m, é composto por 3 secções cilíndricas, com diâmetro de 3,5 m e disponibiliza uma potência máxima de  $3 \times 250 \text{ kW} = 750 \text{ kW}$ . Cada secção contém um módulo completo de geração de energia eléctrica. Independentemente das características do local da instalação, a OPD prevê uma produção média até cerca de 40% da potência instalada (isto é, até 3500 horas equivalentes de funcionamento à potência nominal).



**Figura 5.** Protótipo de 750 kW; vista da parte dianteira durante a construção (esq.), reboque do dispositivo para o local da colocação (dir.); (<http://www.oceanpd.com>, 2004)

#### 2.3.4 AWS

O AWS é um dispositivo cilíndrico de absorção pontual, completamente submerso com um corpo superior oco (flutuador) que oscila verticalmente sobre uma base fixa também oca. O interior dos dois corpos é preenchido por ar sob pressão, de tal forma que, na ausência de ondas, a pressão do ar interior produz uma força ascendente sobre o flutuador que equilibra o seu peso e a força resultante da pressão hidrostática produzida pela água exterior. Durante a passagem de uma onda, a pressão exterior oscila em torno da pressão hidrostática, provocando a oscilação vertical do flutuador sobre a base num processo em que o ar interior actua como mola pneumática, produzindo uma força vertical de restituição. Esta acção de mola do ar interior é parcialmente anulada por um cilindro de nitrogénio na central piloto de 2 MW (escala 1:2) instalada ao largo da Póvoa do Varzim, pois há um equilíbrio entre a pressão interior, a massa do flutuador e a pressão hidrostática exterior, que não é atingido plenamente no caso da central piloto devido ao seu reduzido diâmetro de 9 metros. Este equilíbrio resulta da necessidade de evitar que a água exterior entre para o interior do flutuador e da base e, inversamente, que o ar interior se escape para o exterior. Prevê-se que a mola de nitrogénio não venha a ser necessária nas unidades à escala 1:1. A mola pneumática e a massa do flutuador, são projectadas para estar em ressonância com a frequência dominante das ondas incidentes e dentro de limites podem ser ajustadas dinamicamente. O movimento entre o flutuador e a base é utilizado para actuar um gerador de indução linear que liga estas duas partes do AWS, desta forma convertendo directamente a energia mecânica contida neste movimento em energia eléctrica.

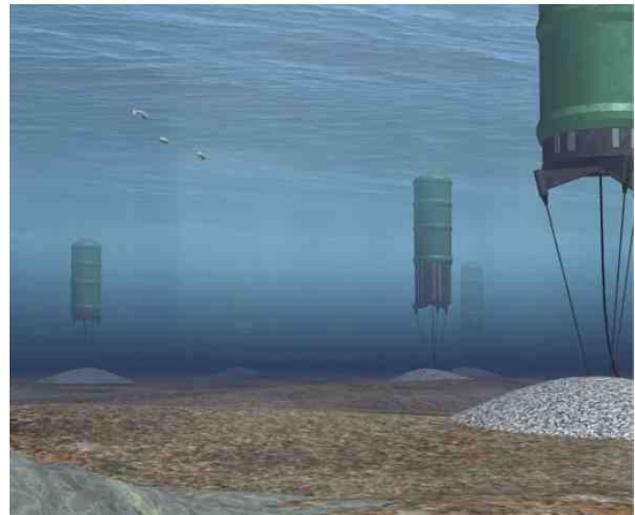
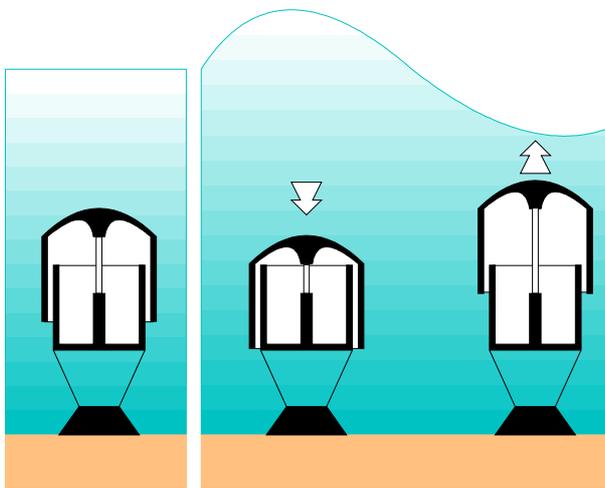
O dispositivo AWS relativamente a outros dispositivos apresenta a vantagem de ser completamente submerso, eliminando desta forma possíveis impactes visuais e, por outro lado, evitando a acção destruidora das ondas junto à superfície em mar tempestuoso.

Foi muito recentemente instalada uma central piloto de 2 MW ao largo de Póvoa de Varzim (ca. de 6 km da costa, em 43 m de profundidade). A sua estrutura, em aço, foi construída na Roménia e rebocada para montagem final em Viana do Castelo. Esta central, projectada para realização de testes, foi construída sobre uma barcaça com mecanismos de submersão e emersão para facilitar as operações de manutenção. Esta solução construtiva não será seguida nas unidades à escala 1:1. A submersão da central piloto foi muito mais complexa do que inicialmente se previa, tendo sido desenvolvido, após duas tentativas falhadas, um novo sistema de submersão, com base numa

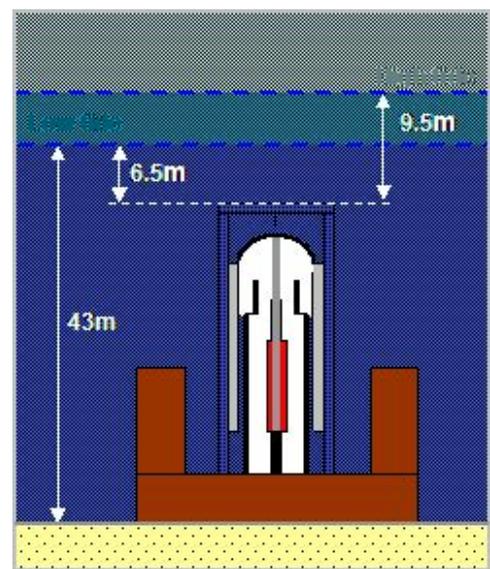
simulação matemática rigorosa do processo, que permitiu efectuar com sucesso a submersão do dispositivo em Maio de 2004.

O dispositivo final a desenvolver será ancorado no fundo, sem pontão e terá uma potência máxima de cerca de 9,5 MW e um diâmetro do cilindro exterior de cerca de 12 m (Waveswing, 2004). Note-se que esta é a potência máxima instantânea, enquanto a potência média num ciclo de onda é de cerca de metade.

O AWS está a ser analisado pelo *Carbon Thrust Marine Energy Challenge* tendo em vista o estabelecimento de um acordo de cooperação semelhante ao que está ser desenvolvido para os outros sistemas de extracção de energia referidos neste texto.



**Figura 6.** AWS. Esquema de funcionamento do sistema (esq.) e antevisão do dispositivo da próxima geração (www.waveswing.com, 2004)



**Figura 7.** Central piloto AWS rebocada do porto de Viana do Castelo (esq.) e posição esquemática (dir). (www.waveswing.com, 2004)

### 2.3.5 AquaBuOY

O AquaBuOY é um dispositivo do tipo de absorção pontual que está a ser desenvolvido pela AquaEnergy Group, Ltd. É baseado em duas tecnologias precedentes: o dispositivo de absorção pontual desenvolvido pela empresa Interproject Service (IPS) e o dispositivo designado por *Hose-Pump* desenvolvido pela Technocean, ambas empresas suecas.

O sistema IPS Buoy é uma bóia circular, fixa por uma amarração flexível permitindo o seu movimento vertical, com um longo tubo vertical sob a bóia, designado por tubo de aceleração. A massa de água amortecedora contida no tubo de aceleração actua como corpo de referência do movimento. O movimento relativo entre a bóia e a massa de água amortecedora é transferido, por um cilindro no tubo de aceleração, para um (sub-) sistema de conversão localizado no corpo do flutuador. No dispositivo ‘Hosepump’ o tubo rígido é substituído por uma conduta de material flexível (geotextil, borracha), dispensando o uso do cilindro, sendo a bombagem de água sob pressão provocada pela extensão e compressão periódica da conduta flexível.

O sistema de conversão previsto para o protótipo Aquabuoy é uma turbina Pelton, que ainda não foi utilizada por outros dispositivos. Relativamente a este dispositivo não existem muitos detalhes publicados sobre o seu modo de funcionamento.

Em 2003 foi assinado um contrato de compra para a energia eléctrica proveniente de um sistema Aquabuoy em Port Angeles, no estado de Washington. O parque demonstrador consiste em 4 dispositivos a serem instalados em Makah Bay, ca. de 5 km afastado da costa, previsto para o Verão de 2004., com uma capacidade instalada de 4 x 250 kW.

À semelhança do Wave Dragon e Pelamis, o AquaBuOY foi um dos oito dispositivos aos quais foram atribuídos contractos no âmbito do programa do *Carbon Trust “Marine Energy Challenge”*, criado com participação do governo, com o objectivo de apoiar projectos escolhidos em estados de desenvolvimento distintos (entre conceito inicial e protótipo existente).



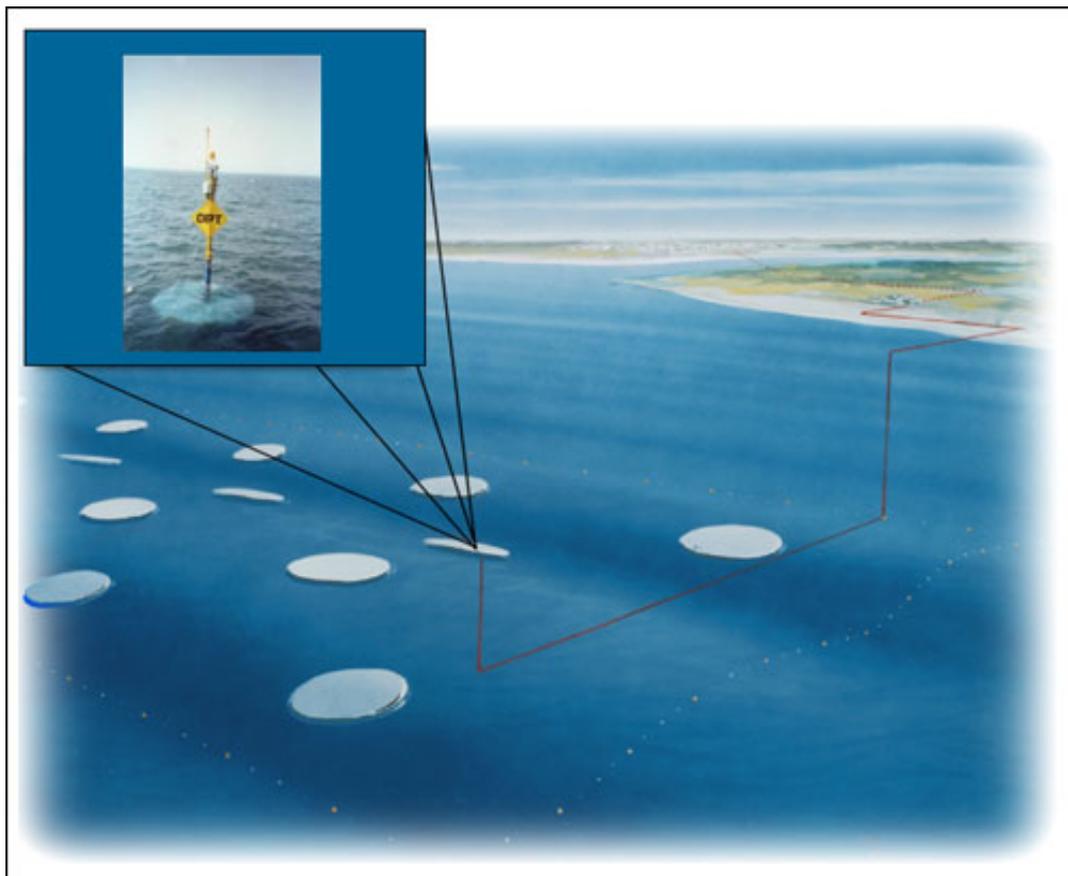
Figura 7. IPS Buoy, Hose-Pump e AquaBuOY (da esq. para a dir.)

### 2.3.6 OPT 'Power Buoy'

O dispositivo 'PowerBuoy', comercializado pela companhia Norte-americana OPT (Ocean Power Technology), é constituído por uma bóia submersa a cerca de 1 m da superfície da água, com uma estrutura cilíndrica para aproveitar o movimento induzido pelas ondas. Esta bóia está fixa ao fundo do mar onde se encontra instalado o gerador eléctrico. A bóia é equipada com sensores para a monitorização contínua de rendimento dos sub-sistemas e do ambiente marítimo na vizinhança. O sistema é automaticamente desligado no caso de agitações extraordinárias, e volta a ser ligado automaticamente depois das condições voltarem à normalidade.

Embora não sendo conhecidos detalhes técnicos sobre o dispositivo ou resultados de testes, a empresa tem conseguido passos importantes na sua comercialização, tendo recebido financiamento da US Navy para um projecto no Hawaii, que decorre actualmente.

Em Março de 2004, a companhia de distribuição de electricidade espanhola Iberdrola assinou um contrato com a OPT para realizar um projecto piloto no Mar Cantábrico, entre Santander e Bilbao. O projecto consiste em 10 bóias PowerBuoy, instalados cerca de 800 m afastadas da costa, com um potência instalada inicial de 1,25 MW, estando previsto aumentar até 100 MW em 2006.



**Figura 8.** Antevisão artística de um parque de PowerBuoy (im. tir. de OPT, 2004).



## 2.4 Parques de energia das ondas

Num clima de ondas com uma potência média anual de 30 kW por metro de frente de crista, os estados de mar com uma potência de 120 kW/m<sup>2</sup> são suficientemente frequentes para podem ser tomados como referência para efeitos do dimensionamento de centrais de energia das ondas.

Para dispositivos pontuais<sup>3</sup> de simetria axial sujeitos a oscilações verticais e ondas sinusoidais, a teoria linear das ondas de superfície indica que o limite máximo de extracção de energia das ondas é

$$W = \lambda/\pi \quad (2.3)$$

em que  $\lambda$  é o comprimento de onda. Para ondas de 12 s de período o comprimento de onda é  $\lambda=206$  m em águas de 50 m de profundidade, onde se espera que os dispositivos *offshore* venham a ser instalados. Daí resulta que a potência de projecto disponível para uma central com as características indicadas é de  $W=7,8$  MW. Admitindo um rendimento de 50% em condições de projecto teremos uma potência eléctrica instalada  $W_i=3,9$  MW.

Estima-se que o factor de carga duma central de energia das ondas seja de 25%, ou seja que forneça anualmente a energia equivalente a ¼ das horas do ano à potência nominal, isto é que a central forneça uma energia de 8,5 GWh/ano. Com um afastamento de 200 metros, poderão ser instaladas 5 destas centrais por quilómetro, obtendo-se uma potência instalada de 20 MW por quilómetro e uma produção anual de energia de 42,5 GWh.

Algumas das centrais, por motivos intrínsecos à tecnologia de aproveitamento, não comportam uma potência unitária tão elevada como 3,9 MW. Nesses casos deverão ser colocadas com um afastamento inferior aos referidos 200 metros e eventualmente em várias linhas paralelas à direcção típica da crista das ondas. De facto é de esperar que em algumas das tecnologias a potência instalada em cada central seja de apenas 0,5 MW.

Para manter a potência instalada em cerca de 20 MW por quilómetro de frente de onda (aproximadamente por quilómetro de costa) com centrais com 0,5 MW de potência eléctrica instalada, será necessário colocar 40 centrais por quilómetro paralelo à costa. De modo a manter um afastamento entre centrais de 100 metros, será necessário ter 4 linhas de colocação de centrais com um afastamento entre elas de cerca de 87 metros, o que perfaz uma extensão de 350 metros na direcção dominante da propagação das ondas.

No caso do Pelamis cada central tem um comprimento que pode atingir 125 metros e uma potência instalada de 0,75 MW. Dado disporem de uma amarração flexível, estes sistemas têm que estar suficientemente afastados uns dos outros, da ordem de 200 metros. Nestas condições poderá instalar-se 5 centrais e 3,75 MW por quilómetro paralelo à costa, pelo que serão necessárias 5 linhas de dispositivos para atingir uma potência de cerca de 18,75 MW por quilómetro paralelo à costa. Essas 5 linhas ocuparão cerca de 1 km na direcção perpendicular à costa.

Conclui-se, assim, que os parques de energia das ondas poderão ter uma largura entre 15 m e um 1 km, dependendo da tecnologia a utilizar. O comprimento dos parques depende do impacto sobre a navegação, nomeadamente a pesqueira. Sabendo que as embarcações de pesca se deslocam a uma velocidade de cerca de 5 nós<sup>4</sup>, e tomando como base que o parque fica interdito à navegação e que

<sup>2</sup> O fluxo de energia varia com o quadrado da altura da onda, pelo que este valor corresponde a uma onda com uma altura dupla da onda média, que na costa portuguesa vale cerca de 1,5 metros.

<sup>3</sup> Dispositivos de dimensão muito inferior ao comprimento de onda. Na prática estima-se que estes dispositivos sejam circulares e tenham um diâmetro de cerca de 15 metros.

<sup>4</sup> 5 nós correspondem a cerca 9 km/h.



não será desejável que uma embarcação pesqueira perca mais do que 15 minutos a contornar o parque, somos levados a concluir que deverá haver um corredor de navegação cada 4,5 km. Desta forma, um parque de 100 MW, que deverá ter um comprimento de 5 km, não levantará uma dificuldade muito significativa à navegação pesqueira.

Um parque de 100 MW terá, assim, um comprimento de 5 km e uma largura entre 15 m e 1 km.

## 2.5 Cabos eléctricos submarinos

A utilização de cabos eléctricos submarinos é comum em vários tipos de aplicações, nomeadamente em linhas de transporte de energia eléctrica e em telecomunicações. O que se segue refere-se apenas a questões relativas à colocação dos cabos eléctricos submarinos e resulta duma reunião com técnicos do departamento de cabos submarinos da Marconi, entidade que reúne a maior experiência nacional na colocação e exploração deste tipo de componentes.

Dessa reunião ressalta que a colocação de cabos submarinos é um processo standard que não levanta qualquer problema técnico, embora seja um processo dispendioso e que requer um cuidado especial na escolha do traçado, sobretudo junto à costa, tendo em vista minimizar a ocorrência de danos.

Os tipos de danos que podem ocorrer nos cabos submarinos são diversos, e podem resultar de causas naturais, ligadas a acções naturais (correntes e ondas), ou resultantes da actividade de pesca de arrasto ou do ancoramento de navios no mar (usualmente em profundidades inferiores a 50 metros). Para minimizar a ocorrência de danos nos cabos submarinos é habitual dois tipos de procedimentos: evitar as zonas de desgaste (zonas de rebentação de ondas e zonas de pesca e ancoramento intensas) e promover o enterramento dos cabos até profundidades de água da ordem dos 50 metros de profundidade (a partir da qual a acção das ondas e correntes é menor, a pesca de arrasto é pouco intensa e o ancoramento dos navios pouco frequente). Os estragos feitos por ancoramento de navios tem vindo a ser uma preocupação crescente nos últimos anos devido ao aumento do tráfego marítimo: há 20 anos atrás os maiores problemas estavam relacionados com a pesca (80% pesca, 10% âncoras, 10%diversos), enquanto que actualmente os danos provocados por âncoras representa cerca de 40 a 50% do total. A profundidade de enterramento dos cabos depende principalmente da dureza do fundo. Em áreas de fundos mais duros é mais difícil enterrar os cabos, mas também as âncoras e redes de arrasto têm maior dificuldade em o perfurar. Em zonas rochosas, a evitar, onde não é fácil enterrar os cabos, é habitual o revestimento dos cabos com tubos metálicos colocados por mergulhadores.

