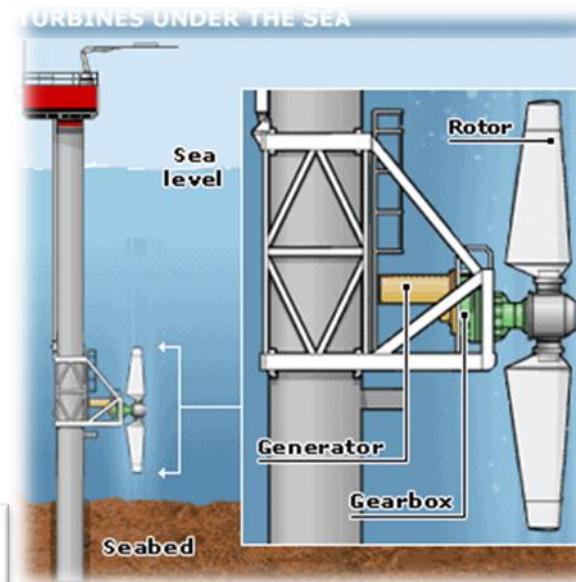


# **Energia Maremotriz, Ondomotriz e das Correntes**

Yuri Mendes Mostagi  
Ana Mauriceia Castellani  
Arthur De Abreu Romão  
Bruno Leandro Galvão Costa

# ENERGIA MAREMOTRIZ, ONDOMOTRIZ E DAS CORRENTES



# AS MARÉS



Ainda que o vento cause as poderosas ondas de superfície que podem ser usados para extrair energia, é a atração gravitacional da Lua que causa as **marés** (ou altas e baixas do oceano) duas vezes por dia. A energia das marés, que é distinta da energia das ondas, que tem o potencial de exploração da energia maremotriz.

# ENERGIA MAREMOTRIZ

**Energia maremotriz** é o modo de geração de eletricidade através da utilização da energia contida no movimento de massas de água devido às marés. Dois tipos de energia maremotriz podem ser obtidas: energia cinética das correntes devido às marés e energia potencial pela diferença de altura entre as marés alta e baixa.



# ENERGIA MAREMOTRIZ

O sistema utilizado é semelhante ao de uma usina hidrelétrica. As barragens são construídas próximas ao mar, e os diques são responsáveis pela captação de água durante a alta da maré. A água é armazenada e, em seguida, é liberada durante a baixa da maré, passando por uma turbina que gera energia elétrica.



# ENERGIA MAREMOTRIZ

A força das marés tem sido aproveitada desde o século XI, quando franceses e ingleses utilizavam esse artifício para a movimentação de pequenos moinhos. Porém, o primeiro grande projeto para a geração de eletricidade através das marés foi realizado em 1967. Nesse ano, franceses construíram uma barragem de 710 metros no Rio Rance, aproveitando o potencial energético das marés.



# ENERGIA MAREMOTRIZ

## MODOS DE OPERAÇÃO DA USINA MAREMOTRIZ

Existem duas formas principais de aproveitamento da energia potencial das marés:

- Geração em maré vazante;
- Geração em maré enchente.

Além disso, é possível a combinação de ambas as formas. Quando o processo de geração ocorre apenas durante a maré vazante ou na maré enchente, é chamada de geração em efeito simples; quando ambas as formas são utilizadas, é chamada de geração em efeito duplo.



# ENERGIA MAREMOTRIZ

## MODOS DE OPERAÇÃO DA USINA MAREMOTRIZ

### Geração em maré vazante:

Logo após a maré cheia, as comportas de enchimento do reservatório são fechadas.

O processo de geração de energia é iniciado durante a maré vazante, quando a queda d'água é aproximadamente a metade da amplitude da maré, ou seja, há queda d'água suficiente para o início do funcionamento das turbinas.

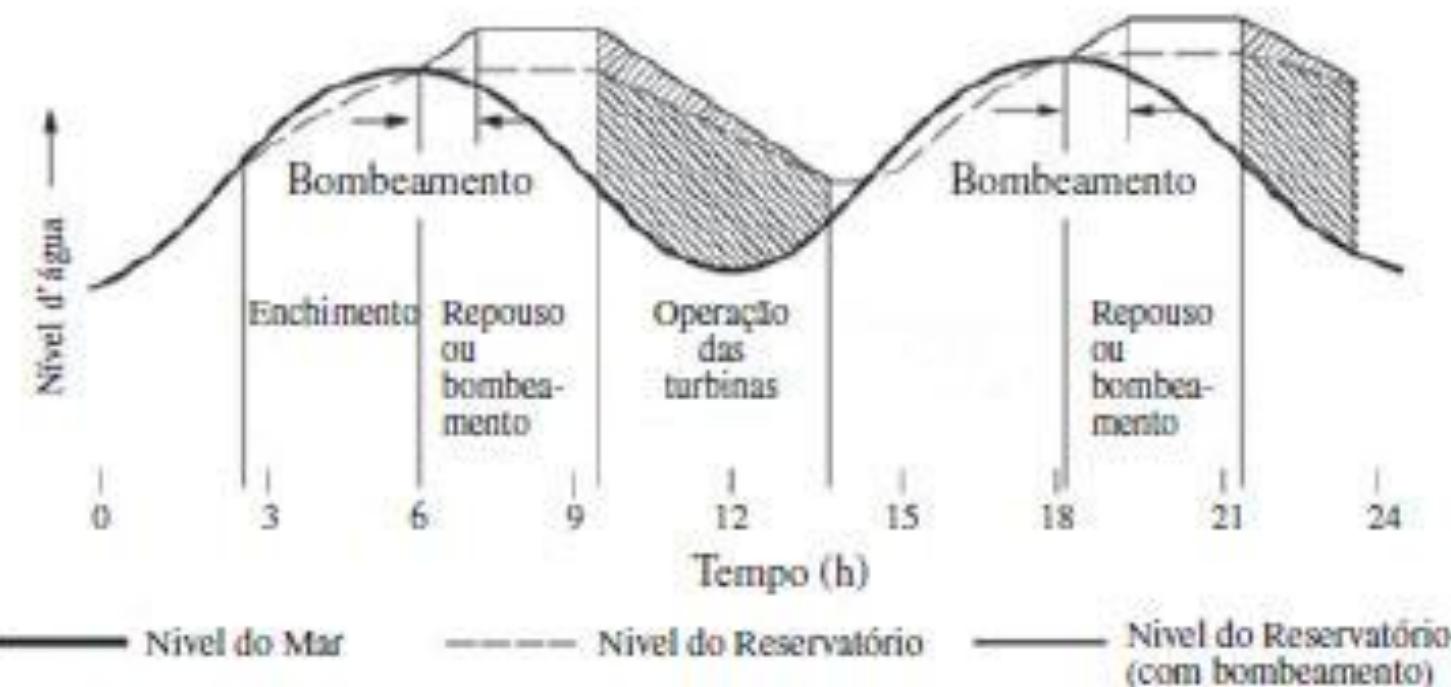
Esta operação é mantida até que a altura da queda d'água se torne a mínima possível para a geração de energia.

