

# ENERGIA DAS ONDAS



**António F. O. Falcão**

Instituto Superior Técnico

Seminário sobre a Física e a Energia,  
Lisboa, 21 de Novembro de 2005



INSTITUTO  
SUPERIOR  
TÉCNICO

Marés

Albufeira

Correntes de maré

ENERGIA  
DOS  
OCEANOS

Correntes marítimas

Gradiente térmico  
(OTEC)

Ondas

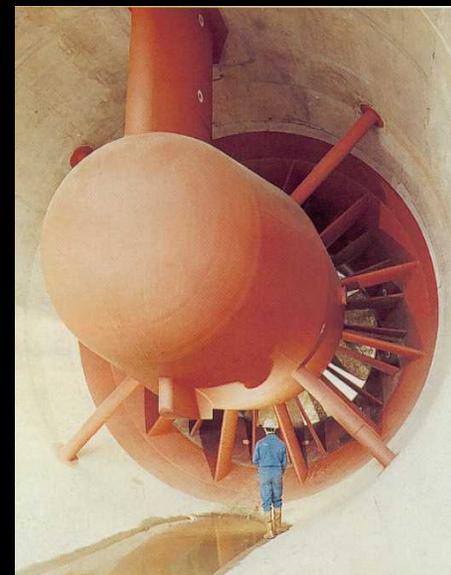
Única tecnologia com interesse para Portugal

# MARÉS

Origem: campo gravítico da Lua (e do Sol)

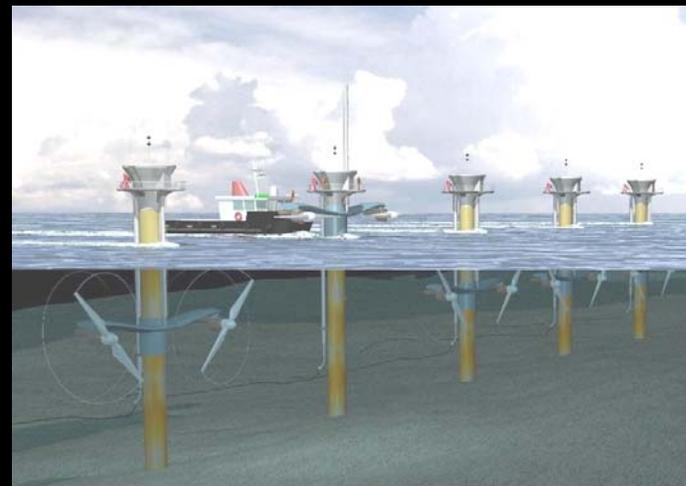
Modo de aproveitamento: barragem, albufeira, turbinas hidráulicas

Realizações: La Rance, França,  $24 \times 10 = 240$  MW



Modo de aproveitamento: correntes de maré, turbinas

Situação: protótipos; substancial I&D na Europa

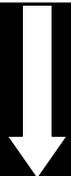


# A ENERGIA DAS ONDAS

**ENERGIA  
SOLAR**



**ENERGIA  
EÓLICA**



**ENERGIA  
DAS  
ONDAS**

**Valores típicos da energia das ondas  
(média anual):**

**Águas profundas: 10-50 kW/m**

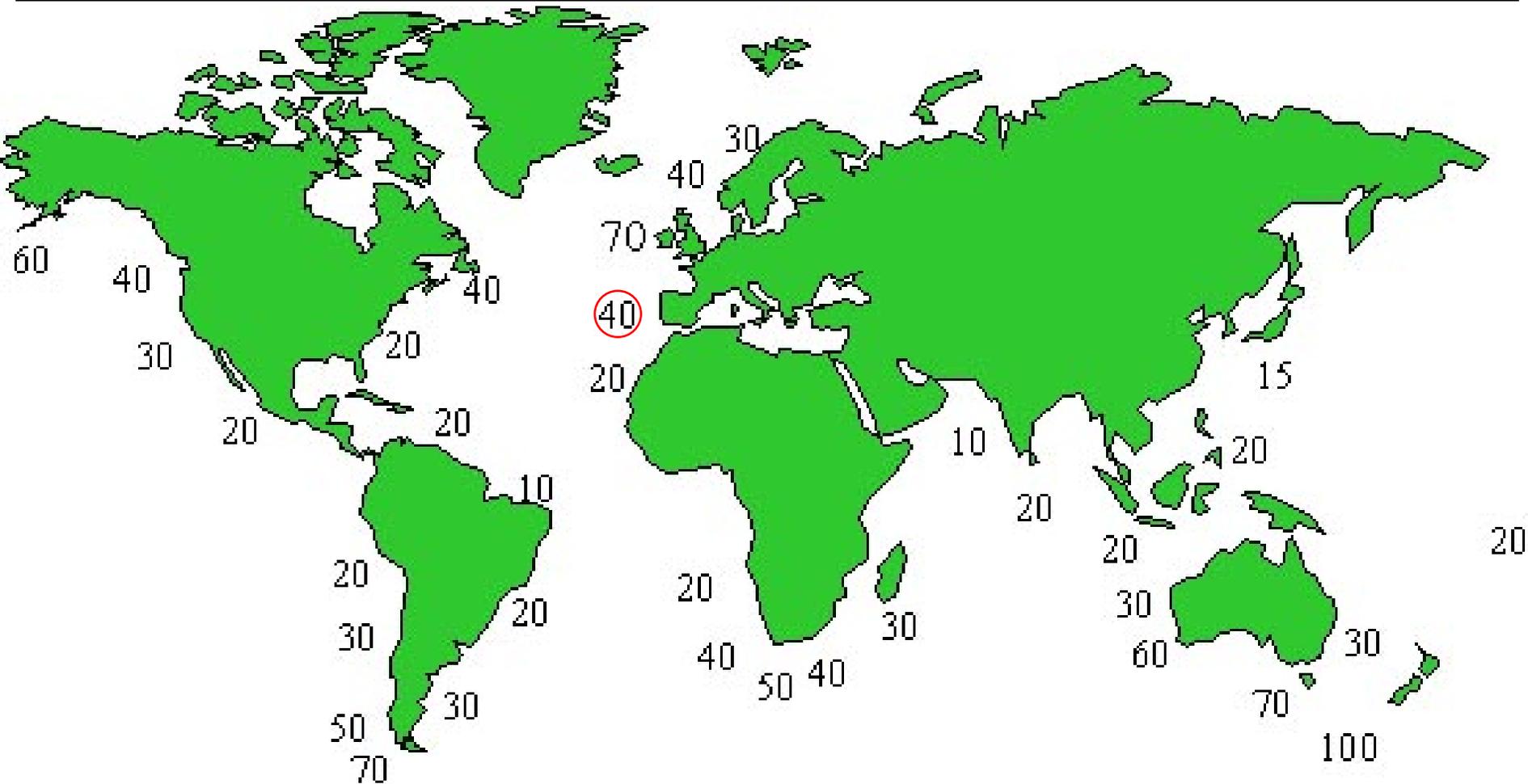
**Junto à costa: valores menores,  
dependendo de**