É, portanto, necessário delinear um traçado correcto dos cabos submarinos, o que requer um levantamento batimétrico de detalhe, com vista a determinar o tipo de fundo (arenoso, de cascalho, rochoso ou lodoso) e os declives existentes. Este tipo de actividade é já habitual em Portugal.

Já a colocação dos cabos (e o seu fabrico) é realizada por empresas estrangeiras especializadas. A colocação dos cabos requer a utilização de navios especializados que custam entre 60 a 80 mil dólares americanos por dia. É muito habitual gastar-se 10 dias de navio para uma intervenção real de 1 dia, sendo o custo da vinda e ida do navio a principal parcela do custo. Por isso é importante a questão da oportunidade, para tirar partido de um navio em trânsito ou que venha a Portugal para outro trabalho qualquer. A velocidade de colocação dos cabos submarinos no alto mar é de cerca de 10 km/h. Neste caso o cabo é simplesmente lançado, ficando a flutuar a meia coluna devido a pesos que vão sendo colocados ao longo do cabo. Nas zonas próximas da costa o tubo fica assente no fundo (caso em que a velocidade de lançamento é semelhante). Para profundidades inferiores a



cerca de 50 metros, o tubo é enterrado entre 40 e 80 cm, dependendo da dureza do terreno. Para tal é utilizada uma charrua rebocada pelo navio que abre o rasgo e simultaneamente coloca o cabo. Nos casos mais difíceis a velocidade de colocação do cabo reduz-se para 1 km/h, sendo a velocidade de colocação e a oportunidade de utilização referida, que determina o custo da operação. Pelo exposto pode ser interessante duplicar a colocação dos cabos de modo a assegurar maior fiabilidade da sua utilização.

Uma parte importante da colocação dos cabos submarinos é a sua sinalização. Este assunto e o da sinalização dos próprios sistemas de extracção de energia das ondas é o tema da próxima secção deste relatório.

A concluir pode-se dizer que a colocação dos cabos submarinos não levanta problemas técnicos de maior, mas é dispendiosa e obriga a um planeamento cuidadoso, quer quanto ao traçado do cabo, quer quanto à sua sinalização, quer quanto à procura de oportunidade de utilização de um navio em trânsito. Assim, parece ser aconselhável fazer um levantamento detalhado das características dos fundos das águas portuguesas e, se possível, configurar uma hipotética rede eléctrica submarina.

Finalmente, e a título informativo, os cerca de 6 km de cabo eléctrico submarino com 4 MW de potência utilizados pela central piloto AWS custaram 650 mil Euros.

## 2.6 Sinalização

De acordo com a informação recolhida junto do Instituto Hidrográfico, as áreas ocupadas pelos parques de energia das ondas devem ser áreas de exclusão, devidamente assinaladas por processos semelhantes aos já praticados em áreas de aquacultura e em parques de turbinas eólicas *offshore*, que tem por base as recomendações da IALA (International Association of Lighthouses Authorities). De forma semelhante os cabos eléctricos submarinos devem ser assinalados, tal como se verifica já com os cabos submarinos de telecomunicações, dos quais há já experiência significativa em Portugal.

O tipo de sinalização utilizada tanto diurna como nocturna deve permitir aos navegantes uma fácil percepção da área a evitar. No interior destas áreas é recomendado que se adoptem as seguintes medidas: proibição de navegar, fundear, pescar, assim como exercer outras actividades definidas pela autoridade marítima. Estas áreas são divulgadas pelo Instituto Hidrográfico, no âmbito das suas responsabilidades na contribuição para a segurança da navegação, na publicação *Aviso aos Navegantes*, e deve ainda actualizar os documentos náuticos oficiais com toda a informação respeitante à área de protecção dos parques de energia das ondas *offshore* e ao respectivo assinalamento marítimo.

O assinalamento marítimo não constitui um problema técnico na instalação dos parques de energia das ondas e os custos de instalação, manutenção e reparação ou substituição das bóias e das luzes, embora não tenham um preço desprezável, não representam uma parcela significativa do custo total do investimento.

As entidades envolvidas no licenciamento do processo de sinalização marítima são a Capitania da zona onde vier a ser instalado o parque de energia das ondas, o Instituto Hidrográfico e a Direcção de Faróis.



## 2.7 Rede eléctrica nacional de transporte junto à costa

Uma das condições favoráveis para o desenvolvimento da energia das ondas em Portugal é a existência de pontos de ligação à rede eléctrica junto à costa.

O desenvolvimento crescente das novas formas de energia renováveis motivou uma nova reflexão em termos de ordenamento das redes de transporte e distribuição de energia eléctrica, tanto a nível técnico como a nível de planeamento e de exploração. A nova Directiva Comunitária das Energias Renováveis que obriga Portugal a atingir até ao ano de 2010 uma produção a partir de fontes de energias renováveis na ordem dos 39%, irá certamente aumentar a necessidade de reordenação da potência de ligação. Estes valores ainda estão incertos relativamente à energia das ondas, contudo estima-se da parte da Rede Eléctrica Nacional (REN) a instalação de cerca de 6670 MW de potência PRE (Produção em Regime Especial) até ao ano de 2010, estando previstos cerca de 3750 MW deste valor para a produção de energia eólica.

As centrais de energias alternativas, como as das ondas, serão posteriormente ligadas a subestações, denominados Pontes de Recepção, conforme a sua potência e a sua localização. Centrais com potência de ligação numa fase inicial de desenvolvimento da energia das ondas com menos de 50 MW serão ligadas a redes de média ou alta tensão na ordem dos 10-30-60 kV, exploradas pela EDP Distribuição de Energia. Numa fase posterior de desenvolvimento dos dispositivos de energia das ondas, na sua fase madura em que se prevê a existência de parques com uma potência instalada acima dos 50 MW, serão ligadas a redes de muito alta tensão de 150-220 ou 400 kV e exploradas pela Rede Eléctrica Nacional (REN).

A REN afirma ter uma capacidade de resposta de 5 anos. Embora este período de tempo se adapte bem à situação do desenvolvimento de energia das ondas, é pertinente fazer um planeamento preliminar da disposição dos parques ao largo da costa portuguesa, tendo em vista antever a necessidade de pontos de ligação e suas características, de modo a concluir sobre a necessidade de alteração da rede eléctrica de transporte a médio prazo.



### 3. Potencial de utilização em Portugal Continental

#### 3.1 Caracterização da faixa entre os 50 e 80 metros de profundidade

Procedeu-se à caracterização do fundo na zona entre os 50 e 80 metros de profundidade, identificando nomeadamente zonas de areia, lodo, areia cascalhenta e zonas rochosas. Trata-se de uma análise muito preliminar que se pretende numa fase posterior aprofundar tendo sido para tal solicitado ao Instituto Geológico e Mineiro um estudo geológico da costa portuguesa a incluir posteriormente num estudo de detalhe sobre a caracterização do potencial e estratégia de desenvolvimento de energia das ondas em Portugal que o Centro de Energia das Ondas pretende desenvolver no seguimento deste relatório.

Neste estudo preliminar, tentámos identificar as características dos fundos das zonas correspondentes às áreas sobre a jurisdição das seguintes capitánias: Caminha, Viana do Castelo, Póvoa de Varzim, Vila do Conde, Leixões, Douro, Aveiro, Figueira da Foz, Nazaré, Peniche, Cascais, Sesimbra, Sines e Lagos.

Note-se que a existência de cartas de pesca do Instituto Hidrográfico com uma caracterização dos diversos tipos de fundos, apenas no centro e sul de Portugal, impediu uma análise precisa na zona a norte. Podemos identificar a norte do país, através das cartas costeiras, um predomínio de fundos de areia, nas batimétricas em estudo, nas regiões entre a Póvoa de Varzim e Nazaré, com zonas rochosas, em especial em Caminha e em Viana do Castelo.

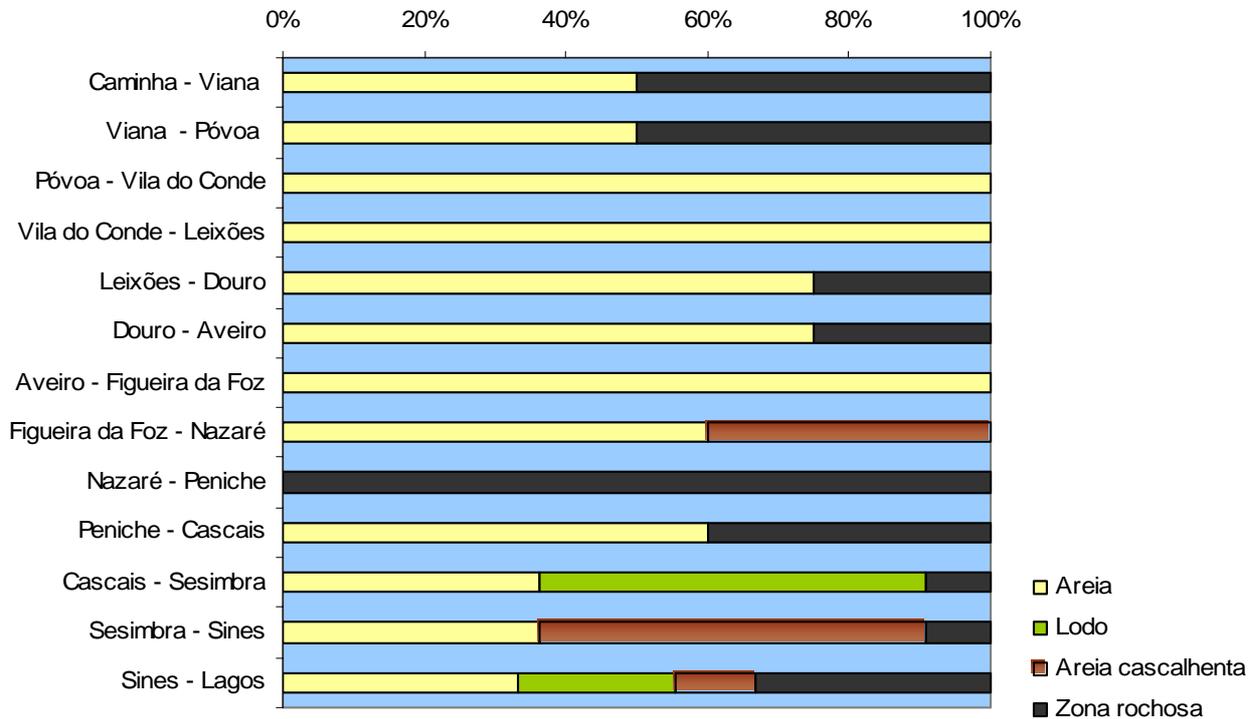
Entre as regiões das capitánias de Figueira da Foz e Nazaré, além da predominância de fundos de areia, identificámos, igualmente, zonas de areia cascalhenta.

As áreas de Peniche, Cabo da Roca, Cabo Espichel e alguns locais entre Sines e Lagos, como o Cabo Sardão, Milfontes e Ponta da Gaivota são zonas bastante rochosas.

Na Fig. 9 é apresentada uma caracterização esquemática dos fundos que pretende traduzir a análise efectuada, embora com um certo grau de imprecisão, a corrigir posteriormente com informação mais detalhada fornecida pelo Instituto Geológico e Mineiro. Concluimos nesta análise preliminar, que nas profundidades entre os 50 e os 80 metros, predominam fundos de areia. Contudo em determinadas zonas a sul e norte da costa atlântica portuguesa encontramos algumas zonas predominantemente rochosas. Como referido, o principal problema destas zonas rochosas prende-se com a colocação dos cabos eléctricos, sobretudo se a profundidades inferiores a 50 metros. Nestes casos os cabos têm que ter um revestimento metálico ou ser entubados em tubos metálicos, quaisquer das duas situações originando custos mais elevados.

Uma análise sobre as batimétricas e declive da plataforma continental revela que na costa noroeste a batimétrica dos 50 metros está a uma distância da ordem dos 6-8 km da costa, com excepção na zona ente Leixões e Aveiro onde os 50 m de profundidade estão a cerca de 15 km da costa. Na costa sudoeste os 50 metros de profundidade estão a cerca de 2-4 km da costa. A plataforma continental a noroeste apresenta um declive mais suave que a sudoeste.

Como referido, este é um estudo preliminar que necessita de ser aprofundado, uma vez que a instalação dos dispositivos, assim como a passagem dos cabos eléctricos para terra são condicionados pelas características do fundo.



**Figura 9.** Caracterização esquemática dos fundos na batimétrica dos 50 m ao largo da costa ocidental portuguesa

### 3.2 Condicionantes ambientais

#### 3.2.1 Reservas Naturais

As áreas protegidas que abrangem o meio marinho, demarcadas como áreas de “reservas marinhas” ou “parques marinhos” têm por objectivo a adopção de medidas dirigidas para a protecção das comunidades e dos habitats marinhos sensíveis, de forma a assegurar a biodiversidade marinha e a adopção de medidas que visem a protecção, valorização e uso sustentado dos recursos marinhos, através da integração harmoniosa das actividades humanas<sup>5</sup>. À batimétrica dos 50 m foram identificadas as seguintes áreas:

- Reserva Natural das Berlengas  
Área definida por um rectângulo incluindo o Arquipélago das Berlengas com todas as suas ilhas e ilhéus. Os seus limites são definidos a norte pelo paralelo 39°30'N, a sul pelo paralelo 39°24'N, a este pelo meridiano 009°28'W e a oeste pelo meridiano 009°34'W.
- Parque Natural do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina  
Área cujo limite marítimo é definido a Norte pela praia de São Torpes e a Este pela ponta de Almadena numa faixa de 2 km a partir da linha de costa em toda a sua extensão.

Algumas zonas de reserva natural na orla costeira não atingem a batimétrica dos 50 m. Contudo, podem constituir problemas à passagem dos cabos eléctricos na orla costeira e em terra até ao ponto

<sup>5</sup> Retirado do *Grupo Anual de Aviso aos Navegantes*, 2003



de ligação. Por este motivo, além das três zonas já identificadas assinalam-se as restantes zonas correspondentes a áreas protegidas ao longo da costa<sup>6</sup>:

- Reserva Natural da Arrábida
- Paisagem protegida do Litoral de Esposende
- Reserva Natural das Dunas de S. Jacinto
- Parque Natural de Sintra-Cascais
- Paisagem protegida da Arriba Fóssil da Costa da Caparica

Faz-se aqui uma breve referência ao exemplo da Dinamarca, em que a Danish Energy Authority seleccionou Limfjorden (Nissum Bredning), situado numa zona protegida, para localização de um centro de testes de energia das ondas, tendo sido já testado o sistema WaveDragon. Esta escolha sugere que as restrições impostas pelas reservas naturais podem não constituir uma limitação imediata à instalação de sistemas de energia das ondas, se se demonstrar que não introduz um impacto negativo na natureza. No caso do sistema WaveDragon verificou-se que apenas existia um impacto temporário sobre as aves, no período de instalação do sistema e durante a manutenção.

Em sumário, à parte das Berlengas e parque da costa de S. Vicente e Sudoeste Alentejano, não há interferências da instalação de parques de dispositivos de energia das ondas com reservas naturais à batimétrica dos 50 m. No Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina a plataforma continental apresenta um declive suave e os dispositivos poderão ser instalados a uma profundidade de 60 m ainda relativamente perto da costa, mas já no exterior do parque, pelo que não interferirão com a zona de reserva natural, nem com a zona onde se processa a pouca actividade de pesca que aí existe, como à frente se indicará.

### 3.2.2 Impacte Ambiental de sistemas de energia das ondas

#### Efeito visual

Do ponto de vista paisagístico os sistemas de energia das ondas são elementos de apreciação subjectiva e o seu impacte dependerá em grande parte da sua visibilidade, da dimensão do parque e da altura do dispositivo acima do nível médio da água.

Não se prevê que os dispositivos de energia das ondas tenham um impacte visual comparável com o das turbinas eólicas. Os dispositivos *offshore* têm uma altura acima da superfície livre da água da ordem de poucos metros (o AWS totalmente submerso e o Pelamis sobressai cerca de um metro), pelo que a uma distância da costa de alguns quilómetros não são de todo visíveis. Já o mesmo poderá não acontecer com as luzes de sinalização, mas esse impacte não deverá ser muito significativo. Contudo, como muitas áreas costeiras são importantes para fins recreativos a invasão visual deve ser um elemento de apreciação na fase de planeamento e licenciamento. Em sistemas costeiros obviamente que o impacte visual é de extrema importância.

Em conclusão não se espera que o impacte visual em sistemas *offshore* possa constituir uma barreira em projectos futuros de parques de energia das ondas. No entanto a experiência da energia eólica *offshore* claramente aponta para uma forte preocupação por este aspecto indicando possíveis recomendações para reduzir a resistência do público:

<sup>6</sup> Informação disponibilizada no Website do Instituto de Conservação da Natureza (<http://www.icn.pt/>)



- O processo de planeamento deve ser bastante aberto sendo essencial o envolvimento do público nesta fase
- A configuração dos parques, numero de dispositivos e dimensões devem ser discutidos e analisados antes de qualquer decisão final

### **Ruído**

O ruído originado pelo funcionamento dos dispositivos de energia das ondas resulta em grande parte do movimento dos componentes mecânicos e do equipamento de produção de energia. O efeito do ruído é principalmente dependente do nível e tipo de ruído emitido (muito dependente da tecnologia em questão), da distância dos dispositivos aos receptores, da direcção do vento e do ruído de fundo (rebentação das ondas). De um modo geral espera-se que em dispositivos de energia das ondas os níveis de emissão de ruído aumentem de intensidade paralelamente com o ruído de fundo. O ruído poderá teoricamente influenciar o afastamento de aves, produzir perda de habitat de espécies marinhas e se audível pela população a partir da costa pode reduzir a aceitação pública para este tipo de projectos. Este último aspecto certamente não acontece em projectos *offshore* dada a distância destes à costa. Não são conhecidos, no entanto, significativos impactes deste tipo produzidos por navios em movimento, não se esperando que o ruído produzido por centrais de energia das ondas seja mais significativo que o produzido por embarcações marítimas.

Durante a fase de instalação o ruído poderá afectar a avifauna e mamíferos marinhos, mas tratando-se de períodos de duração muito limitada os impactes serão apenas temporários. No entanto devem evitar-se períodos críticos se o local de implantação do dispositivo for na proximidade de áreas biológicas importantes.

É importante aproveitar a experiência com dispositivos piloto em teste no mar para determinar se produzem ruído significativo e, se assim for, de que forma o ruído produzido afecta o meio ambiente.

### **Acidentes**

Da colisão de grandes navios com dispositivos de energia devem resultar apenas danos no dispositivo e não necessariamente o derrame de quantidades significativas de substâncias poluentes, uma vez que os sistemas de energia das ondas poderão conter apenas uma pequena quantidade de óleo de lubrificação. Como medida de mitigação para minimizar riscos de colisão é sugerido uma sinalização correcta dos parques/dispositivos, protecção dos cabos e desenvolvimento de procedimentos especiais de emergência.

### **Emissões**

Ao contrário das tecnologias fósseis convencionais, a energia das ondas não produz gases de estufa ou outros poluentes atmosféricos. Contudo as emissões poderão resultar de outros níveis do seu ciclo de vida (por exemplo durante a cadeia de processos necessários para o fabrico, transporte, construção e instalação de centrais de energia das ondas e equipamento de transmissão). Estudos de detalhe efectuados com as principais tecnologias de energias renováveis mostram que as emissões resultantes são muito inferiores à das tecnologias fósseis convencionais e ocorrem, em geral, durante o fabrico dos materiais utilizados nas centrais e dependem grandemente das práticas industriais e do regime de controlo de poluição no país.