Neste ponto, bloqueiam-se as passagens de água através das turbinas, cessando-se a geração de energia até que a altura da queda d'água torne-se novamente suficiente para o funcionamento das turbinas, isto após a maré alta seguinte.

# ENERGIA MAREMOTRIZ

## MODOS DE OPERAÇÃO DA USINA MAREMOTRIZ

Geração em maré vazante:

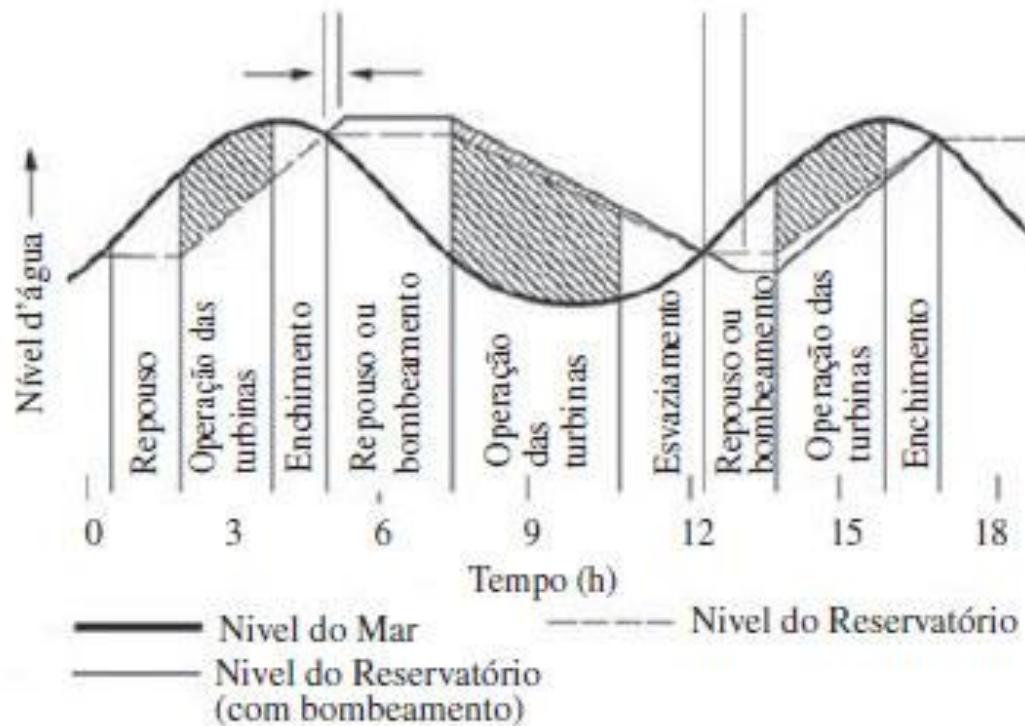


# ENERGIA MAREMOTRIZ

## MODOS DE OPERAÇÃO DA USINA MAREMOTRIZ

### Geração em maré enchente:

O processo de geração em maré enchente é análogo ao ilustrado na Figura anterior, com a diferença de que nesse caso o processo de geração ocorre no sentido mar-reservatório. Na Figura é demonstrada a combinação de ambas as formas de aproveitamento, ou seja, geração em efeito duplo.