- declive do fundo
- profundidade no local (rebentação)
- rugosidade do fundo (atrito)
- configuração do fundo (difracção, refracção)

**Junto à superfície ( $h < 20\text{m}$ ):  
maior densidade de fluxo de energia  
do que a eólica**

# Distribuição mundial do nível de energia das ondas

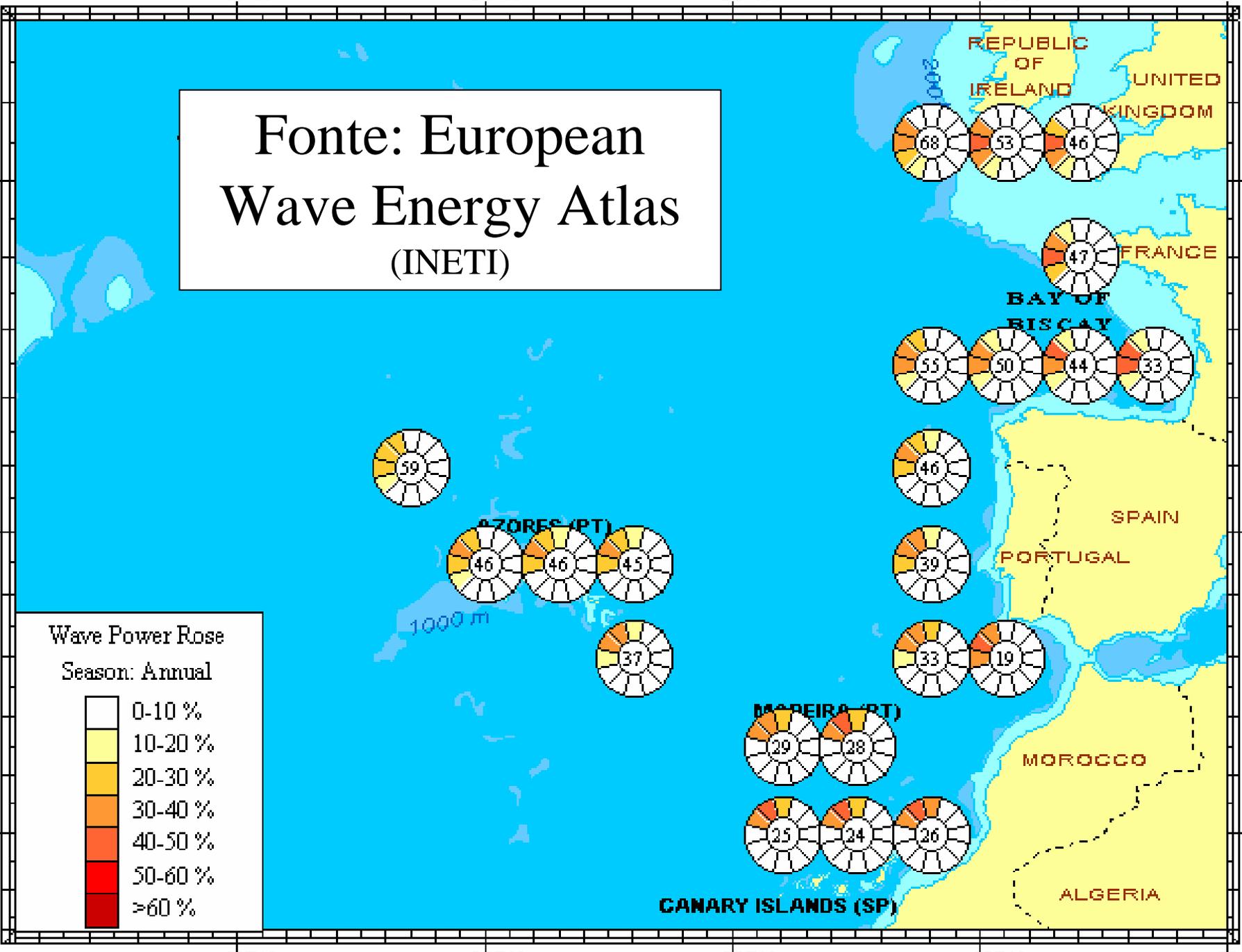
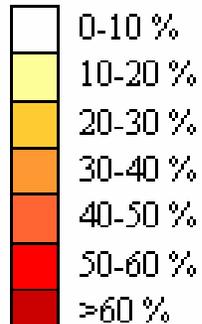
Valores médios anuais em kW/m (em águas profundas)