### **Conclusões gerais**

Em sumário, tanto quanto os estudos realizados no estrangeiro têm mostrado (Wavenet 2003), o impacte ambiental dos esquemas de energia das ondas *offshore* é provavelmente reduzido, desde



que se tomem opções relativamente à selecção dos locais e um planeamento controlado em locais sensíveis. No entanto, a falta de sistemas operacionais significa que é necessário desenvolver uma investigação e monitorização sobre os prováveis impactes em projectos específicos e adoptar as necessárias medidas de mitigação.

No Anexo 5 deste relatório apresentam-se tabelas com os principais impactes ambientais e respectivas medidas de mitigação.

### 3.3 Condicionantes relacionados com a actividade da pesca

A pesca representa em Portugal um sector tradicionalmente importante, embora em declínio, em resultado da redução de pescado e das consequentes medidas de protecção que têm vindo a ser introduzidas. Para além de ter tendência para decrescer, a Tabela 1 mostra que as pescas, com um volume anual total de pescado de pouco mais de 133 mil toneladas, ao qual correspondem cerca de 27 milhões de contos, para além de uma envolvente económica com alguma expressão, tem sobretudo uma envolvente social. Esta envolvente social tem contornos específicos por estar associada a uma população pouco instruída, relativamente fechada e com uma ligação cultural à pesca e ao mar de várias gerações. Desta ligação resultou uma “apropriação” do domínio marítimo por parte da comunidade piscatória, que vê com desconfiança qualquer intervenção que reduza, ainda que potencialmente, a sua capacidade de manobra.

É, portanto, de ter em consideração, desde cedo, estes aspectos sociais no desenvolvimento de projectos de energia das ondas no mar. Alguns dos condicionantes ao desenvolvimento da energia das ondas em larga escala deverão estar relacionados com o nível de aceitação da comunidade piscatória à instalação de parques de energia das ondas. No decurso deste estudo foram realizadas algumas entrevistas com pescadores e representantes de associações de pesca tradicional que mostraram, em geral, que a comunidade piscatória é sensível à necessidade de produzir energia eléctrica por fontes renováveis. Para além disso mostraram compreensão para a possibilidade de parcialmente a produzir através das ondas do mar. No entanto, fazem condicionar a abertura referida à salvaguarda de aspectos importantes para a sua actividade, de onde se salientam os seguintes: colocação dos sistemas de energia das ondas fora das zonas de pesca intensiva, existência obrigatória de seguros que protejam os pescadores em caso de acidentes com as embarcações ou as artes de pesca e, se houver provas disso, compensação monetária por redução de pescado ou sobrecusto na actividade.

REGIÃO	PORTOS	QUANT [tons]	VALOR [Mil Esc.]
Norte	Póvoa de Varzim	6 599	1 373
	Matosinhos	42 771	6 006
Centro	Aveiro	8 023	1 838
	Figueira da Foz	15 969	2 471
L.V.Tejo	Nazaré	4 896	1 813
	Peniche	26 728	5 679
	Sesimbra	18 796	5 913
Alentejo	Sines	9 457	1 857
TOTAL		133 239	26 950

Tabela 1 - Media de 1990-1998 dos principais portos de pesca (MARE Programa Operacional Pesca 2000-2006)



Para além dos contactos com os pescadores e seus representantes, foram realizadas reuniões com as seguintes capitánias:

- Zona Norte: Caminha, Viana do Castelo, Póvoa de Varzim, Vila do Conde, Leixões, Douro, Aveiro e Figueira da Foz
- Zona Centro: Nazaré, Peniche e Cascais
- Zona Sul: Sines e Lagos

As diversas opiniões recolhidas indicaram que os possíveis conflitos de uso entre o exercício da pesca e a instalação de sistemas de aproveitamento da energia das ondas estão relacionados principalmente com a área de operação dos diferentes tipos de arte: a pesca costeira, dita artesanal, exercida por pequenas embarcações de pesca local que operam junto à orla costeira em águas pouco profundas e que não atinge em geral os 50 m de profundidade, excepto no sudoeste alentejano e costa Vicentina em que a batimétrica dos 50 m é muito próxima da costa. No entanto, nesta zona os dispositivos poderão ser instalados a uma profundidade maior, dado que o declive da plataforma continental é suave e a batimétrica dos 60 m está a cerca de 4 milhas de distância, desta forma sem interferência com a actividade da pesca artesanal que não vai além das 3 milhas.

A pesca com arte de arrasto, por imposição legal, só pode ser exercida a mais de 6 milhas náuticas de distância à linha de costa, o que na costa portuguesa corresponde em geral a profundidades superiores a 50 m, com excepção da zona entre Aveiro e Douro, que poderá vir a constituir uma zona de segunda prioridade para a instalação de parques. A arte do cerco, considerada também uma arte de pesca tradicional, desenvolve-se praticamente em qualquer zona do mar. No entanto, por ser utilizada para a pesca de cardumes que se deslocam no mar, o impacte dos sistemas de energia das ondas neste tipo de pesca é limitado, já que bastará deixar que o cardume se desloque para fora da área ocupada pelos parques. Portanto, de acordo com a opinião dos representantes das capitánias, em geral, os parques de energia das ondas instalados a uma profundidade de cerca de 50 m não interferem significativamente com estas três principais artes de pesca e portanto não deverão representar um conflito de usos com a actividade exercida pelos pescadores. Devem no entanto ser considerados corredores de navegação entre os parques de energia das ondas. Existe alguma dificuldade em indicar uma largura recomendável. No mínimo 200 metros de largura e no máximo 1 milha. Este último valor foi o mais referido, sendo conveniente tendo em atenção embarcações com possíveis avarias e dificuldades de manobra, e também a necessidade de facilidade de manobra também por parte das embarcações de fiscalização. Contudo, facilitará a pesca nos corredores, o que pode revelar-se perigoso devido à natural deriva das redes.

Os parques de energia das ondas deverão ser instalados aproximadamente ao longo de batimétricas. Também a actividade de pesca se processa ao longo das batimétricas, o que contribui para reduzir a interferência entre os dois tipos de actividades.

Do lado positivo, há a indicar que os sistemas de energia das ondas poderão funcionar como recifes artificiais e a exclusão das zonas de instalação de parques de energia das ondas à pesca deverá funcionar como zonas de protecção ao crescimento da população infantil. Do ponto de vista social, a energia das ondas poderá traduzir-se numa oportunidade de emprego importante para a comunidade piscatória, sobretudo nas actividades ligadas à instalação e manutenção dos sistemas de energia das ondas.

Em termos sumários a postura da comunidade de pescadores é de grande desconfiança, à partida, em relação a projectos que não conhecem e que “invadem o seu domínio”, mostrando contudo uma disponibilidade clara para serem informados e participarem no projecto de modo a minimizarem os



impactos. Os projectos de energia eólica *offshore* revelaram até à data que o conflito com a actividade da pesca não conduziu à exclusão de nenhum projecto, tendo sido ultrapassado frequentemente com contrapartidas financeiras dadas aos pescadores (Wavenet, 2003). Tem sido recomendado, no âmbito destes estudos, como forma de minimizar os impactos no sector das pescas, evitar a construção de parques em zonas de importante valor para os pescadores, ou durante determinados períodos e efectuar estudos de monitorização *in situ* para investigação dos potenciais impactos nos peixes. Recomenda-se ainda que, desde o início, os representantes locais de pesca sejam contactados e com eles definidos os condicionalismos dos projectos (nomeadamente assegurando as questões de segurança e de responsabilidade por acidentes) e eventuais benefícios para a comunidade (novos empregos, por exemplo).

### 3.4 Condicionantes resultantes da navegação

A navegação pode ser segmentada nas seguintes categorias:

- Navegação de longo curso/comercial
- Navegação de recreio
- Navegação resultante da pesca

Existem 3 esquemas de separação de tráfego para a navegação de longo curso, localizados nas seguintes zonas que atravessam a batimétrica dos 50 m: Berlengas, Cabo da Roca e Cabo de S. Vicente. A navegação nestas zonas encontra-se regulamentada e assinalada nos mapas marítimos do Instituto Hidrográfico e portanto a instalação de dispositivos deve ser evitada na sua proximidade. Por motivos diversos estas 3 áreas não são consideradas de interesse para o aproveitamento de energia das ondas.

As embarcações de longo curso/comercial que passam ao largo da costa oeste portuguesa seguem os corredores de navegação, que, tirando as zonas indicadas acima, estão afastadas da costa cerca de 12 milhas. Assim, o potencial impacto da navegação de longo curso no aproveitamento da energia das ondas ocorre apenas nas zonas de aproximação aos portos, onde é necessário salvaguardar um sector de aproximação interdito ao aproveitamento de energia das ondas. Foi recomendado pelas autoridades marítimas consultadas evitar as zonas de aproximação aos portos de Sines, Setúbal, Lisboa, Figueira da Foz, Aveiro, Leixões e Viana do Castelo, por questões de tráfego marítimo, tendo sido sugerido deixar livre um sector com cerca de 135° de abertura em cada porto, o que nalguns portos parece excessivo, principalmente em zonas onde a batimétrica dos 50 m se encontra mais afastada da costa. Foi além disso mencionado, como área a evitar, o canal entre as Berlengas e Peniche e São Martinho do Porto, devido ao tráfego de recreio intenso na época de Verão.

O possível conflito com a navegação de recreio e embarcações de pesca, é em geral pouco significativo desde que se estabeleçam um número suficiente de canais de navegação na zona dos parques que possibilite as embarcações contornar com segurança as áreas destinadas ao aproveitamento de energia das ondas. Tendo em atenção a velocidade de cruzeiro das embarcações de pesca e de recreio, recomenda-se um corredor de navegação em cada cinco quilómetros ao longo da costa.

Em sumário não é de prever um impacto relevante com a navegação em geral, desde que sejam assegurados os procedimentos normais de sinalização e informação.



### 3.5 Condicionantes relacionadas com a pesquisa e exploração de hidrocarbonetos

O processo de pesquisa e exploração dos hidrocarbonetos faz-se mediante três fases distintas:

- Pesquisa – que corresponde aos estudos preliminares para a localização de uma jazida, por análise do solo mediante a utilização de sonares rebocados por navios. Esta fase processa-se ao longo de toda a plataforma continental portuguesa, incluindo a zonas de interesse para o aproveitamento da energia das ondas.
- Sondagem – que ocorre em locais previamente determinados pelas pesquisas anteriores. Esta fase envolve a perfuração de um poço de sondagem.
- Exploração - Comprovada a existência de petróleo e revelando-se comercialmente viável inicia-se a fase da exploração.

Na fase de sondagem e exploração não há um impacto relevante com a energia das ondas pois as plataformas não estão instaladas necessariamente em cima dos poços (cada plataforma extrai petróleo de um número de poços que pode atingir os 24) e se tal acontecer será sempre possível deslocar os dispositivos de extracção para posições mais afastadas. Apenas na fase de pesquisa pode haver um conflito de interesse pontual com o aproveitamento de energia das ondas.

Existe actualmente alguma actividade no campo de pesquisa de hidrocarbonetos na costa portuguesa, para a qual são concedidas licenças no âmbito do DL 109/94 de 26 de Abril. Para este efeito a costa portuguesa está dividida em quadrículas, sendo a licença concedida para cada quadrícula por um período de tempo previamente estipulado. Até hoje não foram encontrados jazidas com interesse comercial. A descoberta de jazidos de gás natural na bacia de Cádiz deverá trazer um interesse acrescido pela plataforma continental portuguesa, sobre tudo no Algarve, zona que, pelo seu baixo recurso, não é interessante para o aproveitamento da energia das ondas.

Em sumário, não parece haver um conflito de interesses inultrapassável com a exploração de hidrocarbonetos. No entanto, é recomendável que no planeamento de parques de energia das ondas haja uma interligação entre as duas actividades.

### 3.6 Outras condicionantes

#### Zona de passagem de cabos submarinos ou condutas

Existem cabos e condutas colocados no fundo do mar cuja posição é conhecida e bem demarcada. Nas cartas de Pesca são assinaladas duas áreas de protecção de cabos submarinos com a indicação de que é proibida qualquer actividade susceptível de danificar os cabos, entre as quais seguramente se encontra a do aproveitamento de energia das ondas:

- Saída de Carcavelos
- Saída de Sesimbra

Sendo simultaneamente zonas de acesso a portos e zonas de sombra de agitação marítima, não são zonas adequadas ao aproveitamento de energia das ondas.

#### Campos de exercícios militares

Existem áreas de exercícios militares assinaladas nas cartas náuticas, com a indicação de períodos de tiro temporários, nas seguintes zonas:



- Área circular centrada no Cabo Espichel e com um raio de 13 km
- Área limitada entre Sines e Setúbal

Estas áreas não constituem conflitos relevantes com a energia das ondas por se tratarem de zonas pontuais. Além disso na proximidade da área circular centrada no Cabo Espichel encontra-se uma área de protecção de cabos submarinos (proximidade de Sesimbra), sendo já uma zona a evitar.

### Áreas de interesse arqueológico

O património arqueológico subaquático em águas de 50 metros de profundidade ou superior restringe-se a embarcações afundadas, as quais, por natureza são pontuais e não têm expressão a nível do aproveitamento da energia das ondas.

### Canhões Submarinos

Na costa portuguesa, existem três canhões submarinos que cortam transversalmente toda a plataforma até muito próximo da linha de costa, são os canhões da Nazaré, de Lisboa e de Setúbal. O mais profundo é o da Nazaré, que se inicia a menos de 500 m de costa e atinge mais de 2000 m de profundidade com cerca de 170 km de comprimento. Trata-se portanto de uma zona a evitar na colocação de dispositivos de energia das ondas devido à dificuldade de aí assentar cabos submarinos.

## 3.7 Zonas potencialmente utilizáveis e possíveis áreas de concessão

Os mapas 1, 2 e 3 apresentados no anexo 3 sintetizam os condicionantes identificados à instalação de parques de energia das ondas *offshore*, na batimétrica dos 50 m, ao longo da costa atlântica portuguesa. Como resultado deste estudo são assinaladas no mapa 4 as zonas potencialmente utilizáveis, em número de 8, que poderão ser possíveis zonas de concessão para instalação de parques de energia das ondas. Os comprimentos destas 8 zonas variam entre 20 km a 80 km, conforme se indica:

### 1. Zonas prioritárias – sem qualquer interferência de usos

- Zona 1 – Troço de 8 km entre Caminha e Viana do Castelo (50 m de profundidade)
- Zona 2 – Troço de 38 km entre Viana do Castelo e Póvoa de Varzim (50 m de profundidade)
- Zona 3 – Troço de 24 km entre Aveiro e Figueira da Foz (50 m de profundidade)
- Zona 4 – Troço de 46 km entre Figueira da Foz e Nazaré (50 m de profundidade)
- Zona 5 – Troço de 22 km entre Nazaré e Peniche (50 m de profundidade)
- Zona 6 – Troço de 71 km entre Peniche e Cascais (50 m de profundidade)
- Zona 7 – Troço de 28 km entre Sesimbra e Sines (60 - 80 m de profundidade)

2. Zonas de segunda prioridade – com eventual conflito de usos (nomeadamente com a actividade de pesca de arrasto), o que implica a adopção de determinadas medidas específicas para minimização do conflito de usos

- Zona 8 – Troço de 16 km entre Douro e Aveiro (50 m de profundidade)



3. Zonas de segunda fase – sem conflito de usos, no entanto com algumas dificuldades na fase actual (nomeadamente ligação à rede eléctrica)

Zona 9 – Troço de 82 km entre Sines e Sagres (60 - 80 m de profundidade)

As zonas assinaladas perfazem um comprimento total de cerca de 335 km (incluindo zonas de segunda prioridade e segunda fase). Trata-se de uma demarcação indicativa, com algum grau de imprecisão, principalmente por não ter em conta um estudo detalhado das condições do fundo. Por outro lado as zonas de acesso da navegação aos portos estão marcadas com pouco rigor seguindo uma indicação geral das capitánias, tratando-se de um aspecto que necessita de uma posterior abordagem em cada porto específico.



## 4. Economia da energia das ondas

A estimativa do potencial de produção de energia eléctrica através do aproveitamento da energia das ondas, compreende o potencial técnico, também referido como recurso acessível, e o potencial económico tendo em conta os custos associados e diversos factores limitativos. O potencial técnico refere-se à energia que pode ser extraída do recurso energético disponível das ondas, tendo em conta diversos factores condicionantes técnicos e físicos, como a variabilidade da potência das ondas, a eficiência do seu aproveitamento e as perdas ao longo da cadeia de conversão de energia, para além de vários factores de ordem social e ecológica. O potencial económico refere-se ao potencial técnico economicamente viável e que dependerá dos custos de fontes competitivas e/ou alternativas de energia.

Foi desenvolvida uma abordagem económica aplicável aos dispositivos de energia das ondas no Reino Unido, pelo Department of Trade & Industry (DTI). Esta metodologia foi apresentada numa revisão de alguns dos principais desenvolvimentos em energia das ondas efectuada em 1992 (Thorpe, 1992) e actualizada numa segunda revisão em 1999 (Thorpe, 1999). Recentemente, no âmbito da “Thematic Network on Wave Energy” (WaveNet, 2003) foi realizado um estudo sobre diversos aspectos económicos e de financiamento da energia das ondas, a nível europeu, seguindo a abordagem proposta pelo DTI. Trata-se de uma avaliação inicial, que inclui uma revisão de vários sistemas de energia das ondas com algum grau de incerteza e que reflecte o nível imaturo da tecnologia e a falta de experiência em dispositivos de energia das ondas operacionais.

Em Portugal, as avaliações de viabilidade económica de dispositivos de energia das ondas iniciaram-se com estudos sobre a integração de dispositivos CAO em quebra-mares (Neumann e Sarmiento, 2000), originando estudos mais abrangentes ao nível socio-económico no que diz respeito ao potencial deste ramo tecnológico ao nível nacional (Neumann e Sarmiento, 2002; Sarmiento et al., 2004a e b).

No presente estudo é efectuada uma análise económica genérica, em que se procura determinar as condições para se atingir a viabilidade económica da tecnologia de aproveitamento de energia das ondas.

### 4.1 Avaliação e Identificação de Custos

Na determinação dos custos de um dispositivo de energia das ondas há dois factores particularmente importantes: os custos de capital investido e os custos correntes de operação e manutenção (O&M) e seguro. A análise económica genérica da tecnologia da energia das ondas pode ser determinada de diversas formas. A aproximação adoptada neste estudo segue o método da anuidade, que tem igualmente sido seguido nas análises económicas já mencionadas. Este método determina o custo anual do capital ( $a$ ) em função da taxa de actualização ( $i$ ), do capital inicial ( $C$ ) e do período de amortização ( $n$ ),

$$a = C \frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}}.$$

A determinação do custo de capital resulta das quatro componentes do custo que são, em qualquer dispositivo, consideradas mais importantes: estrutura, equipamento mecânico e eléctrico, transmissão da energia eléctrica e transporte e instalação.



Para que um dispositivo de energia das ondas seja rentável, os proveitos anuais da venda de energia devem exceder a anuidade (custo anual do capital) e os custos de operação e manutenção. No que se segue tomar-se-ão valores nulos para estas duas taxas. Como se verá com dois exemplos de aplicação, obtêm-se, apesar disso, resultados realistas, pelo menos do ponto de vista comparativo com as energias minihídrica e eólica.