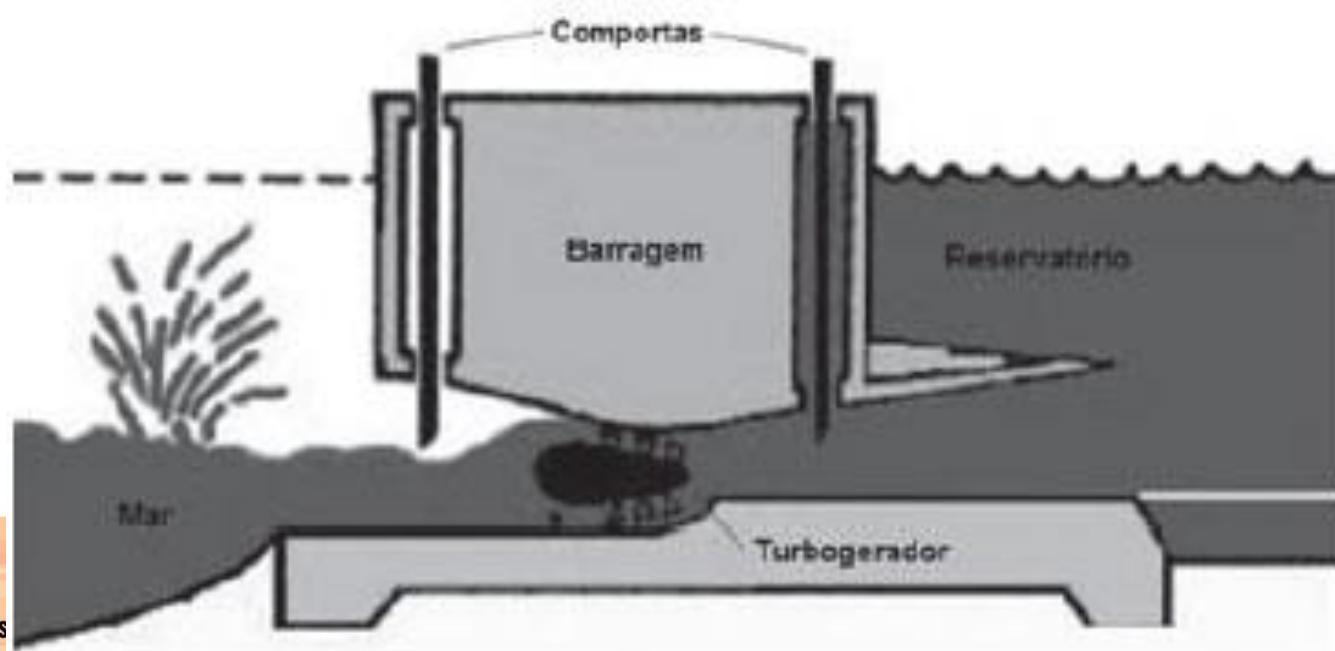


# ENERGIA MAREMOTRIZ

Essa é uma boa alternativa para a produção de eletricidade, visto que a energia das marés é uma fonte limpa e renovável.

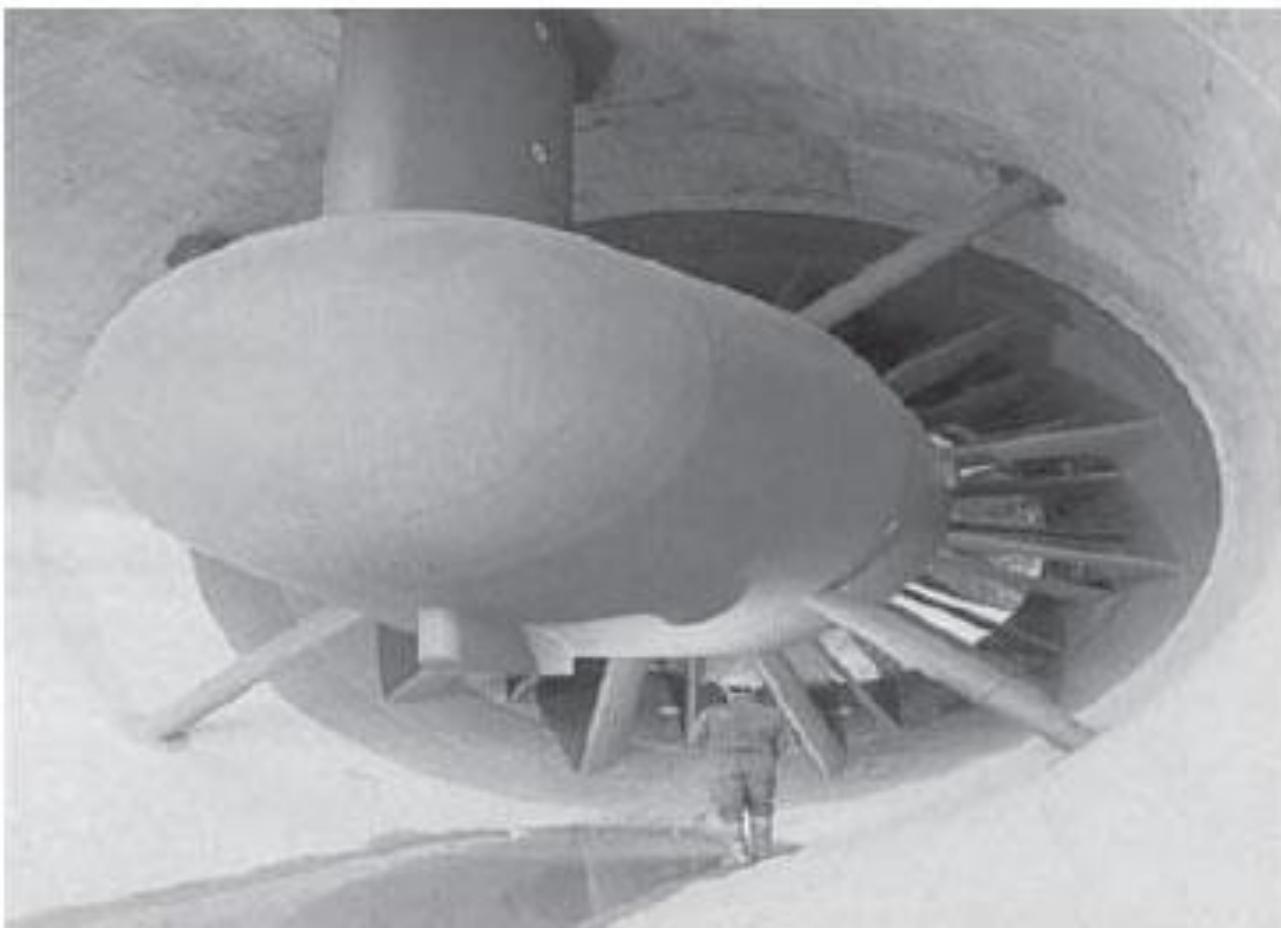
No entanto, é importante destacar que poucas localidades apresentam características propícias para a obtenção desse tipo de energia, visto que o desnível das marés deve ser superior a 7 metros.

Outros fatores agravantes são os altos investimentos e o baixo aproveitamento energético.