# Fonte: European Wave Energy Atlas (INETI)

## Wave Power Rose

Season: Annual



# POTENCIAL ENERGÉTICO APROVEITÁVEL EM PORTUGAL

Recurso bruto offshore (50 m de profundidade):  
 $500 \text{ km} \times 30 \text{ MW/km} = 15 \text{ GW}$  (média anual) = 130 TWh/ano

Aproveitamento tecnicamente viável (500 km):  
 $15 \times (10 \text{ a } 15\%) = 1,5 \text{ a } 2,3 \text{ GW}$  (média anual)

Potência instalada (500 km)  
(factor de carga 0,25): 6 a 9 GW

Potência instalada (1/3 da costa = 166 km):  
**2 a 3 GW**

Investimento (1 M€ por MW instalado):  
**2000 a 3000 M€**



Comparação com **Eólico**  
(plano para 2010):  
4,5 GW

# TECNOLOGIAS ESTABILIZADAS

VESTAS



REPOWER



ENERCON

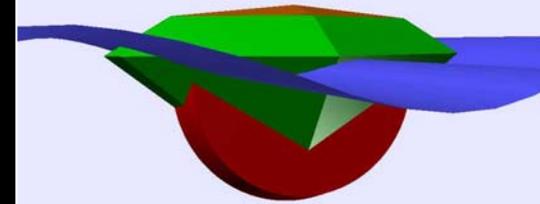


GAMESA

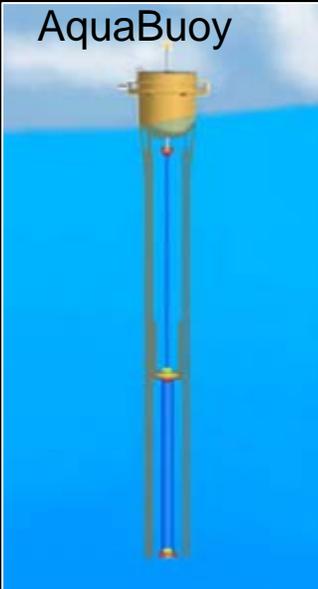


# ENERGIA DAS ONDAS: TECNOLOGIA NÃO ESTABILIZADA

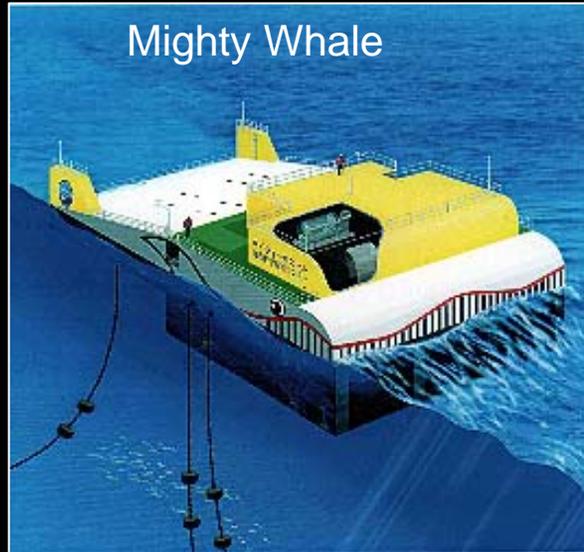
SEAWEC



AquaBuoy



Mighty Whale



Archimedes Wave Swing



Pico

Wave Dragon



Pelamis



# AS VÁRIAS TECNOLOGIAS DE ENERGIA DAS ONDAS

**Coluna de água oscilante**  
(turbina de ar)

Estrutura fixa

Isolada: Pico, LIMPET

Em quebra-mar: Sakata, Foz do Douro

Estrutura flutuante: Mighty Whale, BBDB, Energetech

**Corpos oscilantes**  
(motor óleo-hidráulico, turbina hidráulica, gerador eléctrico linear)

Flutuantes

Essencialmente translação (vertical): AquaBuoy, WaveBob, etc.

Essencialmente rotação PS Frog, SEAWEC, Pelamis

Submersos

Essencialmente translação (vertical): AWS

Rotação: OWSC-T (placa articulada no fundo)

**Galgamento (run up)**  
(turbina hidráulica de baixa queda)

Estrutura fixa

Na costa (com concentração): TAPCHAN

Em quebramar (sem concentração): vários

Estrutura flutuante (com concentração): Wave Dragon

# Contrastes com a energia eólica

- Em competição, variados tipos de sistemas, em diversos estados de desenvolvimento.
- Imprevisível qual ou quais irão “triumfar”.
- **Sistemas em geral mais complexos.**
- **Acesso para manutenção nos sistemas offshore.**
- Não aplicável começar por sistemas “pequenos” e depois “aumentá-los”.
- Desenvolvimento com protótipos no mar essencial, mas difícil e dispendioso (ex. Pico, AWS, Pelamis, etc.).
- **Preços por kW/h baixam mas superiores ao da eólica**

# Coluna de água oscilante (OWC)

O tipo mais desenvolvido:

- Europa (UK, Noruega, Portugal)
- Japão, Índia, China, Austrália

**Estrutura**

(betão, ...)