È prática adoptada pelo DTI considerar taxas de actualização entre 8 e 15%. Tipicamente consideram que uma taxa de 8% é aplicável a projectos com uma tecnologia madura, enquanto a taxa de 15% aplica-se a projectos que envolvem um risco técnico. No relatório da Wavenet é referido o valor de 10% como sendo um valor mais adequado a projecções no domínio da energia das ondas, sendo no entanto utilizado o valor de 8% ao longo do estudo realizado, sendo portanto é referido que as estimativas de custo obtidas reflectem um cenário optimista. Os custos de operação e manutenção incluem custos de reparação e reposição de componentes, seguro, entre outros.

No presente estudo toma-se uma taxa de actualização de 10% para a fase actual do desenvolvimento da energia das ondas (tecnologia imatura) e um valor de 8% para a fase de maturidade tecnológica. Conforme se mostra no Anexo 6, para este valor de taxa de actualização, juntamente com um período de amortização de 9 anos, um custo de operação e manutenção de 0,67 %, uma remuneração de energia de 0,075 €/kWh e 2800 horas anuais equivalentes de produção, obtêm-se, através do método seguido neste estudo (ver Anexo 6), um investimento máximo de cerca de 1259 M€ por MW de potência instalada para garantir a viabilidade económica de centrais minihídricas. No caso de um projecto eólico, tomando iguais valores da taxa de juro e período de amortização, um custo de operação e manutenção de 2,3% e 2300 horas anuais, obtêm-se um investimento máximo de cerca de 1005 M€/MW instalado. Estes dois exemplos mostram que os valores dos parâmetros de cálculo e o método de cálculo utilizados neste estudo são suficientemente realistas para caracterizar a economia do aproveitamento da energia das ondas na fase actual desta tecnologia.

Um aspecto importante para uma avaliação económica correcta é a estimativa utilizada da produção anual média de energia eléctrica. É normalmente considerado razoável considerar que essa produção pode atingir 15% da energia disponível nas ondas e que a potência média anual fornecida à rede é cerca de 25% da instalada em cada central (ou seja que o central funciona cerca de 2190 horas por ano). Sobre este assunto é conveniente ter em atenção os seguintes aspectos:

- Energia disponível – depende do local, profundidade e topografia dos fundos.
- Energia capturada – depende da eficiência de extracção de energia pelo dispositivo, relacionado com o estado de mar e as características hidrodinâmicas do sistema.
- Energia máxima anual produzida – depende das perdas ao longo da cadeia de conversão de energia.
- Energia eléctrica anual produzida – depende dos intervalos de tempo em que o dispositivo não está operacional devido a quebras e operações de manutenção.

#### 4.2 Viabilidade económica

No Anexo 6 apresentam-se os detalhes do estudo realizado sobre o investimento por unidade de potência instalada obtido através do método da anuidade para projectos de energia das ondas para duas situações distintas: i) a actual tarifa praticada em Portugal para a energia das ondas de 0,225 €/kWh, correspondente a uma situação de tecnologia em fase inicial de desenvolvimento, caso em

que se considerou razoável admitir um período de amortecimento de 13,5 anos, e ii) uma tarifa de 0,09 €/kWh, igual à mais elevada praticada em Portugal para a energia eólica, que se assume ser característica de uma situação de maturidade tecnológica, caso em que se toma o período de amortização de 9 anos considerado para as energias minihídrica e eólica. Em ambos os casos se admite um factor de carga de 0,25 e um custo anual de manutenção e operação de 5% do investimento. Este valor é cerca do dobro do utilizado usado para a energia eólica, e é atribuído à agressividade do ambiente marinho e ao sobrecusto associado às operações no mar. Os resultados desta análise são apresentados na Tabela 2

	Tarifa actual	Tarifa Eólica alta
Período amortização	13,5	9
Taxa de actualização	0,10	0,8
Custo O&M (% investimento)	5	5
Nº de horas de funcionamento	2190	2190
<b>Tarifa [€/kWh]</b>	<b>0,225</b>	<b>0,09</b>
Inv. Máx. [€/kW]	2619	938

**Tabela 2** Investimento por unidade de potência instalada obtido através do método da anuidade para projectos de energia das ondas para a tarifa actual, correspondente a tecnologia em fase inicial de desenvolvimento, e tarifa para tecnologia madura (tarifa para a energia eólica).

Fluxo de energia incidente $F$ [MW/km]	30
Fracção de aproveitamento de energia incidente $\varepsilon$	0,15
Factor de carga $\lambda$	0,25
Tarifa de venda de energia eléctrica [€/kWh]	0,09
Produção anual de energia eléctrica [GWh]	39
Potência média instalada [MW]	18
Investimento requerido [M€]	17
Remuneração anual do investimento [M€]	3,5
Custo anual de manutenção e operação [M€]	0,8

**Tabela 3** Valores de referência por quilómetro de aproveitamento de energia das ondas. Os valores em Euros foram calculados admitindo um investimento por unidade de potência instalada e uma tarifa correspondentes a uma tecnologia madura.

Verifica-se assim que nas condições actuais um projecto de energia das ondas será rentável se o custo de investimento não for superior a 2619 € por cada kW instalado. Contudo, quando (e se) a tecnologia ficar madura, o investimento máximo não deverá ultrapassar o valor de 938 € por cada kW instalado para igualar a competitividade actual dos projectos de centrais eólicas mais caros, embora não seja possível assegurar que projectos de energia das ondas menor rentabilidade que esta não venham a ser atractivos, por não haver outras alternativas para a produção de energia eléctrica através de fontes renováveis.



Como foi referido, no estado actual do aproveitamento da energia das ondas é habitual tomar-se como referência o valor de 15% para a percentagem de energia incidente que em média pode ser convertida em energia eléctrica na rede e um factor de carga (relação entre a potência média e a potência nominal) de 0,25. No caso da costa Oeste portuguesa o fluxo médio de energia das ondas em águas de 50 metros de profundidade é de cerca de 30 MW/km. Utilizando estes valores obtêm-se os resultados apresentados na Tabela 3 para um parque de energia das ondas com 1 km de comprimento, admitindo as condições de investimento por unidade de potência instalada e de tarifa correspondentes a uma tecnologia madura. Note-se que uma parte significativa dos custos de operação e manutenção têm a ver com os sobrecustos decorrentes da agressividade do meio e da necessidade de realizar operações no mar. Assim, parte significativa destes custos terão um impacto directo na economia das regiões onde venha a ser realizado o aproveitamento.

### 4.3 Evolução dos custos, produtividade e tarifa

O estudo de viabilidade económica realizado pela WAVENET em 2003 abrangendo um conjunto de dispositivos com diferentes tecnologias, projectados para locais diversos e com uma gama de potenciais entre os 100 kW e 5 MW, mostra que os custos de capital apresentados (em €/kWh), repartidos pelas rubricas de construção (estrutura e equipamento), instalação, manutenção e operação, transmissão eléctrica, e diversas contingências, são muito variáveis entre as diferentes tecnologias, reflectindo precisamente a diversidade de tecnologias e dimensões dos dispositivos. Com base nesta informação foi obtida uma gama de custos indicativos de produção de electricidade, variável com o recurso médio *offshore*: para dispositivos *offshore* é indicada uma gama da ordem dos 0,09-0,13 para um recurso energético de 20kW/m e 0,05-0,10 para um recurso energético de 70 kW/m; para dispositivos CAO da ordem dos 0,09-0,14 para um recurso energético de 30kW/m e entre 0,07-0,11 para um recurso energético de 70 kW/m

É importante realçar que estas estimativas de custo referem-se aos dispositivos instalados nos locais previstos pelos seus projectistas, portanto com níveis de potência disponível diferentes e distâncias variáveis de transmissão da energia para terra. Sendo assim, os custos apontados para os dispositivos não são directamente comparáveis entre eles e devem apenas ser tomados como indicativos. Por outro lado, nestas estimativas, assume-se produção em série e uma tecnologia madura, daí que os valores pareçam muito optimistas. É indicado que na fase actual os custos poderão ser 2 a 3 vezes superiores ao indicado devido a quatro razões básicas: i) imaturidade tecnológica; ii) maiores riscos estimados; iii) falta de escala económica; iv) custos de mobilização desproporcionados em projectos de pequena escala.

Na 5ª Conferência Europeia de Energia das Ondas, realizada em Cork, na Irlanda, em Setembro de 2003 foram apresentados os gastos com as primeiras centrais construídas, referidas pelas entidades envolvidas no seu desenvolvimento, designadamente: Central do Pico (0,4 MW) – 5 M€; AWS (1 MW) – 20 M€; Pelamis (0,75 MW) – 15 M€; Wave Dragon (0,02 MW) – 7,5 M€. Estes custos referem-se aos protótipos construídos e incluem os custos do seu desenvolvimento, pelo que mais uma vez serão valores pouco representativos do custo das unidades a construir, em série, no futuro. Além disso o custo por unidade de potência instalada é também bastante variável e muito elevado, sobretudo para o Wave Dragon (o que resulta desta ser uma instalação construída a uma escala 1:4,5 e, portanto, particularmente pouco representativa). Foi também apresentado na conferência pelo responsável do actual programa britânico de aproveitamento de energia das ondas o custo actual de cerca de 5 M€ por cada MW instalado, um valor que se enquadra nos dados apresentados pelas empresas.



É sabido que o custo das tecnologias se reduz com a experiência acumulada. Numa fase inicial de desenvolvimento é comum assistir-se a uma redução de cerca de 20% do custo cada vez que duplica a potência instalada, tal como se verifica hoje na energia fotovoltaica. Em fases mais avançadas do desenvolvimento esta taxa de redução tende a ser menor, podendo atingir 10%, como no caso da energia eólica.

A evolução de custos segue a curva de experiência. Até se atingir viabilidade económica, parte do investimento realizado não é compensado pela venda de energia eléctrica à tarifa correspondente a uma tecnologia madura. Esta parcela de investimento pode ser encarada como um subsídio resultante por exemplo de uma tarifa artificial (como no caso previsto pela legislação portuguesa), ou de subsídios ao investimento (como os que possam resultar de projectos submetidos ao PRIME ou à Comissão Europeia).

Após se atingir a viabilidade económica o custo da tecnologia continuará a baixar, passando a haver um lucro, por cada unidade de potência instalada. O subsídio acumulado será reembolsado depois de ser instalada uma determinada potência. Admitindo o custo de instalação actual de 5 M€/MW acima referido e que a redução do custo da tecnologia com a duplicação da potência instalada é de 15% até se atingir viabilidade económica compatível com a tarifa para tecnologias maduras (isto é um custo de instalação de 0,938 M€/MW) e de 10% após esta, obtêm-se os valores apresentados na Tabela 4.

<i>b0</i> Custo do MW instalado em condições de viabilidade económica	0,95	M€/MW
<i>b1</i> Custo do 1º MW instalado	5	M€/MW
<i>M</i> Potência a instalar para se atingir viabilidade económica	1257	MW
<i>V</i> Volume total de subsídio requerido para se atingir viabilidade económica	361	M€
<i>N</i> Potência a instalar para recuperar o subsídio <i>V</i>	3208	MW

**Tabela 4.** Valores de potência a instalar e subsídio acumulado para se atingir condições de viabilidade económica comparável aos projectos de energia eólica mais caros (tarifa de 0,09 €/kWh) e potência a instalar para recuperar o subsídio acumulado.

De acordo com os valores da Tabela 4 e considerando uma potência de 18 MW instalados por quilómetro na costa ocidental portuguesa (ver Anexo 6 e comparar com o valor de 20 MW referidos em 2.3 – Parques de Energia das Ondas) seria necessário aproveitar uma extensão de cerca de 70 km para se atingirem custos de produção de energia semelhantes aos actuais das centrais eólicas e de cerca de 178 km para se recuperar o subsídio. Como o esforço de desenvolvimento desta tecnologia não será feito apenas em Portugal, os valores referidos efectivamente aplicáveis a Portugal poderão ser substancialmente mais baixos.



## 5. Impacto potencial da energia das ondas em Portugal

### 5.1 Impacto energético

A produção potencial de energia eléctrica na costa Atlântica portuguesa é estimada admitindo um recurso de 30 kW por km de costa e que uma percentagem média de 15% da energia incidente pode ser convertida em energia eléctrica um cenário realista nas próximas décadas. Tendo em conta os 335 km de costa para instalação de potenciais parques *offshore* (ver secção 3.7) e a necessidade de ter corredores para a navegação associada às pescas de cerca de 20% deste valor, resulta um potencial de utilização de mais do que 250 km. O potencial de produção de energia eléctrica associado a esta extensão sobre os 50 m de profundidade é de 10 TWh por ano, o que representa cerca de 20% do consumo de energia eléctrica estimado pela ERSE para 2010.

### 5.2 Impacto socio-económico

O desenvolvimento da energia das ondas representa uma oportunidade de desenvolvimento do mercado interno e de vários sectores de actividade. A percentagem de incorporação nacional na construção, instalação e operação de centrais de energia das ondas depende da aposta que for feita e até certo ponto da tecnologia a utilizar. De um modo geral, a estrutura (de construção metálica na maior parte dos casos, mas podendo também ser em betão), que representa uma parte significativa dos custos, pode ser integralmente construída em Portugal. Existe também tecnologia em Portugal para fabricar a maior parte dos componentes eléctricos e mecânicos, assim como os sistemas de amarração. Poderão ficar de fora os cabos eléctricos submarinos, alguma instrumentação e equipamentos de controlo e alguns dos serviços necessários à instalação das centrais (como, por exemplo, o de colocação dos cabos submarinos). Para além do impacto industrial, o desenvolvimento da energia das ondas irá requerer uma prestação de serviços diversificada e significativa, a grande maioria da qual será realizada por empresas nacionais. Não será demasiadamente optimista indicar que, dependendo da tecnologia, da fase de desenvolvimento e das condições criadas, a incorporação nacional poderá vir a estar compreendida entre 50 e 75%. Para o potencial referido de 250 km e utilizando o valor indicado de 17 M€ para o investimento requerido por quilómetro, obtém-se um investimento total de 4250 milhões de Euros. Para os mesmos 250 km, utilizando o valor de 20 MW de potência instalada por quilómetro, obtém-se uma potência instalada de 5 GW. A título indicativo indica-se que a Escócia estima um potencial de instalação de 14 GW em energia das ondas. A estratégia escocesa aponta para ter instalados 1300 MW em 2010, ano em que esperam fabricar 700 MW de centrais de energia das ondas, dos quais 600 MW são para exportação. Com estes números antevêem criar cerca de 7000 novos postos de trabalho directos em actividades de construção, instalação, operação e serviços. Estes valores são reveladores do impacto socio-económico que a energia das ondas pode alcançar a nível nacional<sup>7</sup>.

O impacto socio-económico da energia das ondas a nível regional é também importante, pois uma parte significativa dos custos de instalação, operação e manutenção são realizados próximos da zona de instalação, por motivos de redução de custos. As actividades acima referidas, requerendo pessoal

---

<sup>7</sup> Num estudo citado pela 'British Wind Energy Association' sobre as perspectivas da energia eólica *offshore* foi estimada a criação de 4,5 novos empregos por cada MW instalado.



com experiência marítima, podem ser uma alternativa de emprego para as populações atingidas pelo decréscimo da actividade piscatória a que se assiste.

### 5.3 Outros impactes

Dois outros tipos de impacte podem ser associados ao desenvolvimento do aproveitamento da energia das ondas: i) o desenvolvimento de capacidade nacional em tecnologia oceânica e ii) o desenvolvimento de práticas e posturas de inovação industrial.

O desenvolvimento do aproveitamento da energia das ondas permitirá dotar o país de empresas industriais e de serviços com tecnologia, meios e experiência oceânicas, fundamentais para o aproveitamento de outros recursos oceânicos que venham a revelar potencial económico para a sua exploração. Este impacte é particularmente importante num país que pretende transformar o oceano numa oportunidade de desenvolvimento, mas que, por não ter qualquer actividade *offshore*, não dispõe de indústria e serviços com os meios e a experiência necessárias.

É um outro objectivo nacional aumentar e melhorar as práticas e as posturas de inovação. Como outras áreas, também esta, se for desenvolvida, contribuirá para esse fim, já que é claramente uma área de inovação e integradora de tecnologias, a ser desenvolvida em ligação estreita com empresas estrangeiras detentoras de tecnologia.



## 6. Enquadramento legal e financeiro

Apesar dos avanços significativos, há ainda um caminho a percorrer na área do aproveitamento da energia das ondas até se atingir o estado duma tecnologia madura e economicamente competitiva. Esse caminho obriga à assunção de riscos e de custos por parte das empresas envolvidas, não sendo para elas indiferente os apoios públicos que lhes venham a ser facultados. É importante ter a noção que esses apoios não são exclusivamente financeiros, havendo apoios significativos de natureza legislativa e processual, que podem facilmente ser ainda mais relevantes do que os primeiros. Os apoios públicos têm também duas vertentes: uma que se dirige às empresas directamente envolvidas no desenvolvimento de projectos (parques de ondas) ou de produtos (sistemas de aproveitamento) e outra que se dirige a apoiar um conjunto de infra-estruturas genéricas de que são exemplos a disponibilidade de pontos de ligação ou de capacidade técnica e científica (mão de obra qualificada, meios técnicos de intervenção, cadeia de fornecedores competitiva, etc.).

### 6.1 Licenciamento de parques de energia das ondas

O licenciamento representa um instrumento valioso ao dispor do Estado com impacte nos três aspectos seguintes:

1. Protecção do meio ambiente
2. Ordenamento do território
3. Desenvolvimento sócio-económico

Um licenciamento moroso ou excessivamente exigente poderá afastar potenciais promotores, que passarão a escolher outros países para desenvolver os primeiros parques de energia das ondas, ainda que disponham de condições menos favoráveis que as aqui existentes, em termos de recurso, de infra-estruturas ou de tarifa e obrigatoriedade de compra da energia produzida. Pelo contrário, um licenciamento ágil e equilibrado é um elemento complementar de atracção, permitindo trazer para Portugal o desenvolvimento tecnológico nesta área, e, dessa forma, a participação das empresas nacionais neste desenvolvimento desde uma fase inicial, condição fundamental para potenciar a exportação de produtos e serviços nacionais em fases mais avançadas.

A protecção do meio ambiente pressupõem que a instalação de parques de energia das ondas é realizada em zonas de baixa ou moderada sensibilidade ambiental e que são utilizadas tecnologias de baixo ou moderado impacte ambiental. É necessário identificar, portanto, de uma forma mais aprofundada do que a realizada neste estudo preliminar, quais as zonas na costa ocidental portuguesa entre os 50 e os 80 metros de profundidade que apresentam grande, moderada e baixa sensibilidade ambiental e quais as restrições a impor, para cada tipo de zona, em termos da tecnologia de extracção de energia das ondas a utilizar.

O ordenamento do território tem em conta os possíveis conflitos de interesse relativos à utilização do espaço ocupado pelos parques de energia das ondas, sendo a navegação marítima, as pescas e a actividade de pesquisa, prospecção e exploração de hidrocarbonetos as principais candidatas a esse conflito. Também aqui é necessário aprofundar a avaliação preliminar realizada neste estudo e caracterizar a costa portuguesa, às profundidades indicadas, quanto a estes aspectos. O ordenamento deverá também ter em conta a disponibilidade de infra-estruturas necessárias ao aproveitamento da energia das ondas, nomeadamente a localização de portos e estaleiros navais, a disponibilidade da rede eléctrica nacional e as características geomorfológicas do fundo do mar.