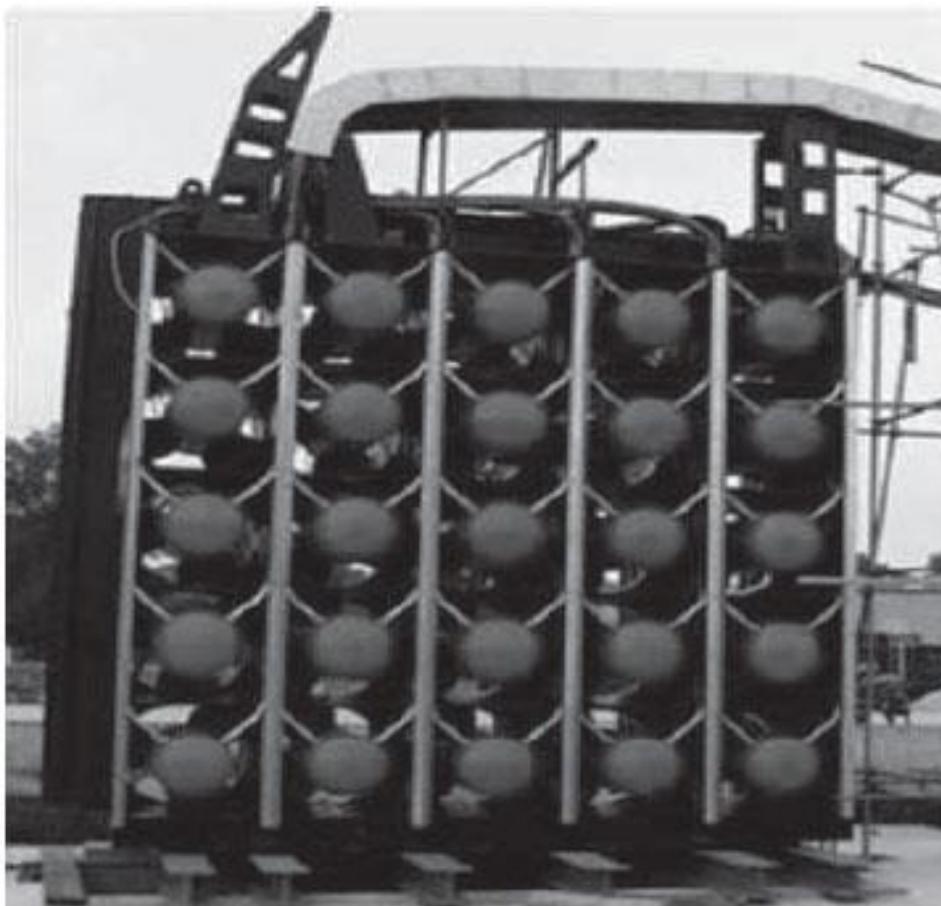
# ENERGIA MAREMOTRIZ

Detalhes da turbina bulbo instalada na usina maremotriz de La Rance, França



# ENERGIA MAREMOTRIZ

O sistema HYDROMATRIX é composto de pequenas unidades geradoras dispostas em uma "matriz", conforme ilustrado abaixo, sendo facilmente integrado a uma barragem já existente, e projetada para quedas entre 3 a 30 m. A potência gerada por cada unidade vai de 200 kW té 700 kW.



Detalhes do sistema HYDROMATRIX antes de sua instalação em Freudenau, Áustria.

# ENERGIA MAREMOTRIZ

Entre os locais com potencial para a produção de energia das marés estão a baía de Fundy (Canadá) e a baía Mont-Saint-Michel (França), ambas com mais de 15 metros de desnível.

No Brasil, podemos destacar o estuário do Rio Bacanga, em São Luís (MA), com marés de até 7 metros, e, principalmente, a ilha de Macapá (AP), com marés que atingem até 11 metros.

# ENERGIA MAREMOTRIZ

## **ENERGIA MAREMOTRIZ NO BRASIL: ESTUDO DE CASOS**

No Brasil, as maiores amplitudes de marés se encontram na costa norte.

Estudos realizados ainda na década de 80 revelaram alguns locais potencialmente favoráveis à exploração da energia maremotriz.

Por exemplo, apenas no litoral do estado do Maranhão, estimou-se um potencial disponível acima de 8 GW.

# ENERGIA MAREMOTRIZ

## **ENERGIA MAREMOTRIZ NO BRASIL: ESTUDO DE CASOS**

### Estuário da Bacanga

Situado na cidade de São Luís, o estuário do Bacanga, representa um caso bastante interessante para exploração da energia das marés.

Ainda na década de 70 foi construída uma barragem no estuário visando a interligação da cidade com o porto de Itaqui.

Além disso, na época da construção da barragem já se pensava em aproveitá-la para geração de eletricidade.

# ENERGIA MAREMOTRIZ

## **ENERGIA MAREMOTRIZ NO BRASIL: ESTUDO DE CASOS**

Estuário da Bacanga



# ENERGIA MAREMOTRIZ

## **ENERGIA MAREMOTRIZ NO BRASIL: ESTUDO DE CASOS**

### Estuário da Bacanga

Na época de construção da barragem, diversos estudos foram realizados sobre as possibilidades de aproveitamento desta para geração de eletricidade.

Uma das alternativas consistia na utilização de 6 turbogeradores do tipo bulbo de 4500 kW cada, operando em regime de efeito simples.

Desta forma, a geração anual da usina seria estimada em 56,3 GWh.

# ENERGIA MAREMOTRIZ

## **ENERGIA MAREMOTRIZ NO BRASIL: ESTUDO DE CASOS**

### Estuário da Bacanga

Embora fosse um projeto bastante promissor, a sua implantação tornou-se inviável economicamente devido a uma série de fatores posteriores:

- ocupação urbana desordenada em áreas do reservatório;
- criação de uma avenida que também margeia o reservatório;

Obrigaram que este fosse mantido, através do controle das comportas da barragem, a uma cota máxima bem inferior ao previsto no projeto inicial.