OWC

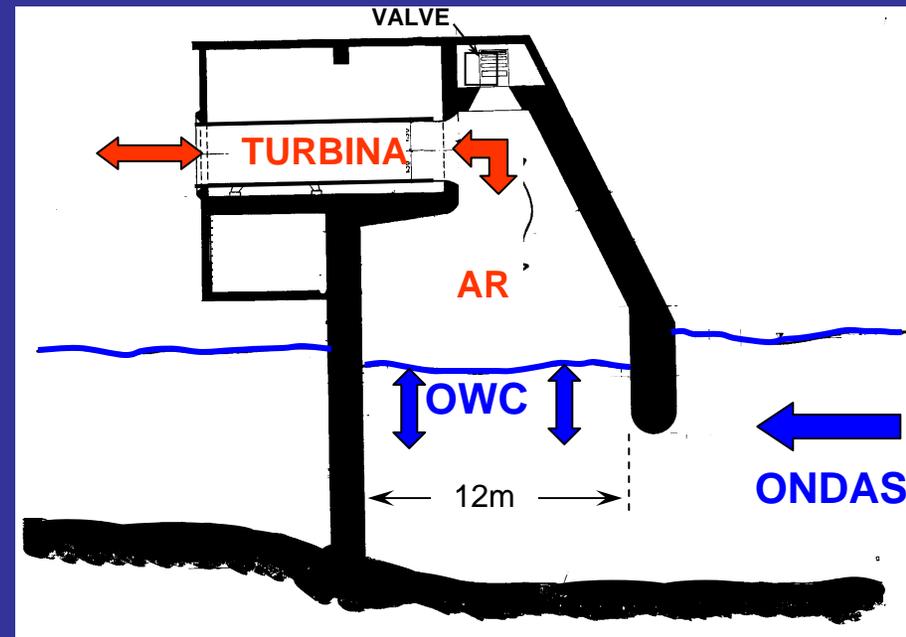
Câmara de ar

**Turbina de ar** (vários tipos)

**Válvulas (ar)**

(para protecção, controlo)