Dos dois pontos anteriores deve resultar uma identificação e caracterização pormenorizada das zonas da costa oeste portuguesa entre os 50 e os 80 metros de profundidade com características adequadas para a colocação de parques de energia das ondas, identificando possíveis áreas de concessão, com indicação das limitações impostas às tecnologias em termos ambientais e de ordenamento de território e antevendo as características da rede eléctrica submarina que servirá os diversos parques em cada possível área de concessão, bem como as características e localização dos pontos de ligação à rede eléctrica nacional.

A identificação das possíveis áreas de instalação de parques de energia das ondas é fundamental para aliviar a pressão sobre zonas da costa menos adequadas para a instalação de parques de energia das ondas e para criar perspectiva de negócio às empresas, promotoras de parques de energia das ondas ou fornecedoras de serviços ou componentes, e para avaliar de forma mais precisa o impacte potencial desta forma de energia para Portugal, quer em termos de produção de energia, quer em termos de desenvolvimento sócio-económico.

Com efeito, na ausência de indicação clara de onde não é possível instalar parques (por razões ambientais, de ordenamento do território ou técnicas), aparecerão seguramente iniciativas pontuais de instalação de parques de energia das ondas não integradas numa perspectiva global, potencialmente com prejuízo para os promotores, para os possíveis fornecedores, para os outros utentes do espaço, para o ambiente e para o estado, já que perde capacidade de gestão de dois recursos importantes: a energia e o espaço marítimo utilizado.

Em Portugal há pouca experiência de licenciar instalações no mar, já que apenas existem, e com pouca expressão, instalações de pesquisa de hidrocarbonetos e de piscicultura. A regulamentação dos processos de licenciamento deste tipo de infra-estruturas é a constante no DL n.º 254/99 de 7 de Julho. Esta regulamentação obriga à intervenção de 5 diferentes ministérios: Ministério de Estado e da Defesa Nacional, Ministério da Economia, Ministério da Agricultura, Desenvolvimento Rural e Pescas, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Habitação, Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente. Embora tratando-se de um caso pontual, interessa analisar o processo decorrente do licenciamento da instalação piloto do sistema AWS ao largo da Aguçadoura, na Póvoa do Varzim, autorizada pela Portaria n.º 1357/2003. Nos termos desta Portaria, o licenciamento foi concedido pelo Instituto Portuário e dos Transportes Marítimos, carecendo de parecer da Capitania do Porto da Póvoa do Varzim, tendo sido acompanhado pela criação de uma comissão de acompanhamento do projecto presidida pelo Instituto do Ambiente. O licenciamento foi concedido por 5 anos, o que parece curto para os investimentos realizados e as escalas de tempo associadas ao desenvolvimento tecnológico de produtos com a complexidade das centrais de energia das ondas.

Partindo do princípio de que são identificadas as áreas disponíveis para a instalação de parques de energia das ondas, propõe-se que o licenciamento seja feito em três fases, distinguindo, numa fase anterior, o licenciamento das áreas, numa fase intermédia o licenciamento dos sistemas de extracção e, numa fase posterior, o licenciamento dos parques.

Na primeira fase seriam identificadas as limitações para cada área de instalação em termos de impactes a evitar e da utilização de espaço. A segunda fase seria a do licenciamento dos sistemas de extracção, que corresponderia a identificar os impactes associados a cada tipo de sistema. A fase final correspondente ao licenciamento dos parques, consistiria em verificar a conformidade dos sistemas de extracção e da configuração do parque com os requisitos identificados em termos de impactes a evitar e utilização de espaço para as diversas áreas de instalação.



A decomposição do licenciamento permitiria também reduzir o número de entidades envolvidas no processo final de licenciamento e a consequente diminuição dos prazos de apreciação dos processos, já que a intervenção dos actuais 5 ministérios no processo de licenciamento teria lugar apenas na fase do licenciamento das áreas, ficando o licenciamento dos sistemas de aproveitamento entregues a empresas certificadas para o efeito (esta via permitiria abrir um novo tipo de serviços, que mais tarde poderiam ser exportados para países onde se viesse a utilizar esta forma de energia) e a do licenciamento dos parques a uma única entidade pública.

Na definição de uma política de licenciamento de parques de energia das ondas, é necessário distinguir a fase actual, ainda de desenvolvimento, de uma fase futura de tecnologia madura e economicamente viável.

Nesta primeira fase a potência a instalar é muito limitada e, por esse motivo, muito limitados os riscos ambientais e os conflitos de interesse com outras utilizações. Estes aspectos devem estar presentes na legislação sobre o licenciamento a desenvolver e no processo de licenciamento nesta fase. Por outro lado, são elevados os riscos empresariais relacionados com o desenvolvimento da tecnologia e a recuperação do investimento realizado nesse desenvolvimento ou na instalação dos primeiros parques. Como referido em 4.3 *Evolução dos custos, produtividade e tarifa*, o investimento realizado até que as tecnologias de extracção sejam competitivas é elevado, sendo necessário criar um mercado interno suficientemente interessante, para além duma tarifa de compra de energia que apoie o desenvolvimento. Neste sentido, o licenciamento é um instrumento importante de apoio aos consórcios com participação de empresas nacionais, que se estabeleçam para desenvolver esta tecnologia em Portugal. Dado o elevado potencial de utilização da energia das ondas (da ordem de 4 GW para mais de 250 km potencialmente exploráveis), não parece ser excessivo que, na fase actual, sejam oferecidos a esses consórcios concessões de 100 MW (o que corresponde a 5 ~ 7 km de costa) de potência instalada por um prazo de tempo suficientemente longo para completar o desenvolvimento tecnológico, parecendo razoável que esse período de tempo atinja uma ou duas dezenas de anos, eventualmente com uma ou mais avaliações intercalares.

Já na fase de maturidade tecnológica e competitividade económica, ou próximo dela, a situação é diferente, podendo o Estado tirar partido do potencial de utilização de energia das ondas, abrindo concursos internacionais para atribuição de concessões para o aproveitamento da energia das ondas.

## 6.2 Financiamento de sistemas e de parques de energia das ondas

Na análise da problemática do financiamento do aproveitamento da energia das ondas, há a distinguir o financiamento do desenvolvimento dos sistemas de aproveitamento (desde a fase inicial de concepção até à de construção de protótipo), o financiamento dos parques de energia das ondas e o financiamento da cadeia de fornecedores necessários para o desenvolvimento do aproveitamento da energia das ondas como uma nova indústria, com aspectos específicos inovadores.

Numa fase inicial de desenvolvimento, os sistemas de aproveitamento de energia das ondas são normalmente desenvolvidos por empresas de pequena dimensão e frequentemente financiados com apoios públicos significativos de origem nacional ou comunitária. À medida que o conceito se desenvolve o peso do apoio público decresce e o financiamento privado aumenta, sobretudo através de grandes financiadores que frequentemente tomam a forma de fundos de capital de risco. Estas empresas e estes fundos investem na tecnologia que se está a desenvolver e não directamente na venda de energia. Como frisado na conferência “All-Energy Opportunities” realizada em Aberdeen, em Maio de 2003, pela generalidade de responsáveis financeiros das empresas com protótipos de sistemas de aproveitamento de energia marítima presentes, os fundos de capital de risco (que se



resumem a 4 ou 5 na Europa na área da energia) são os parceiros mais adequados, pois avaliam seriamente os sistemas e os avanços e não impõem quaisquer restrições às soluções técnicas encontradas, por não estarem associados a empresas com interesses estratégicos na área dos componentes. Pela sua natureza os fundos de capital de risco procuram recuperar o capital e realizar os lucros num prazo de 5 ou 6 anos, intervalo de tempo disponível para estas empresas crescerem e se tornarem interessantes para empresas industriais de maior dimensão que as adquirem. Para que tal aconteça é necessário que entretanto consigam demonstrar a tecnologia e a construção de um ou mais parques com intervenção de promotores de parques.

Tudo indica que as empresas promotoras de parques de energia das ondas, venham a ser empresas que já operam no sector da produção de energia eléctrica e que, por isso, têm capacidade financeira autónoma ou têm ligações estreitas a grupos financeiros que asseguram o financiamento requerido. Uma tarifa muito favorável de compra da energia das ondas, como a que se verifica em Portugal, beneficia sobretudo as empresas promotoras de parques de ondas e só indirectamente as empresas que desenvolvem os sistemas de aproveitamento ou as que se apresentam como possíveis fornecedoras. De momento não há nenhum mecanismo específico de apoio a estas últimas empresas.

Para além dos elevados custos actuais do aproveitamento da energia das ondas, há também que ter em conta os elevados riscos associados à construção de um parque de energia das ondas. Foram identificados os seguintes riscos:

1. Recurso – inferior ao estimado;
2. Tecnologia – sistemas funcionando com menor rendimento do que o esperado;
3. Operação:
  - 3.1. – Construção, fabrico, transporte e instalação mais demorados ou mais caros que o previsto;
  - 3.2. – Manutenção mais cara do que a prevista;
  - 3.3. – Disponibilidade menor que a prevista;

e os seguintes riscos por tipo de entidade envolvida:

1. Entidade licenciadora – demora no processo de licenciamento e/ou avaliação de riscos mais exigente que o previsto;
2. Rede eléctrica/distribuidor – requisitos muito exigentes da qualidade da energia produzida e de previsão da potência produzida para fins de gestão de rede eléctrica;
3. Seguradora – sobreavaliação da probabilidade de perda/danificação;
4. Entidades financeiras:
  - 4.1 – Bancos – avaliação pessimista da evolução do *cash-flow*;
  - 4.2 – Investidores – avaliação pessimista da taxa de rentabilidade interna do projecto.

Uma forma de minimizar os riscos (e os custos correspondentes) é a introdução desde tão cedo quanto possível de normas de boa prática e processos de certificação relativamente às diversas fases do projecto. A certificação será com certeza uma área de prestação de serviços de grande relevo no aproveitamento da energia das ondas, onde ganhará mercado quem se antecipar.



### **6.3 Estratégia nacional e instrumentos de apoio ao desenvolvimento da energia das ondas em Portugal**

Como foi referido, o aproveitamento da energia das ondas pode ter um impacto muito significativo para Portugal, nomeadamente em termos de produção de energia por meios renováveis, criação de emprego, oportunidade de exportação de equipamentos e serviços e inovação. O nível desse impacto depende seguramente de desenvolvimentos que ultrapassam a escala nacional, mas também da capacidade de organização nacional, tendo em vista tornar o país atractivo para investidores estrangeiros como região adequada para o desenvolvimento industrial e comercial do aproveitamento de energia das ondas e reforçar a sua capacidade técnico-científica e empresarial para assegurar uma participação activa e inteligente das empresas e instituições de I&D nacionais desde a primeira hora desse desenvolvimento.

A atractividade de Portugal para cativar investimento e projectos de desenvolvimento nesta área é fundamental, dadas as conhecidas limitações financeiras, tecnológicas e empresariais (no que diz respeito à inovação) das empresas nacionais. Essa atractividade reforça-se com processos de licenciamento e de pedido de pontos de ligação claros e expeditos, com apoios financeiros e/ou fiscais às empresas investidoras e com o desenvolvimento de uma indústria e serviços que constituam uma cadeia de fornecimentos fiável e competitiva.

Para dar uma resposta clara às questões que venham a ser colocadas pelos futuros investidores, é fundamental antecipar essas questões e preparar as respectivas respostas. Exemplos dessa antecipação são a definição das zonas com potencial para a instalação de parques de ondas, a caracterização dos fundos nessas zonas e das ligações eléctricas entre os parques e os pontos de ligação em terra, a identificação de empresas portuguesas credíveis passíveis de serem fornecedoras de componentes e serviços, a disponibilização de informações meteorológicas, oceanográficas e geomorfológicas relevantes, etc.

Um outro elemento chave da estratégia nacional deve ser a elaboração de estudos que permitam avaliar o risco, o custo e o potencial das várias opções estratégicas que se vão colocando, tendo em vista escolher de forma fundamentada e em tempo útil a melhor de entre essas opções. Para tal devem ser aprofundados os estudos sobre o impacto energético e ambiental do aproveitamento da energia das ondas, bem como sobre o seu impacto sócio-económico não só num contexto nacional, mas também tendo em vista o potencial de exportação e a melhor estratégia para o atingir.

Propõe-se assim uma estratégia baseada nos seguintes objectivos:

1. Promover a atracção de investimento e projectos estrangeiros credíveis na área da energia das ondas em parceria com empresas nacionais;
2. Promover o aparecimento de empresas e instituições de I&D vocacionadas para o fornecimento de equipamentos e serviços na área da energia das ondas;
3. Promover o desenvolvimento e disponibilização de informação pertinente para o aproveitamento de energia das ondas.

e nos seguintes instrumentos:



1. Manutenção da tarifa diferenciando formas de energia em diferentes fases de maturidade e com grande potencial<sup>8</sup>;
2. Desenvolvimento de legislação tendo em vista processos expeditos de licenciamento e de pedidos de pontos de ligação, e de uma estratégia de licenciamento que, salvaguardando o ordenamento do território, favoreça a formação de consórcios internacionais com participação nacional para o desenvolvimento da tecnologia de extracção e a exploração do recurso<sup>9</sup>;
3. Procura de um parceiro estratégico internacional com capacidade financeira e experiência em actividade offshore e actividades em todo o mundo, de modo a compensar estas 3 debilidades nacionais;
4. Criação de uma entidade (de preferência uma empresa com capitais públicos e privados) que tenha uma tripla função: i) avaliar e apoiar técnica e financeiramente as tecnologias de conversão de energia das ondas nacionais ou estrangeiras com interesse para Portugal; ii) fomentar o estabelecimento de consórcios como os referidos acima e iii) promover a reconversão de empresas nacionais, tendo em vista o seu posicionamento como fornecedores de equipamentos e serviços na área da energia das ondas<sup>10</sup>.
5. Constituição de um fórum com participação governamental e de empresas e instituições de I&D tendo em vista aprofundar e actualizar a estratégia para a área do aproveitamento da energia das ondas<sup>11</sup>;
6. Constituição de uma rede universitária dirigida a esta área, financiada por fundos públicos mediante contrato com a Fundação de Ciência e Tecnologia<sup>12</sup>;
7. Construção de um centro de teste no mar de protótipos de energia das ondas<sup>13</sup>, eventualmente tirando partido da instalação actualmente existente na Póvoa do Varzim desenvolvida para o teste da central piloto AWS.

---

<sup>8</sup> Se o objectivo é, para além de produzir uma energia renovável, desenvolver uma nova indústria e serviços que potenciem a economia e a exportação, então é necessário distinguir entre as diferentes formas alternativas de produzir energia renovável, sendo a tarifa diferenciada a mais eficiente e das que maior conforto dá ao promotor, com menores riscos para o Estado. A alternativa à tarifa poderia ser a atribuição de financiamento público a produtos e projectos específicos através do PRIME ou de outros mecanismos. Contudo, num país com procedimentos e uma administração pública pouco célere, como a que existe em Portugal, esse caminho levará seguramente ao fracasso, como tem demonstrado a experiência recente, precisamente na área da energia das ondas.

<sup>9</sup> Propõe-se a definição e a caracterização das áreas com potencial para a instalação de parques de ondas e, numa fase inicial, a atribuição de algumas dessas áreas aos consórcios que provem ter condições para aproveitar o recurso e desenvolver indústria e serviços nacionais com forte componente tecnológica e de inovação.

<sup>10</sup> Esta é uma proposta que copia a iniciativa britânica para a energia dos oceanos (ondas e correntes marítimas) denominada Carbon Thrust Marine Challenge, que tem um financiamento (público) de 2,5 milhões de libras esterlinas para 2004/5. No âmbito desta iniciativa 8 sistemas de aproveitamento de energia das ondas, sendo 4 estrangeiros, são avaliados técnica e economicamente por empresas britânicas de consultoria em engenharia, do que resultarão recomendações para benefício dos sistemas e uma avaliação tendo em vista as fases seguintes de desenvolvimento.

<sup>11</sup> Esta é uma proposta que copia a iniciativa escocesa FREDS/MEG – *Forum on Renewable Energy Development in Scotland, Marine Energy Group*, sob dependência directa do *Deputy Enterprise Minister* do Governo Escocês e participação da indústria, com o objectivo de produzir um plano de acções tendo em vista transformar a Escócia no líder mundial de energia das ondas em 2010.

<sup>12</sup> Esta é uma proposta que copia a iniciativa britânica *Supergen*, uma rede de mais de 20 empresas de base tecnológica com actividade em energia dos oceanos e 4 universidades financiada por fundos públicos no valor de 2,8 milhões de Libras para um período de 4 anos através do *Engineering and Physical Sciences Research Council*, com o objectivo de desenvolver investigação fundamental nesta área.



Muito mais do que um financiamento avultado, o conjunto das medidas propostas requer vontade e organização. A este propósito nota-se que o investimento realizado no Reino Unido nesta área entre 2002 e 2005 não ultrapassa os 10 milhões de Libras. Nenhum outro país sequer se aproximou deste valor. Tal significa que com uma organização e estratégia correctas, um investimento moderado e procurando as parcerias certas, Portugal poderá vir a uma posição relevante na área do aproveitamento da energia das ondas.

---

<sup>13</sup> Esta é uma proposta que copia a iniciativa escocesa *EMEC (European Marine Energy Centre)*, um centro de testes de protótipos de energia das ondas e das correntes marítimas que custou 4 milhões de Libras, pagos com verbas públicas. O objectivo é tornar o EMEC um centro de excelência a nível mundial que prestará serviços em toda a cadeia de desenvolvimento dos sistemas de energia das ondas e das correntes marítimas, desde a verificação do projecto, à especificação das condições de ensaio, ao teste no mar (no local da infra-estrutura de teste ou em qualquer ponto do mundo), até à certificação de dispositivos.



## 7. Conclusões

Após cerca de 30 anos de investigação e desenvolvimento, assiste-se presentemente ao teste no mar de quatro diferentes tecnologias de aproveitamento de energia das ondas. Para além destas, existem outras tecnologias em fase mais atrasada de desenvolvimento que se espera que venham a atingir uma fase semelhante num futuro não muito distante. Todos estes sistemas são desenvolvidos por empresas, normalmente apoiadas por universidades ou laboratórios de investigação.

A situação referida acima tem motivado o interesse do mundo empresarial por esta área, tal como se constata pelo interesse directo de algumas grandes empresas e pela verificação de que são de empresas a maior parte dos participantes nas conferências europeias de energia das ondas, contrariamente ao que se verificava há menos de 6 anos atrás.

Paralelamente tem se verificado o aparecimento de programas e estratégias nacionais para esta área, com o Reino Unido, e em particular a Escócia, a liderarem esse movimento com um conjunto articulado de medidas tendentes a desenvolverem a tecnologia e a criarem condições para o desenvolvimento de uma nova indústria, que se espera ser responsável por 7000 novos postos de trabalho na Escócia, em 2010.

Portugal, com um recurso energético médio-alto (fluxo médio anual de 30 MW por cada quilómetro de frente de onda em águas com 50 metros de profundidade), tem um potencial de utilização de energia das ondas em excesso de 250 km, de onde pode resultar uma produção de energia eléctrica na rede de cerca de 10 TWh/ano (cerca de 20% do nosso consumo). O valor de 250 km indicado resultou de uma análise preliminar aos conflitos de utilização do meio marinho existentes na nossa costa. Para além de boas condições naturais para o aproveitamento da energia das ondas, Portugal oferece ao longo da costa todas as infra-estruturas de apoio necessárias (portos, estaleiros navais e pontos de ligação), uma indústria e serviços com capacidade para assegurarem os requisitos fundamentais e um conhecimento específico na área da energia das ondas muito significativo, em resultado do envolvimento de mais de 25 anos nesta área e da concepção e construção da central de ondas de 400 kW da ilha do Pico, bem como da participação na central escocesa LIMPET e na central piloto AWS (tecnologia holandesa com parceria portuguesa).