# ENERGIA MAREMOTRIZ

## **ENERGIA MAREMOTRIZ NO BRASIL: ESTUDO DE CASOS**

### Baía de Turiaçu

Localizada no estado do Maranhão, Brasil, a baía de Turiaçu apresenta um dos maiores potenciais maremotrizes do litoral brasileiro: mais de 3,4 GW de potencial disponível.

A baía de Turiaçu é uma região riquíssima em estuários, além de apresentar marés de até 7 m, portanto, é considerada uma região bastante propícia para este tipo de exploração energética. Entretanto, existe uma série de restrições que tornam inviáveis a exploração em larga escala de todo este potencial, tais como: dificuldades de acesso ao local e restrições ambientais relacionadas com a abundante vegetação de mangues na região.

# ENERGIA MAREMOTRIZ

## **ASPECTOS AMBIENTAIS**

Embora a exploração da energia maremotriz não produza nenhuma poluição direta ao meio-ambiente, é importante ressaltar que os efeitos da construção e operação de uma usina maremotriz em um estuário devem ser cuidadosamente avaliados, pois a sua instalação pode modificar algumas características naturais do local.

Além disso, as possíveis alterações nas atividades humanas locais também devem ser avaliadas.

A construção de uma barragem em um estuário pode resultar em efeitos diretos sobre o ecossistema local.

Portanto, é importante ressaltar que tais efeitos devem ser considerados tanto no projeto e construção, quanto na operação da usina.

# ENERGIA MAREMOTRIZ

## ASPECTOS AMBIENTAIS

Alguns dos aspectos que devem ser analisados são as possíveis alterações na qualidade da água, ou seja, alterações nas características químicas da água, tais como oxigenação e salinização; além da própria morfologia do estuário, que pode ser alterada devido às possíveis modificações nos regimes de sedimentação e erosão.

Possivelmente, um dos principais aspectos ambientais que devem ser verificados está relacionado às alterações no ecossistema do estuário. Estas alterações variam de acordo com o local, entretanto, podem ser formuladas levando-se em consideração os seguintes aspectos:

- Alterações na distribuição das espécies dentro do estuário;
- Alterações na composição do grupo de espécies: algumas podem deixar de existir, enquanto novas espécies podem surgir;
- Alterações nos ciclos de vida de algumas espécies: taxas de crescimento e reprodução, por exemplo.

# ENERGIA MAREMOTRIZ

## ASPECTOS AMBIENTAIS

Embora estes aspectos devam ser cuidadosamente verificados, vale destacar que a intensidade em que estes podem ocorrer, varia de um local para outro.

Tomando-se como referência a usina maremotriz de La Rance, observou-se que os impactos mais significativos aconteceram apenas durante a sua construção, onde o fluxo natural do estuário foi interrompido através de enseadeiras, para a construção a seco da barragem.

Após esta etapa, estes impactos foram substancialmente reduzidos. Com relação ao ecossistema do estuário de La Rance, foram observadas algumas modificações ao longo dos anos até que um novo equilíbrio ecológico tenha sido alcançado. Entretanto, estas modificações não causaram prejuízos às atividades pesqueiras na região

# ENERGIA MAREMOTRIZ

## ASPECTOS ECONÔMICOS

A avaliação econômica de um projeto de usina maremotriz deve ponderar tantos aspectos diretos quanto indiretos.

Entre os aspectos diretos estão os custos de construção, operação e manutenção da usina, além dos benefícios promovidos pela própria geração de eletricidade.

Os aspectos indiretos estão relacionados aos impactos ambientais e sócio-econômicos associados à usina.

O desenvolvimento de atividades turísticas no entorno da usina e a utilização da barragem como via de acesso rodoviário são exemplos de benefícios indiretos.

# ENERGIA MAREMOTRIZ

## ASPECTOS ECONÔMICOS

Além de a fonte primária ser virtualmente inesgotável, os custos associados à operação da usina são mínimos, portanto, os investimentos em construção e operação podem ser facilmente recuperados através de "economia em combustíveis".

Ao contrário de outras fontes energéticas, a geração maremotriz está livre de alguns problemas tais como: emissões de gases poluidores, poluição da água, derramamentos de óleo, produção de resíduos.

Embora sejam primordialmente ambientais, estes aspectos também devem ser observados sob o ponto de vista econômico em quaisquer projetos de geração de energia. Além disso, a vida útil de uma usina maremotriz pode chegar de duas a três vezes a de uma térmica ou nuclear.

# ENERGIA MAREMOTRIZ

## ASPECTOS ECONÔMICOS

A viabilidade econômica de uma planta maremotriz está bastante atrelada às demais fontes energéticas também disponíveis.

A energia maremotriz pode ser bastante competitiva se compara àquela proveniente de usinas a carvão, entretanto, esta competitividade é reduzida se compara às hidrelétricas convencionais.