**Gerador eléctrico;  
outro equipamento eléctrico  
e de controlo**

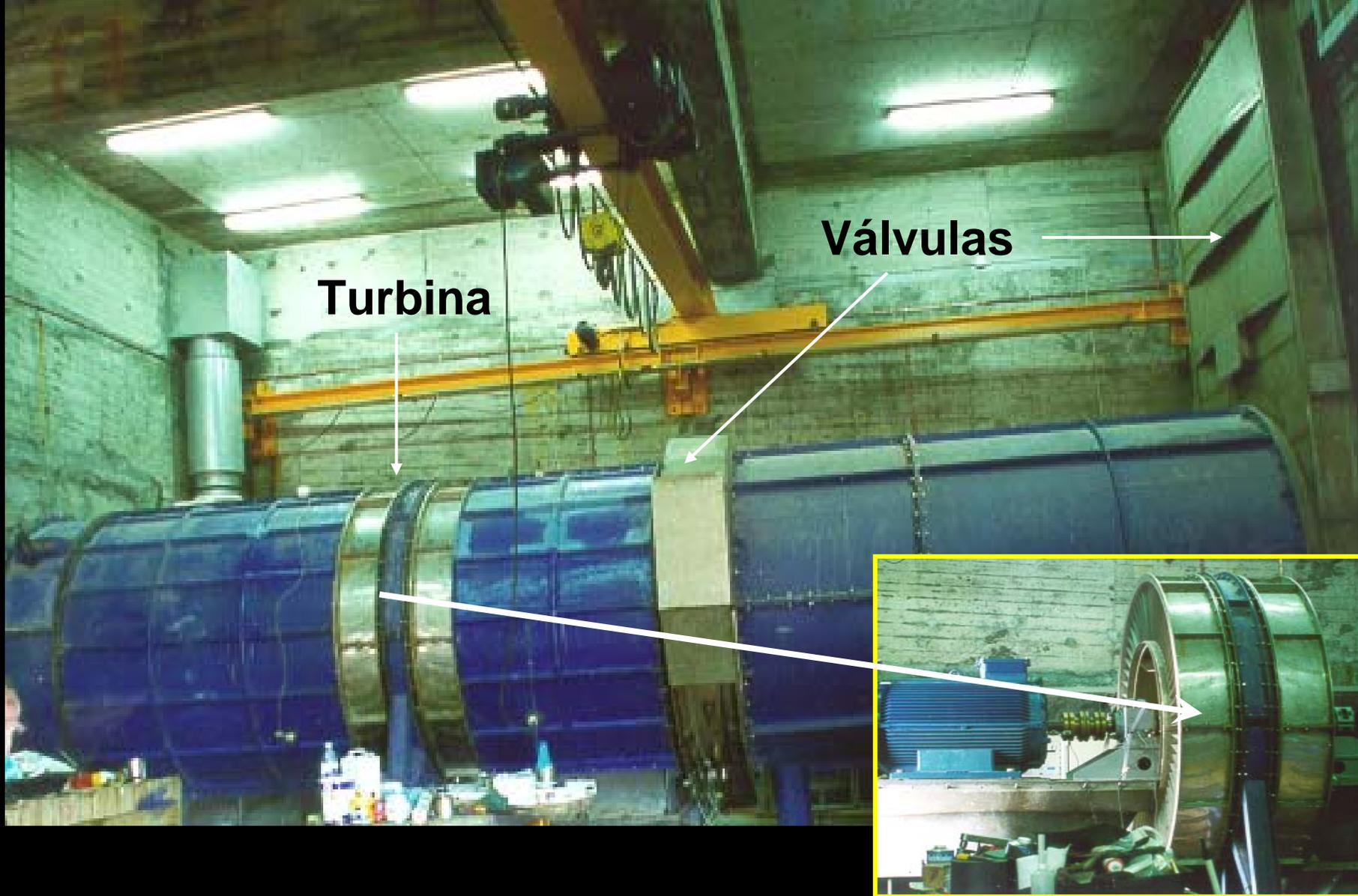


Central da ilha do Pico, Açores



**Central de coluna de  
água oscilante  
da ilha do Pico**





**Turbina**

**Válvulas**

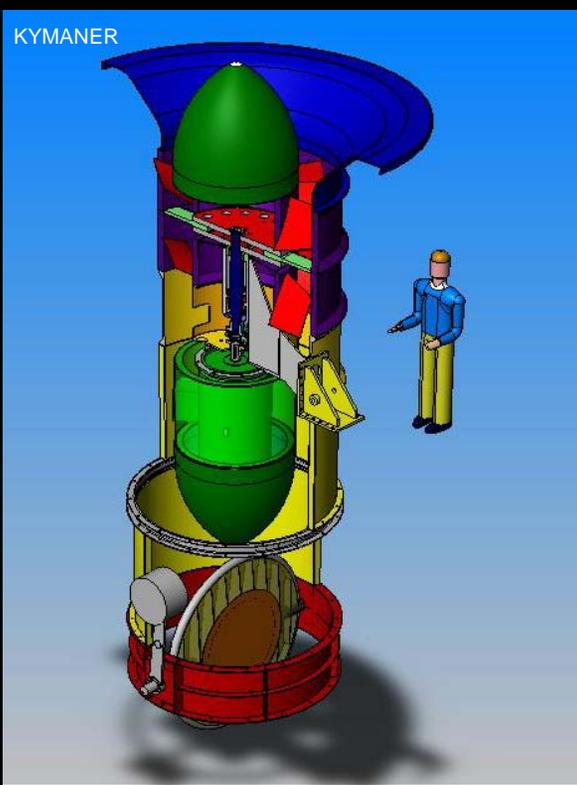
Central do Pico: sala das máquinas, durante os primeiros testes, 1999

**Estrutura com dupla finalidade: integração duma central de ondas num quebra-mar central de ondas num quebra-mar**

**Foz do Rio Douro**

**Novo  
quebra-mar**



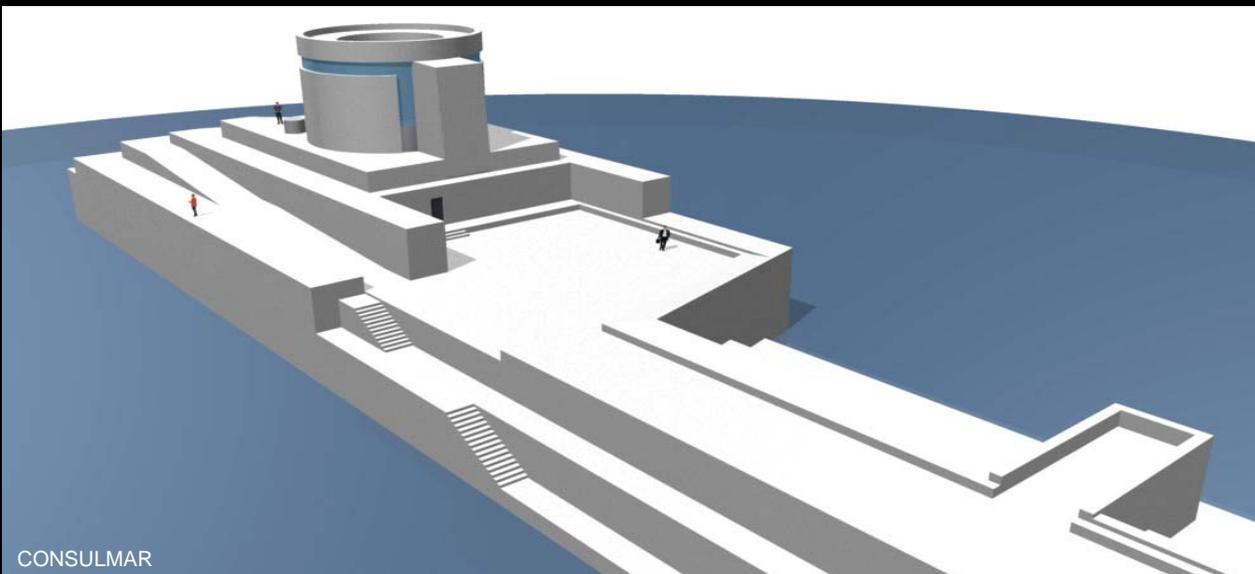
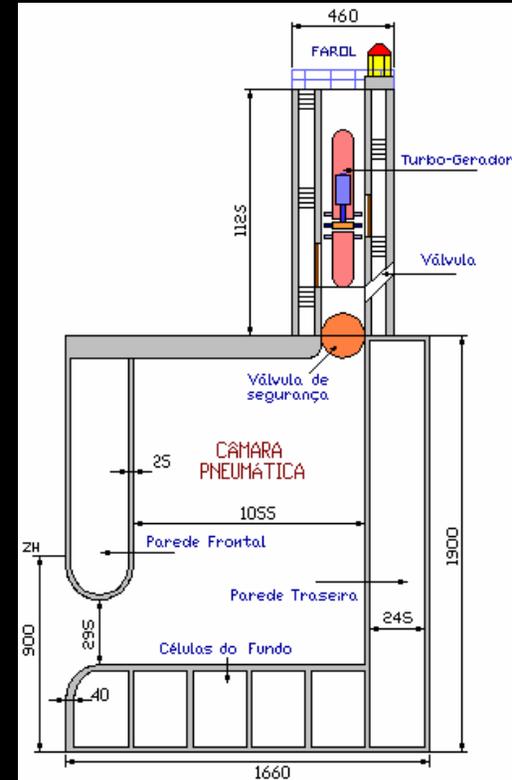