Tal como no resto da Europa, também as empresas portuguesas estão atentas e interessadas neste tipo de energia. Prova disso é a constituição do Wave Energy Centre – Centro de Energia das Ondas (WEC) em Março de 2003, agrupando 8 empresas (uma estrangeira) e 3 instituições de I&D, de onde se salientam, pela sua importância, a EDP, a Enersis e a EFACEC, o IST e o INETI. Um outro sinal claro é o envolvimento da Enersis no teste da central piloto AWS (a Enersis detém a Oceanerga, empresa dona da central piloto AWS e da estação de ligação em terra) e o acordo de princípio com a OPD para construir e testar em Portugal 4 sistemas Pelamis no próximo ano.

Para além da produção de energia renovável, estima-se que o aproveitamento da energia das ondas possa dar uma importante contribuição para o desenvolvimento da economia portuguesa, através da criação de novos postos de trabalho, do desenvolvimento de uma indústria e serviços de base tecnológica com grande potencial de exportação e com aplicação na exploração de outros recursos oceânicos que o futuro venha a identificar como de interesse. Contudo, para atingir estes objectivos, o país necessita de desenvolver uma estratégia adequada.

Essa estratégia deve reconhecer a necessidade de atrair parceiros estrangeiros com capacidade tecnológica e financeira, de criar condições para permitir às empresas nacionais posicionarem-se como fornecedoras credíveis de serviços e equipamentos, apoiadas em instituições nacionais de I&D. Quanto ao primeiro aspecto há que atender aos apoios financeiros e/ou fiscais (sendo defendida a tarifa diferenciada em vigor) e às questões relacionadas com o licenciamento e pedido



de pontos de ligação. Quanto ao segundo aspecto propõe-se a criação de um fundo específico gerido por uma entidade vocacionada para a energia das ondas e a criação de uma rede universitária financiada por um programa contracto com a Fundação de Ciência e Tecnologia. Finalmente propõe-se a criação de um fórum de reflexão sobre a estratégia nacional a adoptar para esta área na dependência do governo e a criação de um centro de teste de protótipos em Portugal. A estratégia proposta pressupõe o estabelecimento de alianças estratégicas internacionais e fundamenta-se em grande parte na que foi desenvolvida no Reino Unido e na Escócia e que parece estar a dar bons resultados.



## Bibliografia

- [1] British Wind Energy Association (2000), “Prospects for Offshore Wind Energy”, *Border Wind*, June 1998, Offshore wind energy - building a new industry for Britain. Greenpeace.
- [2] Cruz, J.M.B.P., Sarmiento, A.J.N.A. (2004) “Energia das Ondas: Introdução aos Aspectos Tecnológicos, Económicos e Ambientais”, Instituto do Ambiente (em impressão).
- [3] Gabinete para a Pesquisa e Exploração de Petróleo, Secretaria de Estado da Energia, Legislação Petrolífera – Decreto-Lei nº 109/94 de 26 de Abril.
- [4] Instituto Hidrográfico, Avisos aos Navegantes, Grupo Anual 2003.
- [5] Instituto Hidrográfico, Catálogo de Cartas Náuticas Oficiais 2003.
- [6] Instituto Hidrográfico, Carta da Série Oceânica, Oceano Atlântico Norte, Portugal Continental, Arquipélago dos Açores e da Madeira, escala 1:2500 000, 2002.
- [7] Instituto Hidrográfico, Carta da Série Costeira, Portugal Continental – Costa Oeste, Caminha a Aveiro, escala 1:150 000, 1999.
- [8] Instituto Hidrográfico, Carta da Série Costeira, Portugal Continental – Costa Oeste, Aveiro a Peniche, escala 1:150 000, 2000.
- [9] Instituto Hidrográfico, Carta da Série Costeira, Portugal Continental – Costa Oeste, Nazaré a Lisboa, escala 1:150 000, 2001.
- [10] Instituto Hidrográfico, Carta da Série Pescas, Portugal Continental – Costa Oeste, Cabo da Roca ao Cabo de Sines, escala 1:150 000, 2001, reimpressão 2003.
- [11] Instituto Hidrográfico, Carta da Série Pescas, Portugal Continental – Costa Oeste e Sul, Cabo de Sines a Lagos escala 1:150 000, 2000.
- [12] Magalhães, Fernando Mendes de Queirós, Os Sedimentos da Plataforma Continental Português: Contrastes espaciais, Perspectiva Temporal, Potencialidades Económicas, Dissertação apresentada na Universidade de Lisboa para obtenção do grau de Doutor em Geologia na especialidade de Sedimentologia, Instituto Hidrográfico, Lisboa, 2001.
- [13] Neumann, F., Sarmiento A.J.N.A. (2000), “An Assessment of Technical and Economical Viability of OWC Integration in Breakwaters”; Proc. 4th European Wave Power Conf., University of Aalborg, Denmark, paper B3.
- [14] Neumann, F. and Sarmiento, A.J.N.A. (2002), “OWC-Caisson Economy and its Dependency on Breaking Wave Design Loads”, Proc of the 11th Int Offshore and Polar Eng Conf, ISOPE, Stavenger, Norway.
- [15] Rede Eléctrica Nacional, S.A., “Caracterização da Rede nacional de Transporte em 31 de Dezembro de 2001”.
- [16] Sarmiento, A., Relatório interno sobre a Conferência e Exposição “All-Energy Opportunities”, Aberdeen, Escócia, 25 a 27 de Maio 2004.
- [17] Sarmiento, A.J.N.A.; Neumann, F.; Britomelo, A. (2004a), “Non-technical barriers to large-scale Wave Energy Utilisation”, submetido na conferência *New and Renewable Energy Technologies for Sustainable Development*, Évora.
- [18] Sarmiento, A.J.N.A.; Britomelo, A.; Neumann, F. (2004b), “Estudo Socio-económico do desenvolvimento da energia das ondas em Portugal”, submetido na conferência nacional *ENER04*, Figueira da Foz.



- [19] Thorpe, T. W. (1992), “A review of wave energy”, Report ETSU-R-72 for the DTI, AEA Technology.
- [20] Thorpe, T. W. (1999), “A brief review of wave energy”, Report ETSU-R-120 for the DTI, AEA Technology.
- [21] Thorpe, T. W. (2003), “Economics of Wave Energy”, WaveNet Report.
- [22] Wavenet (2003), “Results from the work of the European Thematic Network on Wave Energy”, ERK-CT-1999-2001 2000-2003, European Community, March 2003.

## Legislação

### Produção de energia eléctrica a partir de recursos renováveis

#### Decreto-Lei n.º 189/88, de 27 de Maio

Estabelece as regras aplicáveis à produção de energia eléctrica a partir de recursos renováveis e à produção combinada de calor e electricidade.

#### Decreto-Lei n.º 168/99, de 18 de Maio

Alteração de algumas disposições do Decreto-Lei n.º 189/88, de 27 de Maio e sua republicação.

#### Decreto-Lei n.º 312/2001, de 10 de Dezembro

Define o regime de gestão da capacidade de recepção de energia eléctrica nas redes do Sistema Eléctrico de Serviço Público, proveniente de centros electroprodutores do Sistema Eléctrico Independente

#### Decreto-lei n.º 339-C/2001, de 29 de Dezembro

Revisão do Decreto-Lei n.º 168/99, de 18 de Maio, introduzindo-lhe alterações ao estabelecimento de uma remuneração diferenciada por tecnologia e regime de exploração e atribuindo destaque apropriado às tecnologias que, embora emergentes, como é o caso da energia das ondas e da energia solar fotovoltaica, evidenciam um elevado potencial a médio prazo.

### Prospecção, Pesquisa e Exploração de Recursos Geológicos

#### DL n.º 109/94, de 26 de Abril

Regulamenta o acesso e exercício das actividades de prospecção, pesquisa, desenvolvimento e produção de petróleo nas áreas disponíveis da superfície emersa do território nacional, das águas interiores, do mar territorial e da plataforma continental, bem como a realização de estudos de avaliação prévia do potencial interesse no referido exercício de actividade.

### Licenciamento

#### DL n.º 254/99, de 7 de Julho

Define o regime de ocupação do domínio público marítimo das águas territoriais da zona económica exclusiva (ZEE) e dos respectivos solos e subsolos submarinos para efeitos de construção e exploração de quaisquer infra-estruturas, instalações ou equipamentos destinados à movimentação de mercadorias ou de passageiros que decorram do exercício de actividades comerciais, industriais ou piscatórias ou de actividades turísticas ou de lazer.

#### Portaria n.º 1357/2003, de 13 de Dezembro

Autoriza a sociedade OCEANERGIA — Projecto de Produção de Energia de Ondas, Unipessoal, L.da, a implantar as infra-estruturas necessárias para a operação de um sistema de produção de energia eléctrica através da energia das ondas



do mar, com «flutuadores de Arquimedes», na área do domínio público marítimo ao longo da costa de Castelo de Neiva.

### **Sistema de incentivos**

Portaria nº 436/2003, de 27 de Maio

Criação e regulamentação o Sistema de Incentivos à Realização de Projectos Piloto Relativos a Produtos, Processos e Sistemas Tecnologicamente Inovadores.

Portaria nº 383/2002, de 10 de Abril

Regulamentação de Execução da Medida de Apoio ao Aproveitamento do Potencial Energético e Racionalização de Consumos (MAPE).

## **Anexo 1** | Capacidade técnica-científica em energia das ondas em Portugal

# **Currículo do grupo de energia das ondas do IST-INETI-WEC**

## **Resumo**

Outubro de 2004

A equipa do grupo de investigação em energia das ondas do IST, INETI e Centro de Energia das ondas (WEC) é constituída por seis membros doutorados: Profs. António Falcão (IST), António Sarmiento (IST), Luís Gato (IST), Dr<sup>a</sup> Ana Brito e Melo (WEC), Dr<sup>a</sup> Maria Teresa Pontes (INETI) e Dr. Paulo Justino (INETI).

Na sequência dos trabalhos de investigação iniciais de natureza mais fundamental seguiram-se actividades de desenvolvimento e demonstração da tecnologia que incluem três centrais piloto construídas: a da ilha do Pico, nos Açores (concluída em 1999, com 400 kW), a do LIMPET na ilha de Islay, na Escócia (concluída em 2000, com 500 kW), e a central AWS ao largo da Póvoa do Varzim (2 MW) actualmente em fase de testes, bem como os estudos preliminares da central de demonstração a construir no quebramar da Foz do Douro.

A equipa tem grande experiência de participação e coordenação de projectos científicos, tendo participado em 14 projectos de investigação financiados pela Comissão Europeia nesta área, tendo sido a entidade coordenadora de 6 desses projectos. Para além disso a equipa coordenou 4 projectos nacionais nesta área. Nestes projectos a equipa colaborou com um grande número de empresas nacionais e estrangeiras.

A implantação internacional da equipa revela-se também pela sua grande contribuição na organização de conferências e simpósios nesta área, sendo de salientar a presença de membros da equipa no comité científico de todas as conferências europeias na área e das duas grandes conferências anuais de impacto mundial com sessões na área, a Internacional Conference on Offshore and Polar Engineering e a International Conference on Offshore Mechanics and Artic Engineering. Por iniciativa do INETI foi criado em 2001 um *Implementing Agreement on Ocean Energy Systems* no âmbito da Agência Internacional de Energia.

Para além do desenvolvimento tecnológico, a equipa tem uma elevada produção científica ilustrada por 8 teses de doutoramento e 9 de mestrado defendidas no IST e pela publicação de 41 artigos científicos em revista da especialidade e 112 artigos científicos publicados em anais de conferências científicas.

# Currículo

## 1. Membros seniores da equipa

### IST:

- Prof. António Falcão, Professor Catedrático, Depart. de Eng. Mecânica, IST;
- Prof. António Sarmento, Professor Associado, Depart. de Eng. Mecânica, IST;
- Prof. Luís Gato, Professor Associado, Departamento de Engenharia Mecânica, IST;

### INETI

- Dr<sup>a</sup> Eng<sup>a</sup> Maria Teresa Pontes, Investigadora Principal, Depart. de Energias Renováveis, INETI;
- Dr. Eng<sup>o</sup> Paulo Justino, Investigador Auxiliar, Depart. de Energias Renováveis, INETI.

### WAVE ENERGY CENTRE – CENTRO DE ENERGIA DAS ONDAS (WEC)

- Dr<sup>a</sup> Eng<sup>a</sup> Ana Brito e Melo, Investigadora Doutorada, WEC.

## 2. Participação no desenvolvimento de protótipos

- **Central Piloto Europeia da Ilha do Pico, Açores**
  - Tipo: Coluna de Água Oscilante junto à costa,
  - Potência instalada: 400 kW,
  - Conclusão: 1999
  - Papel: selecção do local, estudos preliminares, concepção e dimensionamento geral, dimensionamento aerodinâmico da turbina, acompanhamento do licenciamento, construção e teste.
- **Central LIMPET, Islay, Escócia**
  - Tipo: Coluna de Água Oscilante junto à costa,
  - Potência instalada: 500 kW,
  - Conclusão: 2001
  - Papel: desenvolvimento de modelo de simulação matemática, estudos de concepção e dimensionamento geral da central.
- **Central AWS, Póvoa do Varzim**
  - Tipo: submerso, colocado ao largo,
  - Potência instalada: 2000 kW,
  - Conclusão: 2002
  - Papel: concepção geral, apoio ao desenvolvimento de modelos matemáticos e físicos, acompanhamento do licenciamento e teste.
- **Central Foz do Douro**
  - Tipo: Coluna de Água Oscilante em quebramar,
  - Potência instalada: 400 kW,
  - Estudos preliminares: 2000
  - Papel: concepção geral, avaliação da produção anual de energia.

## 3. Principais projectos de investigação

### A. Projectos financiados pela Comunidade Europeia

#### A.1 Projectos coordenados pelo IST

- PIOWC – Performance Improvement of OWC Power Equipment, JOULE/EU, 1998-2000.
- European Wave Energy Pilot Plant on the Island of Pico, Azores, Portugal - Phase II, JOULE/CE, 1995-97. Contract No. JOR3-CT95-0012, European Wave Energy Pilot Plant on

the Island of Pico, Azores, Portugal - Phase Two: Equipment, JOULE Program, European Commission, 1996-1998.

- European Wave Energy Pilot Plant on the Island of Pico, Azores, Portugal - Phase I, JOULE/CE, 1994-95;
- Contract No. JOU2-CT93-0314, European Wave Energy Pilot Plant on the Island of Pico, Azores Portugal, JOULE Program, European Commission, 1994-1998.

### **A.2 Projectos coordenados pelo INETI**

- Wave Euro Atlas
- Implementing Agreement on Ocean Energy Systems

### **A.3 Outros projectos**

- Islay LIMPET Wave Power Plant, JOULE/EU, 1999-2002 – (IST).
- Contract No. JOR3-CT98-0282, Performance Improvement of OWC Power Equipment, JOULE III Program.1999-2002.
- European Thematic Network on Wave Energy, 2000-2002 (IST e INETI).
- Making a Variable Pitch Turbine and High Speed Valve for the Azores Oscillating Water Column, JOULE/EU, 1996-1999. Contract No. JOR3-CT95-0002, Making a Variable-Pitch Turbine and High-Speed Valve for the Azores Oscillating Water-Column, JOULE Program, European Commission, 1996-1999.
- Contract No. JOU2-CT94-0276, A European Wave Energy Pilot Plant on Islay, JOULE Program, European Commission, 1994-1996.
- Offshore Wave Energy Converters, JOULE/CE, 93-95;
- European Wave Power Plant, JOULE/CE, 1992-93;
- Contract No. JOU2-CT93-0333, Air Turbine Development and Assessment for Wave Power Plants, JOULE Program, European Commission, 1994-1997.
- Wave Energy Converters, JOULE/CE, 1992-93Contract No. JOUR-CT91-0133 Project C, European Pilot Plant Studies, JOULE Program - Preliminary Actions in Wave Energy, European Commission, 1992-93.

## **B. Projectos financiados pela JNICT ou pela FCT**

### **B.1 Projectos coordenados pelo IST**

- Perforated Breakwaters, POCTI/34887/ECM/2000, 2001-2004.
- Hydrodynamic Interaction between Wave Energy Devices in Arrays, SAPIENS 99, 2000-2003.
- Phase-control of wave energy converters, SAPIENS 99, 2000-2003. Contract No. POCTI/34663/EME/2000 Phase-control of Wave Energy Converters SAPIENS Program, FCT, Portugal, 2001-2004.
- Contract No. 3/3.1/CEG/2554/95, Solution of the Navier-Stokes Equations for Compressible Flow in The Wells Turbine, PRAXIS XXI Program, FCT, Portugal, 1999-2001.
- Estudo Conceptual de Centrais de Energia das Ondas de 2ª Geração do tipo Coluna de Água Oscilante, PRAXIS XXI, 1998-2001.
- Contract No. POCTI/39717/EME/2001 Three-dimensional Inverse Methods for Turbomachinery Blade Rows, SAPIENS Program, FCT, Portugal, 2002-2005.

## **C. Projectos financiados por empresas**

- AWS – Archimedes Wave Swing, 1997 - .
- VIPRE – Dispositivo de acumulação por galgamento, 2002 - .

- Contract No. 97 IR MR026, Computational Fluid Dynamics and Experimental Investigation of a High Solidity Wells Turbine for an OWC Wave Energy Power Plant, Marine Institute Research Measure Program, Ireland, 1997-1999.

#### 4. Organização de conferências

- 1st International Workshop on Numerical Methods in Wave Energy, 2001, École Centrale de Nantes, França – Prof. António Sarmento, Co-organizador.
- 4th European Wave Energy Conference, 2000, Aalborg, Dinamarca – Prof. António Sarmento (IST), membro do Conselho Científico.
- 3th European Wave Energy Conference, 1998, Patras, Grécia – Prof. António Falcão e Dr<sup>a</sup> Teresa Pontes, membros do Conselho Científico.
- 2nd European Wave Energy Conference, 1995, Lisboa, Portugal – Prof. António Falcão e Dr<sup>a</sup> Teresa Pontes, membros do Conselho Científico.
- 1st European Wave Energy Conference, 1993, Edimburgo, Escócia – Prof. António Falcão, Presidente da Conferência.
- IUTAM Symposium on Hydrodynamics of Ocean Energy Utilization, 1985, Lisboa, Portugal – Prof. António Falcão, Co-Presidente do Simpósio e editor das Actas.
- ISOPE Annual Conferences – Prof. António Sarmento, Co-organizador das sessões de Energia dos Oceanos desde 1991.
- OMAE Annual Conferences – Dr<sup>a</sup> Teresa Pontes, Co-organizadora das sessões em Energia dos Oceanos desde 1995.

#### 5. Teses de mestrado e doutoramento realizadas no grupo

##### A. Teses de Doutoramento

1. A.M.C.F. de Brito e Melo, *Modelação e Pré-dimensionamento de centrais de coluna de água oscilante: aplicação à central de energia das ondas do Pico*, Doutoramento em Engenharia Mecânica, apresentado conjuntamente na Ecole Centrale de Nantes, França, e Instituto Superior Técnico, 2000.
2. P.A.P. Justino, *Modelação Matemática e Simulação Numérica do Comportamento Dinâmico duma Central de Coluna de Água Oscilante para Extração de Energia das Ondas*, Dissertação apresentada para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Mecânica, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 157 pp, 2000.
3. Gontran Chatry, *Developement et Simulation d'une Méthode de Régulation Auto-Adaptative pour l'Absorption Dynamique des Ondes de Gravité*, Doutoramento em Engenharia Mecânica, apresentado conjuntamente na Ecole Centrale de Nantes, França, e Instituto Superior Técnico, 1999.
4. J.N.B.M.A. Perdigão, *Reactive-Control Strategies for an Oscillating Water Column Device*, Doutoramento em Engenharia Mecânica, IST, 1998.
5. M.T. Pontes, *Caracterização Energética das Ondas Marítimas e Estudo dos Problemas de Refracção no seu Aproveitamento*, Dissertação apresentada para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Mecânica, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 389pp, 1998.
6. A.C. Mendes, *Dinâmica dos Corpos Flutuantes: Desenvolvimento e Aplicação de um Modelo Hidrodinâmico (2D) da Recuperação de Energia das Ondas Marítimas em Teoria Linear*, dissertação de doutoramento em Engenharia Mecânica, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 1992, 671 p.