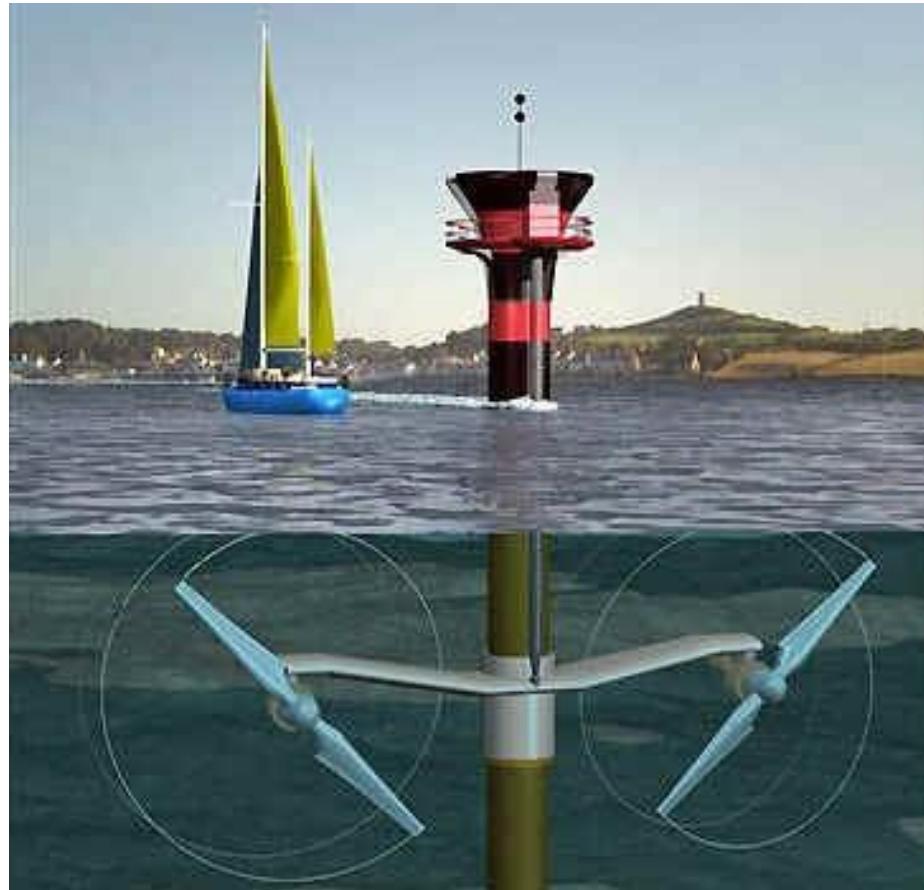
Portanto, o custo da geração maremotriz e consequentemente a sua viabilidade, varia de um país para outro, de acordo com as condições energéticas, sociais e ambientais diversas.

O Japão, por exemplo, produz eletricidade a baixos custos a partir de fontes nucleares e térmicas a gás e a óleo.

Uma usina maremotriz produziria eletricidade a um custo de 3 a 4 vezes maior, o que a tornaria não-atrativa.

# ENERGIA DAS CORRENTES

As correntes de marés podem ser convertidas em eletricidade através de sistemas modulares de turbinas que podem ser colocadas diretamente no leito do mar



# ENERGIA DAS CORRENTES

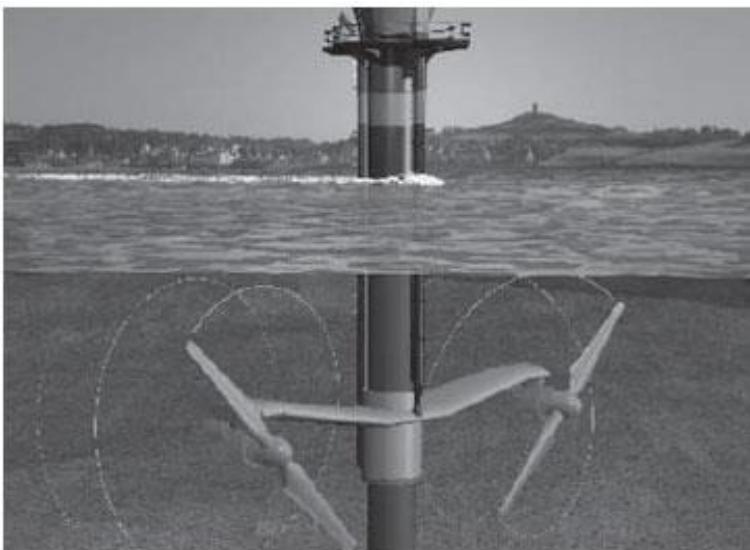
Apesar de a exploração comercial das correntes de marés estar em desvantagem com relação à exploração através de barragens, esta alternativa tecnológica também apresenta uma tendência bastante promissora e tem sido bastante pesquisada e também levada em consideração para novos possíveis projetos.

Embora esta forma de aproveitamento apresente os mesmo princípios da geração eólica. Algumas vantagens são notavelmente observadas: a densidade da água do mar é cerca de 800 vezes maior do que a do ar, além disso, as correntes de marés são altamente previsíveis - até 98 % de certeza para um período de décadas, ao contrário dos ventos.

# ENERGIA DAS CORRENTES

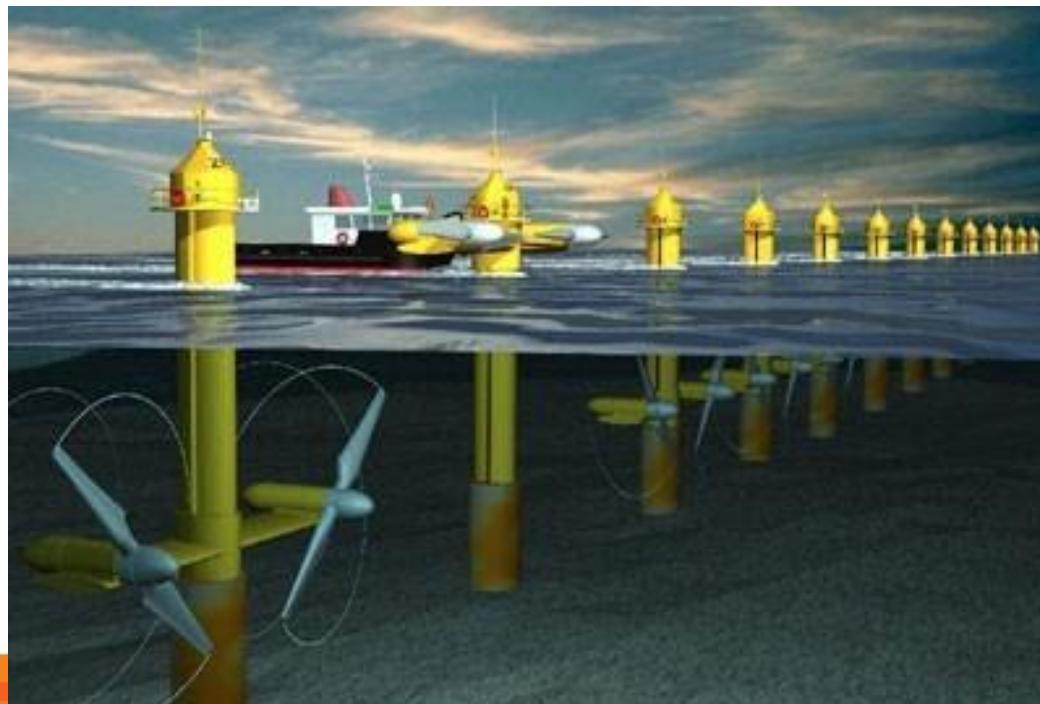
As principais tecnologias empregadas nesta forma de aproveitamento são baseadas em turbinas de eixo vertical, e de eixo horizontal.