# Central da Foz do Douro

2006-09

4 grupos:  
4x250=1000 kW

2 câmaras  
pneumáticas



# CORPOS OSCILANTES

Princípio de funcionamento:

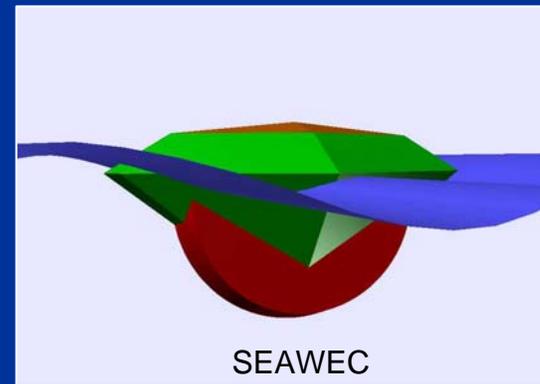
**Movimento do corpo** (1 a 6 graus de liberdade) **em relação a um referencial:**

- referencial fixo (e.g. o fundo)

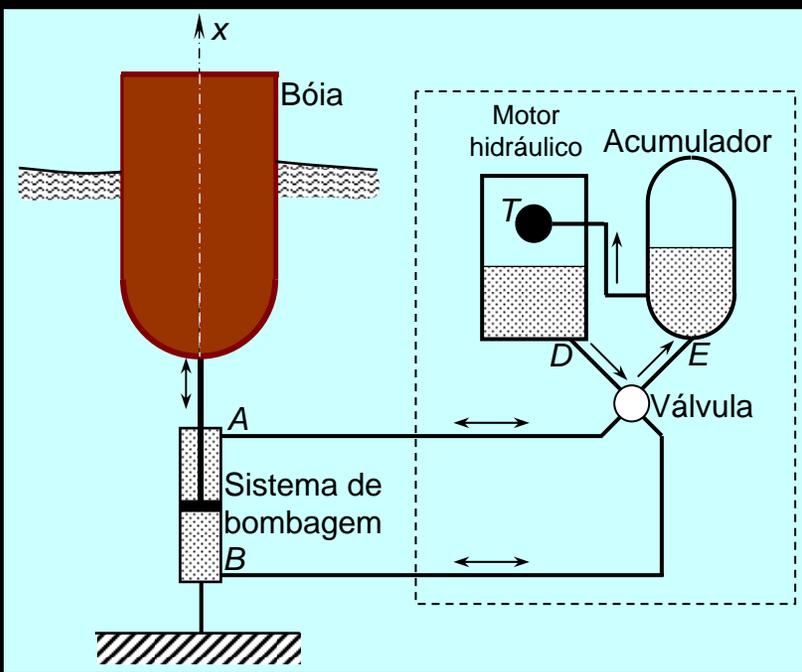
- referencial é outro corpo

exterior (flutuante ou submerso)  
(sistema de corpos múltiplos)

interior (inércia pura)



# CORPOS OSCILANTES



1 grau de liberdade

$$m\ddot{x} =$$

$f_h$  força da água

força de difracção (excitação)

força de radiação

força hidrostática

$f_m$  força do mecanismo de conversão de energia



## PELAMIS (Escócia)

Situação: ensaio de protótipo em 2004

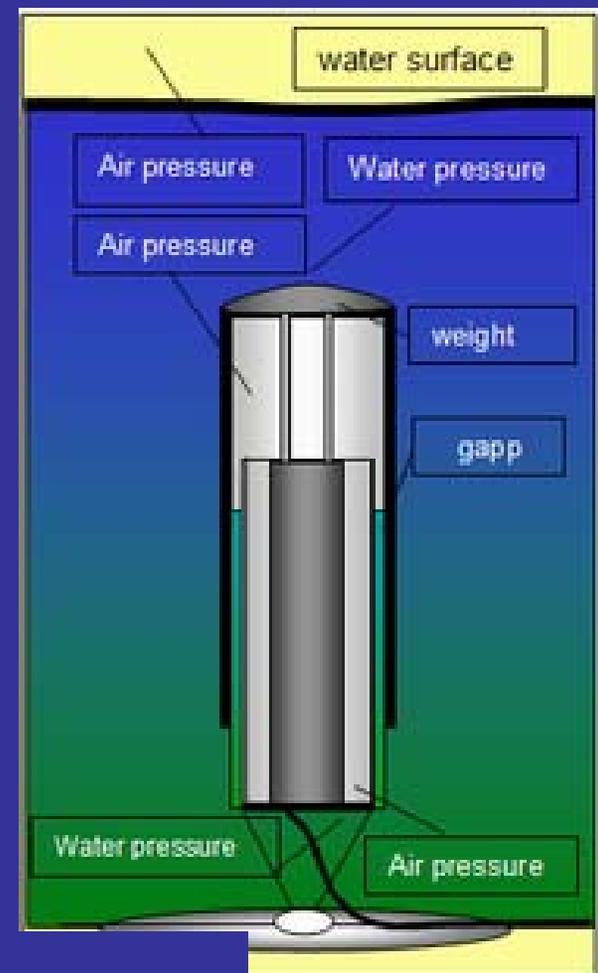
Sistema articulado flutuante

Sistema de conversão: oleo-hidráulico, gerador eléctrico

Diâmetro 3,5m; comprimento  $4 \times 30 = 120\text{m}$

Potência  $3 \times 250 \text{ kW} = 750 \text{ kW}$

ENERSIS encomendou 3 unidades (a instalar em 2006-)