7. L.M.C. Gato, *Aerodinâmica da Turbina de Tipo Wells com Geometria Fixa e Variável*, dissertação de doutoramento em Engenharia Mecânica, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 1988, p. 1-177.
8. A.J.N.A. Sarmento, *Estudo Hidrodinâmico de Sistemas de Coluna de Água Oscilante para Aproveitamento da Energia das Ondas*, dissertação de doutoramento em Engenharia Mecânica, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 1985.

## B. Teses de Mestrado

1. L.A. Luís, *Pressão Exercida pela Rebentação de Ondas em Paredes Verticais e Inclínadas*, Mestrado em Ecologia, Gestão e Modelação de Recursos Marinhos, Instituto Superior Técnico, 2000.
2. D.B.S. Lopes, *Estudo do Dispositivo Archimedes Wave Swing para Extração de Energia das Ondas*, Mestrado de Ecologia, Gestão e Modelação do Ambiente Marinho, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Julho 1999.
3. A.M.L. Luís, *Estudo Comparativo de Dispositivos Oscilantes Submersos para Extração da Energia das Ondas Geradas pelo Vento*, Mestrado de Ecologia, Gestão e Modelação do Ambiente Marinho, Instituto Superior Técnico, Novembro de 1999.
4. A.M.C.F. de Brito e Melo, *Energia das Ondas: Modelação Matemática e Experimental de Centrais de CAO*, Mestrado de Engenharia Mecânica, IST, 1995.
5. P.A.P. Justino, *Controlo de Fase de Sistemas de Coluna de Água Oscilante para Extração de Energia das Ondas*, Dissertação apresentada para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica/Perfil de Energia, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 79pp, 1993.
6. F.T. Morgado, *Ressonância de Ondas de Superfície em Canais Rectangulares*, Mestrado de Engenharia Mecânica, IST, 1990.
7. J.N.B.M.A. Perdigão, *Optimização da absorção de energia das ondas através de dispositivos de CAO*, Mestrado de Engenharia Mecânica, IST, 1990.
8. Fernando M.O.B. Moita, *Modelação Numérica de Dispositivos de CAO para o Aproveitamento de Energia das Ondas*, Mestrado de Engenharia Mecânica, IST, 1990.
9. A.A. Pires Silva, *Caracterização Espectral das Ondas Marítimas na Costa Ocidental Portuguesa*, Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos, IST, 1988.
10. Vincent Warfield (external supervisor), Master degree in Mechanical Engineering, IST, 1992, subject: Wells turbine
11. Michael Odowd, Master degree in Mechanical Engineering, University of Limerick, Ireland, 1997, subject: Wells turbine.

## 6. Publicações

### A. Artigos em revistas internacionais

1. L.M.C. Gato, A.F. de O. Falcão, "On the theory of the Wells turbine". *Transactions of ASME: Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, vol. 106, p. 628-633 (1984).
2. A.J.N.A. Sarmento, A.F. de O. Falcão, "Wave generation by an oscillating surface-pressure and its application in wave-energy extraction". *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 150, p. 467-485 (1985).
3. L.M.C. Gato, A.F. de O. Falcão, "Aerodynamics of the Wells turbine". *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 30, p. 383-395 (1988).
4. L.M.C. Gato, A.F. de O. Falcão, "Aerodynamics of the Wells turbine: control by swinging rotor blades". *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 31, p. 425-434 (1989).
5. L.M.C. Gato, A.F. de O. Falcão, "Performance of Wells turbine with double row of guide vanes". *International Journal of Japan Society of Mechanical Engineers*, series II, vol. 33, p. 265-271 (1990).

6. A.J.N.A. Sarmiento, L.M.C. Gato, A.F. de O. Falcão, "Turbine-controlled wave energy absorption by oscillating-water-column devices". *Ocean Engineering*, vol. 17, p. 481-497 (1990).
7. L.M.C. Gato, L.R.C. Eça, A.F. de O. Falcão, "Performance of the Wells turbine with variable pitch rotor blades". *ASME Journal for Energy Resources Technology*, vol. 113, p. 141-146 (1991).
8. D. Mollison, D., M.T. Pontes, "Assessing the Portuguese Wave-Power Resource". *Energy*, vol. 17, p. 255-268 (1992).
9. A.J.N.A. Sarmiento, "Wave flume experiments on two-dimensional oscillating-water-column wave-energy devices", *Experiments in Fluids*, vol. 12, p. 286-292, 1992.
10. A.J.N.A. Sarmiento, Model tests optimisation of an OWC wave power plant, *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, vol.3, p. 66-72, 1993.
11. J.E. Borges, L.M.C. Gato and R.M.R.J. Pereira, "Iterative use of a time-marching code for designing turbomachine blade rows". *Computers and Fluids*, vol. 25, No. 2, pp. 197-216, 1996.
12. L.M.C. Gato, R. Curran, "Performance of the biplane Wells turbine", *Transactions of ASME: Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, vol. 118, No. 3, p. 210-215, 1996.
13. L.M.C. Gato, V. Warfield, A. Thakker, "Performance of a high-solidity Wells turbine for an OWC wave power plant". *Transactions of ASME: Journal of Energy Resources Technology*, Vol. 118, No. 4, p. 263-268, 1996.
14. M.T. Pontes, G.A. Athanassoulis, S. Barstow, L. Cavaleri, B. Holmes, D. Mollison, H. Oliveira-Pires, "An Atlas of the Wave-Energy Resource in Europe". *ASME Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, vol. 118, p. 307-309 (1996).
15. L.M.C. Gato, R. Curran, "Performance of the contrarotating Wells turbine". *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, Vol. 6, No. 1, p. 68-75, 1996.
16. H. Oliveira-Pires, F. Carvalho, M.T. Pontes, "Modelling the Effect of Shelter in the Modification of Waves From the Open Sea to Near-Shore". *ASME Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, vol. 119, p.70-72 (1996).
17. A.J.N.A. Sarmiento, A. Brito e Melo, "An experiment-based time domain model of OWC power plants", *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, vol. 6, p. 227-233, 1996.
18. R. Curran and L.M.C. Gato, "The energy conversion performance of several types of Wells turbine designs", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A, Journal of Power and Energy*, Vol. 211, No A2, p. 133-145, 1997.
19. M.T. Pontes, S. Barstow, L. Bertotti, L. Cavaleri, H. Oliveira-Pires, "Use of Numerical Wind-Wave Models for Assessment of the Offshore Wave Energy Resource". *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, vol. 119, p.184-190 (1997).
20. M.T. Pontes, "Assessing the European Wave Energy Resource". *Transactions of ASME: Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, vol. 120, p.226-231 (1998).
21. M. Webster, L.M.C. Gato, P.R.S. White, "Variation of blade shape and its effect on the performance of the Wells turbine". *International Journal of Ambient Energy*, vol. 19, No. 3, p. 149-156 (1998)
22. M. Webster, L.M.C. Gato, "The Effect of Rotor Blade Sweep on the Performance of the Wells Turbine". *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, vol. 9(3), p. 233-239, 1999.
23. P.A.P. Justino, A.F. de O. Falcão, "Rotational Speed Control of an OWC Wave Power Plant". *ASME Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, vol. 65, p.65-70, 1999.
24. A.F. de O. Falcão, P.A.P. Justino, "OWC Wave Energy Devices with Air-flow Control". *Ocean Engineering*, vol. 26, p.1249-73, 1999.
25. G. Chatry, A.H. Clément, A.J.N.A. Sarmiento, "Simulation of a Self-Adaptatively Controlled OWC in a Nonlinear Numerical Wave Tank", *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, vol. 10, p. 269-275, 2000.
26. A. Brito-Melo, T. Hofmann, A.J.N.A. Sarmiento, A.H. Clément, G. Delhommeau, "Numerical modelling of OWC-Shoreline devices including the effect of surrounding coastline and non-flat bottom", *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, vol. 11, p. 147-154, 2001.
27. M. Webster, L.M.C. Gato, "The Effect of Rotor Blade Shape on the Performance of the Wells Turbine" *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, Vol. 11, No. 3, p. 227-230, 2001.

28. L.M.C. Gato, M. Webster, "An Experimental Investigation into the Effect of Rotor Blade Sweep on the Performance of the Variable-Pitch Wells Turbine", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A, Journal of Power Engineering*, Vol. 215, No A5, p. 611-622, 2001.
29. A.F. de O. Falcão, "Wave power absorption by a periodic linear array of oscillating water columns", *Ocean Engineering*, Vol. 29, p. 1163-1186, 2002.
30. D.B.S. Lopes, A.J.N.A. Sarmiento, "Hydrodynamic Coefficients of a Pulsating Submerged Sphere in Finite Depth", *Ocean Engineering*, Vol. 29, p. 1391-1398, 2002.
31. A. Brito-Melo, L.M.C. Gato, A.J.N.A. Sarmiento, "Analysis of Wells Turbine Design Parameters by Numerical Simulation of the OWC Performance", *Ocean Engineering*, Vol. 29, p. 1463-1477, 2002.
32. A.F. de O. Falcão, R.J.A. Rodrigues, "Stochastic modelling of OWC wave power performance", *Applied Ocean Research*, Vol. 24, pp. 59-71, 2002.
33. A.F. de O. Falcão, "Control of an oscillating water column wave power plant for maximum energy production", *Applied Ocean Research*, Vol. 24, pp. 73-82, 2002.
34. A. Clément, P. McCullen, A.F. de O. Falcão, A. Fiorentino, F. Gardner, K. Hammarlund, G. Lemonis, T. Lewis, K. Nielsen, S. Petroncini, M.T. Pontes, P. Schild, B.O. Sjöström, H.C. Sorensen, T. Thorpe, "Wave energy in Europe: current status and perspectives". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 6, pp. 405-431, 2002.
35. J.C.C. Henriques, L.M.C. Gato, "Use of a residual distribution Euler solver to study the occurrence of transonic flow in Wells turbine rotor blades", *Computational Mechanics*, Vol. 29, pp. 244-253, 2002.
36. A.J.N.A. Sarmiento, A. Brito-Melo and M.T. Pontes, "The influence of the wave climate on the design and annual production of electricity by OWC wave power plants", *ASME Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, Vol. 125, pp. 139-144, 2003.
37. A.F. de O. Falcão, L.C. Vieira, P.A.P. Justino, J.M.C.S. André, "By-pass air-valve control of an OWC wave power plant", *ASME Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, Vol. 125, pp. 205-210, 2003.
38. Perdigão, J. Sarmiento, A., "Overall-efficiency optimisation in OWC devices", *Applied Ocean Research*, Vol. 25, p. 157, 166, 2003.
39. A.F. de O. Falcão, "First generation wave power plants: current status and R&D requirements". Accepted for publication in *ASME Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*.
40. Falcão, A.F. de O., "Stochastic modelling in wave power-equipment optimization: maximum energy production versus maximum profit". *Ocean Engineering*, Vol. 31, pp. 1407-1421, 2004.

## B. Últimos 15 artigos apresentados em conferências internacionais

1. F. Neumann, A.J.N.A. Sarmiento, "OWC-caisson economy and its dependence on breaking wave design loads", *Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Offshore and Polar Engineering Conference*, Brest, 2001.
2. M.T. Pontes, A.F. de O. Falcão, "Ocean energies: resource and utilization", *18th World Energy Congress*, Buenos Aires, Argentina, Paper No. 01-06-12, October 2001.
3. M. Alves, A. Brito-Melo, A.J.N.A. Sarmiento, "Numerical Modelling of the Pendulum Ocean Wave Power Converter using a Panel Method", *Proceedings of the 12th International Offshore and Polar Engineering Conference*, Kita-Kyushu, Fukuoka, Japan, May 2002.
4. A.F. de O. Falcão, "First-generation devices for ocean wave energy utilization: an assessment of the technology", *International Conference on New and Renewable Energy technologies for Sustainable Development*, Ponta Delgada, Azores, Portugal, June 2002.
5. F. Neumann, A. Brito-Melo, A.J.N.A. Sarmiento, "The potential of ocean wave energy to contribute to the Portuguese R.E.-Mix", *International Conference on New and Renewable Energy technologies for Sustainable Development*, Ponta Delgada, Azores, Portugal, June 2002.
6. A. Brito-Melo, F. Neumann, A.J.N.A. Sarmiento, "Approach and tools for the implementation of ocean wave energy devices", *International Conference on New and Renewable Energy technologies for Sustainable Development*, Ponta Delgada, Azores, Portugal, June 2002.
7. P.A.P. Justino, A.F. de O. Falcão, "Hydrodynamic interactions for small arrays of wave energy devices", *21<sup>st</sup> International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, ASME, Oslo, Norway, June 2002, Paper No. 28288.

8. N.M. Moreira, H.O. Pires, M.T. Pontes, C. Câmara, “Verification of TOPEX/Poseidon wave data against buoys off the west coast of Portugal”, *21<sup>st</sup> International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, Oslo, Norway, June 2002, Paper No. 28254.
9. A.F. de O. Falcão, “First generation wave power plants: current status and R&D requirements”, *22<sup>nd</sup> International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, ASME, Cancun, Mexico, June 2003, paper OMAE 2003-37366.
10. M.T. Pontes, R. Aguiar, H. Oliveira Pires, “The nearshore wave energy atlas for Portugal”, *22<sup>nd</sup> International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, ASME, Cancun, Mexico, June 2003, paper OMAE 2003-37407.
11. M.T. Pontes, A. Brito-Melo, “International Energy Agency – cooperative R&D on wave energy”, *5<sup>th</sup> European Wave Energy Conference*, Cork, Ireland, September 2003, Paper P2.
12. F. Neumann, A.J.N.A. Sarmiento, “Update on the Portuguese framework for wave energy implementation”, *5<sup>th</sup> European Wave Energy Conference*, Cork, Ireland, September 2003, Paper P4.
13. A. Brito-Melo, R. Anselmo, A.J.N.A. Sarmiento, “The estimation of the diffraction flow from sea trials measurements in OWC plants”, *5<sup>th</sup> European Wave Energy Conference*, Cork, Ireland, September 2003, Paper PD2.
14. A.F. de O. Falcão, “Maximum energy production and maximum profit as alternative criteria for wave power equipment optimization”, *5<sup>th</sup> European Wave Energy Conference*, Cork, Ireland, September 2003, Paper PD5.
15. A.J.N.A. Sarmiento, J.M.B.P. Cruz, “Wave energy absorption by a submerged sphere of variable radius in sway, surge and heave”, *5<sup>th</sup> European Wave Energy Conference*, Cork, Ireland, September 2003, Paper H3.

**Anexo 2 | Entidades contactadas para o estudo**

## Quadro I – Lista das entidades contactadas

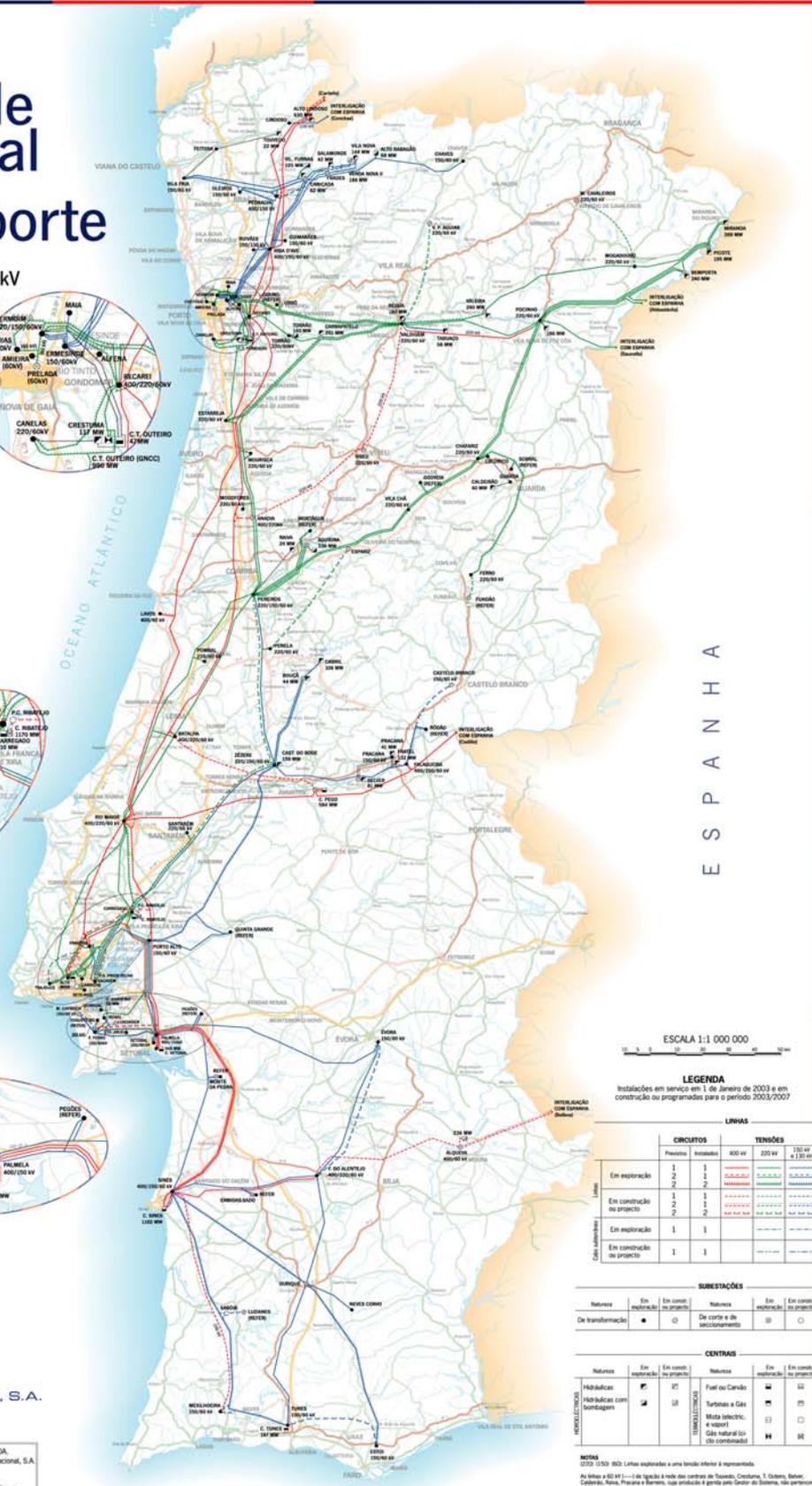
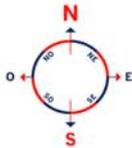
DOMÍNIO	ENTIDADE		COMPETÊNCIA E JURISDIÇÃO	
<b>Ambiente</b>	Instituto de Conservação da Natureza (ICN)			
	Instituto Nacional da Água (INAG)		Orla costeira	
	Instituto Geográfico e Mineiro (IGM)			
<b>Rede eléctrica</b>	Direcção Geral de Energia (DGE)		Legislação e encaminhamento de pedidos de pontos de ligação	
	Rede Eléctrica Nacional (REN)			
<b>Cabos submarinos</b>	Marconi		Cabos submarinos	
	Colt		Cabos submarinos	
<b>Exploração petrolífera</b>	Núcleo de Pesquisa e Exploração de Petróleo			
<b>Pesca e navegação</b>	Instituto de Investigação das Pescas e do Mar (IPIMAR)		Interacção com actividade económica pesqueira e interacção ambiental	
	Instituto Hidrográfico (IH)		Mar alto, levantamentos batimétricos e geológicos	
	Capitanias	Caminha		Foz do rio Minho - Forte do Cão
		Viana do Castelo		Forte do Cão - Foz do rio Alto
		Póvoa de Varzim		Foz do rio Alto - molhe sul do porto da Póvoa de Varzim
		Vila do Conde		molhe sul do porto da Póvoa de Varzim - Foz do rio Donda
		Leixões e Douro		Leixões: Foz do rio Donda - margem norte da estrada da circunvalação da cidade do Porto, na Foz do Douro. Douro: Cais de Carreiros - Monte Negro, a sul da praia de Cortecaça
		Aveiro		Monte Negro - margem sul da lagoa de Mira
		Figueira da Foz		Margem sul da lagoa de Mira – Pedrógão
		Nazaré		Pedrógão - Pirâmide do Bouro.
		Peniche		Pirâmide do Bouro - ponta da Foz (rio Sisandro) e as ilhas Berlengas.
		Cascais		Ponta da Foz (rio Sisandro) - Torre de S. Julião da Barra
	Sines		Margem norte da lagoa Santo André - foz da ribeira de Seixe	
	Lagos		Foz da ribeira de Seixe - Margem oeste do rio de Alvor	
	Associações de pesca e cooperativas	Associação pescas de Caminha		
		Cooperativa de Armadores de Pesca Artesanal de Viana		
		Associação Pesca de Aveiro (cerco)		
Associação de Armadores de Sines				
Associação Pescas de Lagos				
Administração do Porto de Sines				