O Projeto SeaGen é um dos principais exemplos de aproveitamentos da correntes de marés. Em 2008, um conversor de 1,2MW foi instalado em Stranford Lough, Reino Unido. O diâmetro do rotor é de 16 m, sendo capaz de gerar anualmente cerca de 3800MWh. A velocidade nominal é de apenas 2,4 m/s.



## ENERGIA DAS CORRENTES

Outro projeto em andamento, engloba o aproveitamento das correntes de marés nas proximidades da ilha de Anlesey, País de Gales. Este projeto consiste na criação de um array composto por sete turbinas SeaGen, totalizando 10,5MW de potência instalada. Desta forma, pretende-se avaliar os diversos aspectos relacionados à utilização desta tecnologia para geração de energia. Além disso, espera-se que este projeto promova alguns benefícios indiretos, tais como incentivo às atividades turísticas na região.

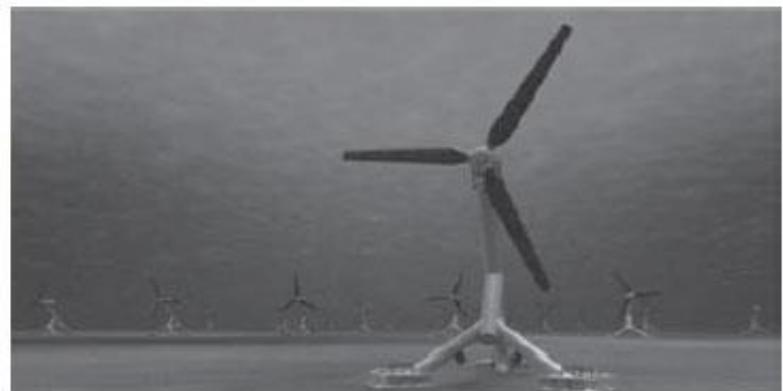


## ENERGIA DAS CORRENTES

A companhia Hammerfest Strom desenvolveu o projeto chamado Blue Concept, ilustrado na figura, que consiste em um protótipo pré-comercial de turbinas de até 1MW de potência nominal para o aproveitamento das correntes de marés.

Com o objetivo de reduzir os custos da geração maremotriz, a companhia pretende testar seus protótipos em Islay e Ducany, Escócia, através de arrays com potências nominais de 10MW e 95MW, respectivamente.

Recentemente, alguns estudos tem proposto a integração entre geração maremotriz e geradores eólicos off-shore. Modelos de tais sistemas híbridos tem sido implementados e simulados de modo a se prever a interação dinâmica entre ambas as fontes, bem como o sistema elétrico em que estão conectadas.



## ENERGIA ONDOMOTRIZ

A energia das ondas ou ondomotriz, provém do aproveitamento das ondas oceânicas.

É uma energia "limpa", isto é, com baixo impacto ambiental e, até a atualidade, não está disponível de forma comercial, apesar de ser estudada desde o ano de 1890.

## ENERGIA ONDOMOTRIZ

A instalação de equipamentos técnicos capazes de gerar este tipo de energia ocorreu pela primeira vez no dia 23 de setembro de 2008 em Portugal, no Parque de Ondas da Aguçadoura, a cerca de três milhas náuticas de Aguçadoura, no município da Póvoa de Varzim.



# ENERGIA ONDOMOTRIZ

Ao contrário do que acontece na energia eólica, existe uma grande variedade de tecnologias em desenvolvimento para a produção de energia das ondas, que resultam das diferentes formas em que a energia pode ser capturada e também das diferentes profundidades e características geológicas da localização escolhida.

Desta forma podem ser encontradas mais do que uma centena de sistemas de energia das ondas em diversas fases de desenvolvimento.

## ENERGIA ONDOMOTRIZ

Para além de um conjunto de protótipos em fase de teste, existem em operação há cerca de 10 anos duas centrais de Coluna de Água Oscilante do tipo costeiro em operação na Europa.

Uma delas, a Central de Ondas do Pico, está localizada na ilha do Pico, Açores, sendo utilizada para investigação pelo Centro de Energia das Ondas - Wave Energy Centre.

A outra está localizada na ilha de Islay na Escócia, sendo utilizada pela Voith Hydro Wavegen.