**ARCHIMEDES WAVE SWING (AWS), (Holanda)**

Situação: protótipo ensaiado em Portugal (2004)

Sistema submerso com “chapéu” oscilante

Sistema de conversão: gerador eléctrico linear

Potência (do protótipo): 1 MW (média, 2 MW instantâneo)

**AQUABUOY** (vários países, incluindo **Portugal**)

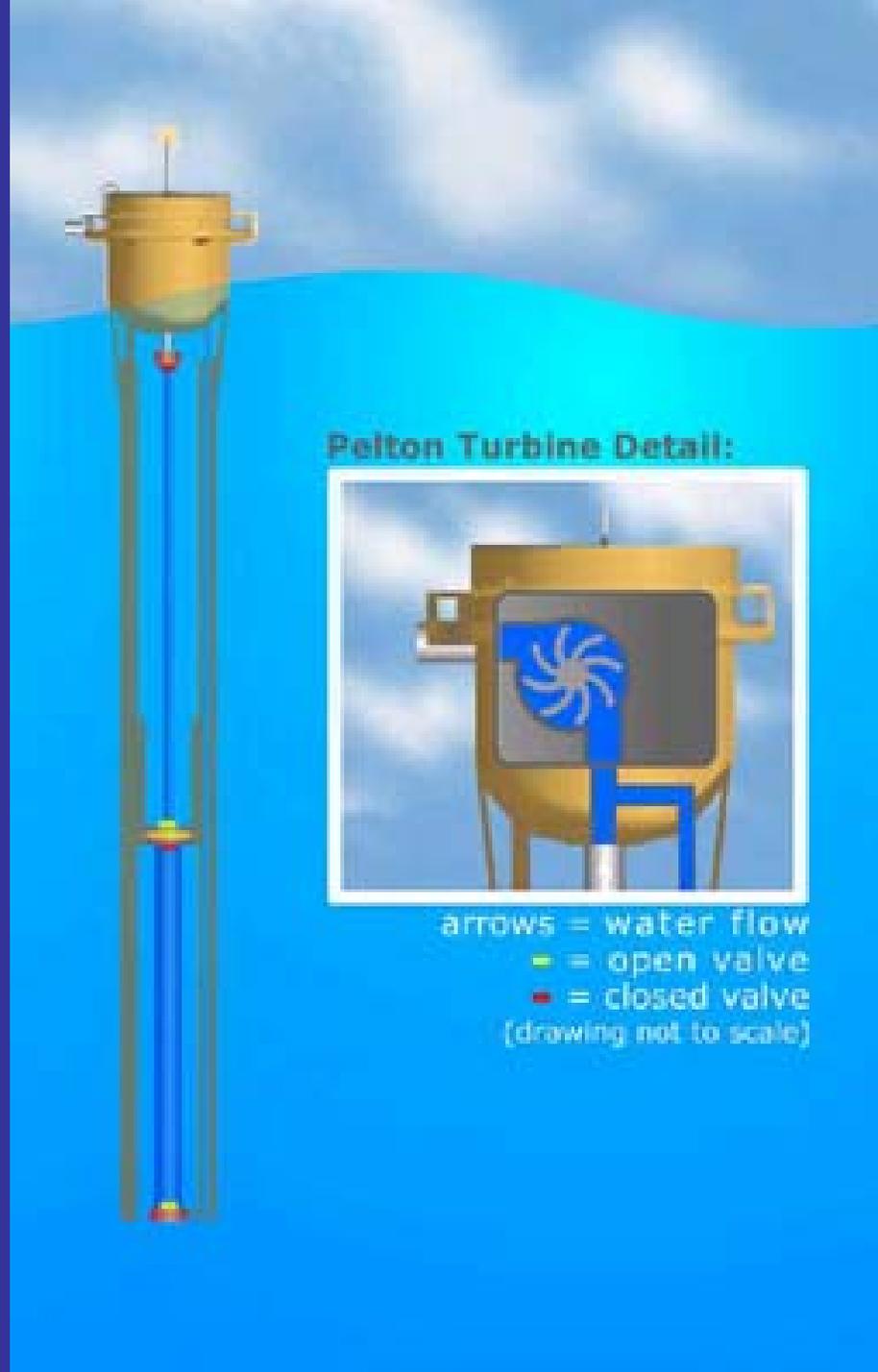
Situação: adiantada de desenvolvimento

Sistema de **corpo oscilante flutuante**

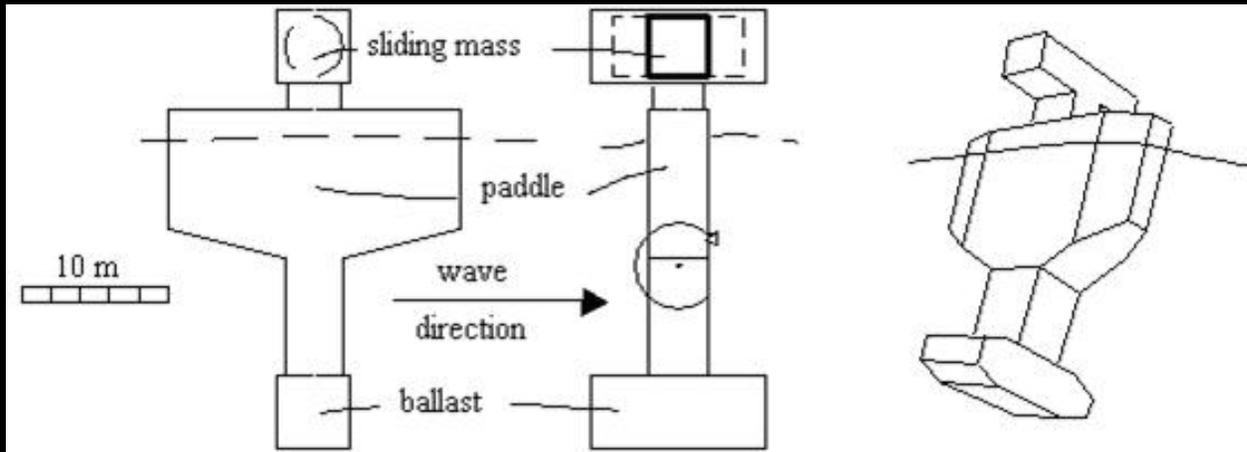
Sistema de conversão: **hidráulico, com bomba de mangueira e turbina de água, gerador eléctrico**