**Anexo 3 | Rede Eléctrica de Transporte**

Portugal

# Rede Nacional de Transporte

400, 220, 150 e 130 kV  
1 de Janeiro de 2003



ESCALA 1:1 000 000

**LEGENDA**  
Instalações em serviço em 1 de Janeiro de 2003 e em construção ou programadas para o período 2003/2007

Linha	CIRCUITOS		TENSÕES	
	Presente	Instalado	400 kV	220 kV / 150 kV / 130 kV
Linha	Em exploração	1	1	-----
		2	2	-----
	Em construção ou projecto	1	1	-----
		2	2	-----
Outras instalações	Em exploração	1	1	-----
	Em construção ou projecto	1	1	-----

SUBESTAÇÕES				
Natureza	Em exploração	Em construção ou projecto	Natureza	Em construção ou projecto
De transformação	●	○	De corte e de secionamento	⊗

CENTRAS				
Natureza	Em exploração	Em construção ou projecto	Natureza	Em construção ou projecto
Hidroelétricas	■	□	Fóssil ou Carvão	■
Hidroelétricas com bombagem	■	□	Turbinas a Gás	■
Termoelétricas	■	□	Motores eléctricos e vapor	■
			Gás natural (em construção)	■

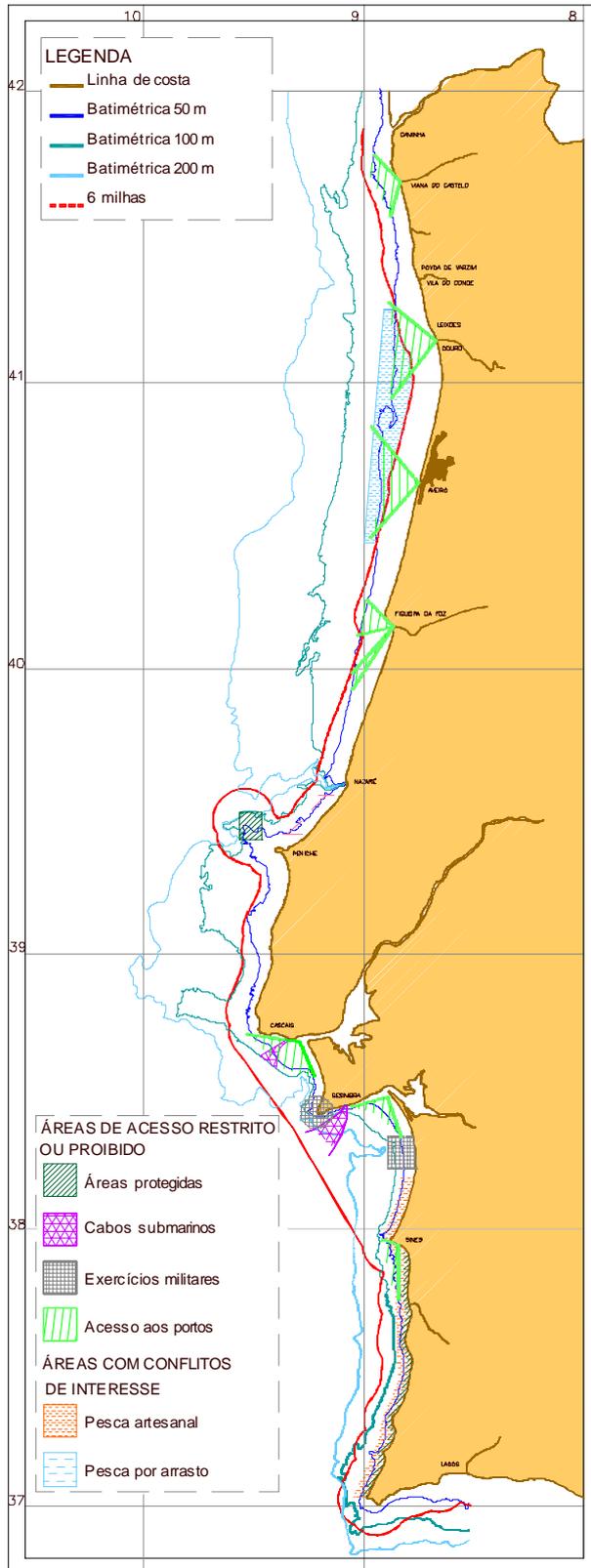
**NOTAS**  
 (220) (150) (80) Linhas exploradas a uma tensão inferior à representada.  
 As linhas a 80 kV (...) são ligadas à rede das centrais de Ruafados, Crestuma, T. Góes, Balsem, Canelas, Sines, Paredes e Barcelos, que produzem e geram um Centro de Sistema, de armazenamento.  
 Os Centros V e W do Central do Campesão utilizam como combustível petróleo, gás natural ou fuel.

**ren**  
 Rede Eléctrica Nacional, S.A.  
 Av. E. U. A., 55 1749-061 Lisboa  
 Tel. 21 001 3500 Fax: 21 001 3310  
 www.ren.pt

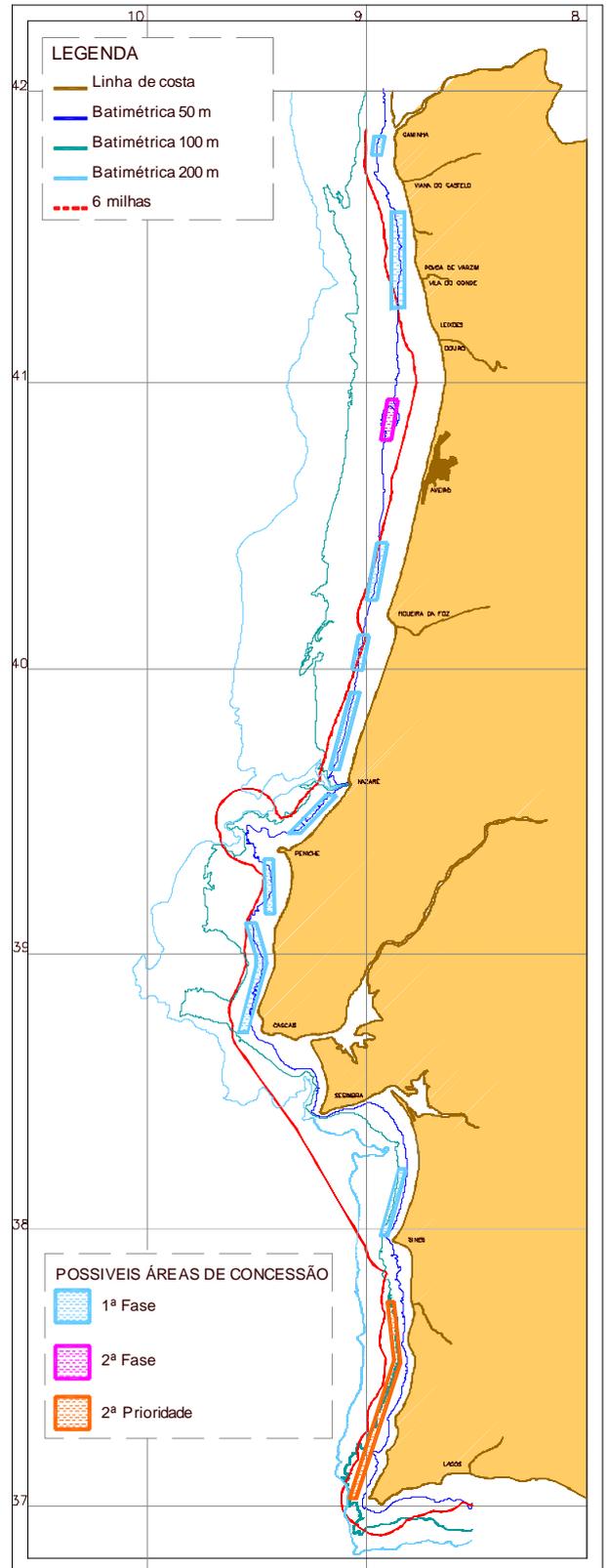
Design, Produção e Mapa de Portugal: © CLP/RITE, LDA.  
 Rede Nacional de Transporte: © REN - Rede Eléctrica Nacional, S.A.  
 © CLP/RITE, Design e Mapas, Turístico, LDA.  
 Largo Samartim Denis, 7 E. 1500-552 Lisboa  
 Tel. 21 772 3138 Fax: 21 772 3126 e-mail: clp@rite.pt

## **Anexo 4 | Mapa de condicionantes na costa Atlântica Portuguesa**

## Zonas com conflitos de usos



## Possíveis áreas de concessão



**Mapa 1** – Zonas potencialmente utilizáveis e possíveis áreas de concessão para parques de energia das ondas na costa ocidental Portuguesa.

## **Anexo 5 | Impactes ambientais**

## Impactes Ambientais

Síntese dos possíveis impactes ambientais provocados pela implementação, operação e manutenção de dispositivos de conversão de energia das ondas e respectivas medidas de mitigação<sup>14</sup>.

- **Construção e Instalação:**

OPERAÇÃO	IMPACTES POSSÍVEIS	MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO
Instalação de cabos submarinos	Efeitos semelhantes nas turbinas eólicas offshore: perturbação (temporária) de alguns habitats nas imediações do cabo	Evitar a colocação de cabos submarinos em zonas referenciadas
	Danificação de zonas de interesse arqueológico <sup>15</sup>	
Instalação de cabos na costa	Efeitos semelhantes nas turbinas eólicas offshore: perturbação (temporária) de alguns habitats nas imediações do cabo	Evitar a colocação de dispositivos e toda a sua estrutura envolvente em zonas referenciadas
Instalação do sistema de amarração	Efeitos semelhantes na amarração de navios: perturbação (temporária) de alguns habitats	Evitar a colocação de blocos de amarração (âncoras) em zonas referenciadas
Construção do dispositivo	Impactes diversos (desde visuais, ruído, etc.)	Sempre que possível evitar a construção do dispositivo no local
Tráfego marítimo durante a instalação	Aumento do tráfego marítimo durante a instalação de dispositivos não costeiros, o que pode afectar uma gama variada de espécies	Evitar a instalação de dispositivos em períodos relevantes para as espécies locais (migrações, períodos de descanso, ...)

- **Operação e Manutenção:**

OPERAÇÃO	IMPACTES POSSÍVEIS	MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO
Presença do dispositivo	Impactes visuais	Depende do tipo de dispositivo, sendo particularmente relevantes nos costeiros
	Efeitos positivos e negativos nos recursos pesqueiros (dispositivos afastados da costa)	Positivos (criação de zonas de exclusão e de recifes artificiais); para os negativos a solução passa por evitar zonas de pesca comercial e de recreio
	Influência do ruído nos mamíferos marinhos	Adaptar o projecto do dispositivo para a possibilidade de este atrair algumas espécies (por ex.: distância entre dispositivos)
	Impactes na navegação (dispositivos não costeiros)	Evitar a colocação em zonas de grande tráfego marítimo; sinalização dos dispositivos (luzes, radar, ...)
	Alterações no regime de ondas (podendo influenciar o processo de erosão costeira, alterar habitats marinhos e alterar o valor turístico de uma zona)	Depende fortemente do tipo de dispositivo, podendo ter impactes benéficos ou nefastos <sup>16</sup>

<sup>14</sup> Tabelas retiradas de Cruz e Sarmiento (2004)

<sup>15</sup> As zonas de interesse arqueológico estão assinaladas e serão evitadas.

<sup>16</sup> A maior interacção das ondas com a costa faz-se nas tempestades, situação em que os sistemas deverão estar desligados, pelo que o seu efeito é pouco significativo.

- **Operação e Manutenção (continuação):**

OPERAÇÃO	IMPACTES POSSÍVEIS	MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO
Presença dos cabos submarinos	Geração de um campo electromagnético	Os cabos submarinos serão enterrados no fundo mar, pelo que este impacte é mínimo
Operação do sistema de conversão de energia	Impactes que dependem fortemente do sistema em causa	O maior impacte será provavelmente o ruído, que varia com o tipo de sistema e deverá ser mais intenso quando se utilizam turbinas de ar e sistemas com velocidades significativas entre partes móveis
Presença do sistema de amarração (dispositivos não costeiros)	A presença dos blocos de amarração (âncoras) afecta o meio envolvente	Devem-se evitar certas áreas identificadas como zonas importantes para pesca, etc.
	A presença das correntes de amarração pode afectar os habitats naturais do fundo (caso de arrastem)	Projectar as correntes de modo a que não permanecem no fundo
	O sistema de amarração (blocos + correntes) pode constituir um recife artificial, fomentando o aparecimento e o crescimento de espécies marinhas	Impacte benéfico (não necessita de medidas de minimização)
Presença das instalações costeiras	As instalações costeiras (apoio, subestações, ...) têm necessariamente um impacte visual	Escolha adequada do local de implementação e procura de soluções arquitectónicas adequadas
Manutenção	A regularidade na manutenção pode ter associada, por exemplo no caso dos dispositivos não costeiros, o aumento do tráfego marítimo	Devem ser respeitadas as medidas preventivas já mencionadas (evitar períodos de migrações dos animais, etc.); não se espera que o tráfego seja muito diferente do associado à pesca.
Mecanismos anti-corrosão	Possíveis emissões tóxicas para o meio envolvente	A indústria naval apresenta soluções não tóxicas (revestimento à base de silicone, por exemplo)

- **Desmantelamento:**

OPERAÇÃO	IMPACTES POSSÍVEIS	MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO
Desmantelamento e remoção do dispositivo do local	Os impactes imediatos são predominantes nos dispositivos costeiros, embora possam ser relevantes nos dispositivos <i>offshore</i> (eventual remoção do recife artificial criado)	O projecto do dispositivo deve ter em atenção a utilização de materiais recicláveis sempre que possível
Remoção do sistema de amarração (quando aplicável)	Influência no meio envolvente (alteração do habitat de algumas espécies)	Utilização de técnicas de minimização disponíveis na indústria <i>offshore</i>
Remoção dos cabos submarinos		

## **Anexo 6 | Metodologia de avaliação de custos**

## **1. Custo unitário de potência instalada para condições de viabilidade económica**

De acordo com o *método da anuidade*, o custo anual do capital ( $a$ ) pode ser calculado em função da taxa de juro ( $i$ ), do capital inicial ( $C$ ) e do período de amortização ( $n$ ),

$$a = C \frac{i}{1 - (1+i)^{-n}}. \quad (1)$$

Para que uma dada central seja rentável, os proveitos anuais da venda de energia ( $g$ ) devem suportar a anuidade e os custos de operação e manutenção. Exprimindo os custos de operação e manutenção como uma fracção ( $x$ ) do capital investido, como é comum em projectos de sistemas energéticos, teremos,

$$g = a + xC. \quad (2)$$

Por outro lado, os proveitos anuais da venda da energia são dados pelo produto da energia anualmente produzida ( $p$ ) pela tarifa de venda ( $s$ ),

$$g = ps. \quad (3)$$

O custo de capital ( $C$ ) pode ser expresso em termos da potência instalada ( $P$ ) através do custo unitário de potência instalada ( $b$ ),

$$C = bP, \quad (4)$$

e a produção média anual de energia eléctrica (em MWh) pode ser referida à potência nominal do equipamento eléctrico (em MW) através de

$$p = hP, \quad (5)$$

em que  $h$  é o número de horas equivalentes à potência nominal.

Combinando as equações anteriores obtém-se o custo unitário de potência instalada (em €/MW) compatível com as condições de viabilidade económica, isto é, aquele que permite que os proveitos suportem os encargos financeiros e de manutenção,

$$b_0 = \frac{hs}{x + \frac{i}{1 - (1+i)^{-n}}}. \quad (6)$$

## **2. Evolução dos custos**

Designando por  $r$  a redução de custo por cada duplicação da potência instalada, a evolução de custos acima indicada é representada matematicamente pela seguinte curva de experiência,

$$b_m = b_1 m^a, \quad (11)$$

em que  $a = \ln(1-r)/\ln 2$ ,  $b_m$  é o custo unitário de potência instalada após instalar  $m$  MW e  $b_1$  o custo do primeiro MW instalado. A viabilidade económica atinge-se quando o custo unitário de potência instalado atinge o valor  $b_0$  dado pela equação (6), ou seja, quando for instalada uma potência de  $M$  MW, dada por

$$M = \left( \frac{b_0}{b_1} \right)^{1/a}, \quad (12)$$

resultado que se obtém utilizando a equação (11).

Até se atingir viabilidade económica, ou seja a potência instalada  $M$ , parte do investimento realizado não é compensado pela venda de energia eléctrica à tarifa correspondente a uma tecnologia madura, sendo esse valor, por cada unidade de potência instalada, dado por  $b_m - b_0$ . Esta parcela de investimento poderá ser considerada como um subsídio, que pode ter origem pública ou origem privada. No primeiro caso pode ser resultante de uma tarifa artificial (como no caso previsto pela legislação portuguesa), ou de subsídios ao investimento (como os que possam resultar de projectos submetidos ao PRIME ou à Comissão Europeia). O volume total de subsídio acumulado até se atingir viabilidade económica será, então, dado por,

$$V = \int_0^M (b_1 m^a - b_0) dm = \frac{b_1}{1+a} M^{1+a} - b_0 M . \quad (13)$$

Após se atingir a viabilidade económica o custo da tecnologia continuará a baixar, eventualmente a uma taxa  $r$  menor, passando a haver um lucro, por cada unidade de potência instalada, dado por  $b_0 - b_m$ . O subsídio acumulado  $V$  será reembolsado depois de ser instalada uma potência  $N$  que se obtém através de

$$V = \int_M^N (b_0 - b_1 m^a) dm , \quad (14)$$

de onde se tira que

$$N = \sqrt[1+a]{1+aM} . \quad (15)$$

Note-se que os valores de  $V$ ,  $M$  e  $N$  obtidos não correspondem apenas ao que vier a ser feito no País, mas ao esforço internacional nesta área.