Diâmetro da bóia: ~ 10 m ??

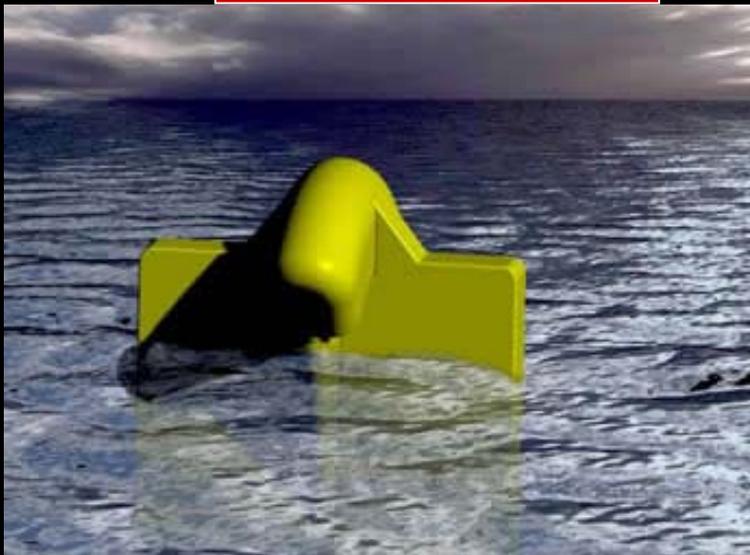
Potência: 200 a 300 kW ??



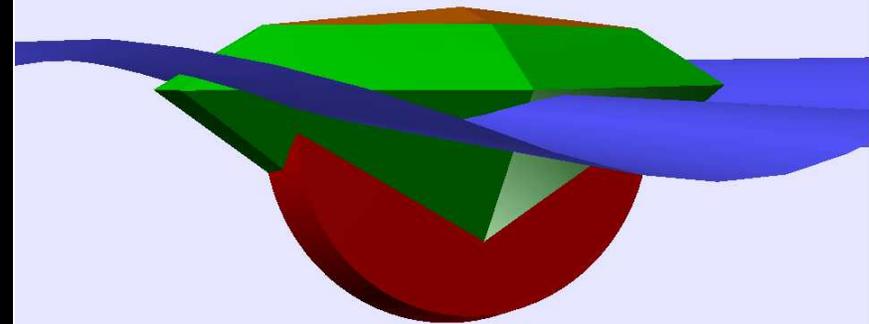
# Corpo flutuante com rotação, com oscilador interior



PS Frog (UK)



SEAREV (França)





WAVE DRAGON (Dinamarca)

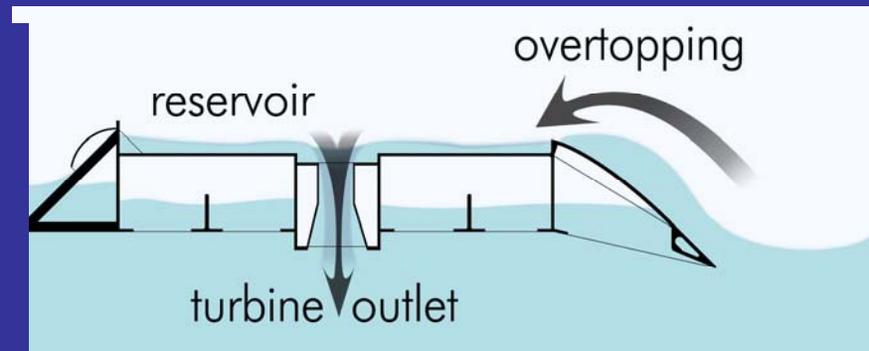
Situação: ensaio de modelo 1:4  
em mar protegido

Tipo: **flutuante, com concentrador, galgamento**

Largura (full-size): cerca de 350 m

Sistema de conversão: **turbinas hidráulicas, geradores eléctricos**

Potência (full-size): vários MW em mar energético ??



# Desenvolvimento da tecnologia de Energia das Ondas em Portugal

## Boas condições naturais:

- recurso energético
- plataforma continental estreita

## Infraestruturas:

- portos e estaleiros
- rede eléctrica próxima da costa

## Mais de 20 anos de I&D em Portugal

Pouca tradição empresarial em Portugal de aposta na inovação em investimentos de médio/longo prazo e de risco...

**...mas bons exemplos recentes: CEO Douro; Martifer.**

## Conclusão

A Energia das Ondas pode ser uma oportunidade para Portugal na era pós-eólica das renováveis...

...se for feita uma aposta forte no desenvolvimento da tecnologia ...

...e não nos limitarmos, uma vez mais, ao papel de Importadores de equipamentos e de utilizadores de tecnologia alheia.