## ENERGIA ONDOMOTRIZ

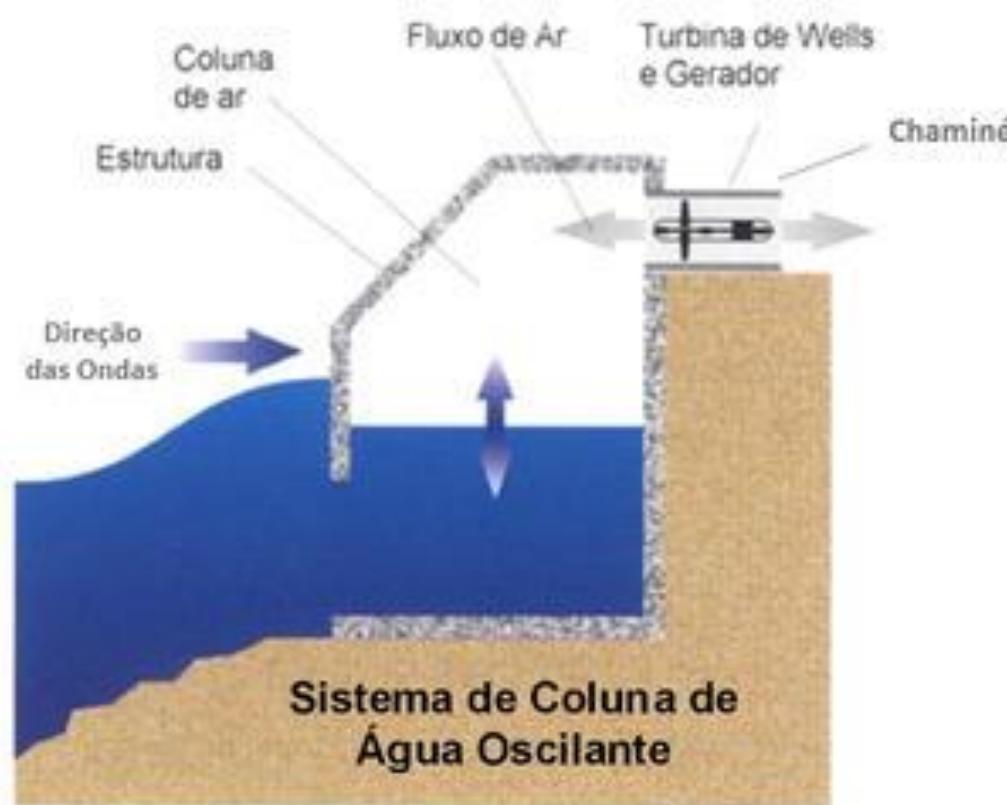
Os dispositivos de Coluna de Água Oscilante (CAO) consistem basicamente em estruturas ocas parcialmente submersas, que se encontram abertas para o mar abaixo da superfície livre da água do mar. O processo de geração de eletricidade segue duas fases:

- Quando a onda entra na estrutura o ar que se encontrava dentro dela é forçado a passar por uma turbina, como consequência direta do aumento da pressão na “câmara de ar”.
- Quando a onda regressa ao mar o ar passa novamente na turbina, desta vez no sentido inverso, dada a pressão inferior no interior da “câmara de ar”.

Para aproveitar ambos movimentos de sentidos opostos a turbina utilizada é, normalmente, do tipo Wells, que possui a propriedade de manter o sentido de rotação independentemente do sentido de escoamento.

# ENERGIA ONDOMOTRIZ

## Dispositivo de Coluna de Água Oscilante (CAO)

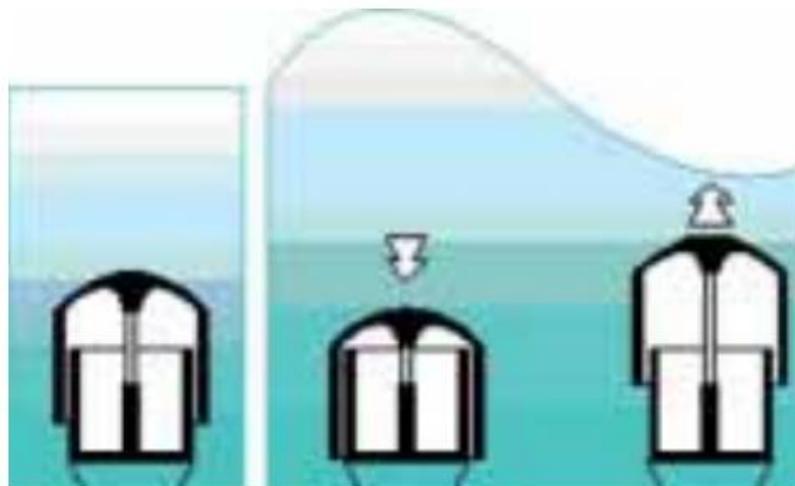


## ENERGIA ONDOMOTRIZ

Mais recentemente têm sido testados protótipos flutuantes para serem utilizados longe da costa.

Em 2004 foi testado um protótipo da AWS na Aguçadoura, Portugal, no mesmo local onde foram testados em 2008 dispositivos Pelamis.

Grande parte dos testes mais recentes de protótipos de energia das ondas têm ocorrido no European Marine Energy Centre nas ilhas Orkney na Escócia.



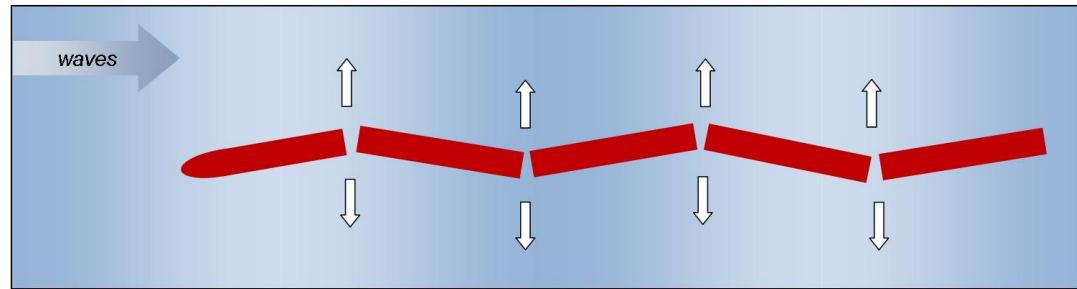
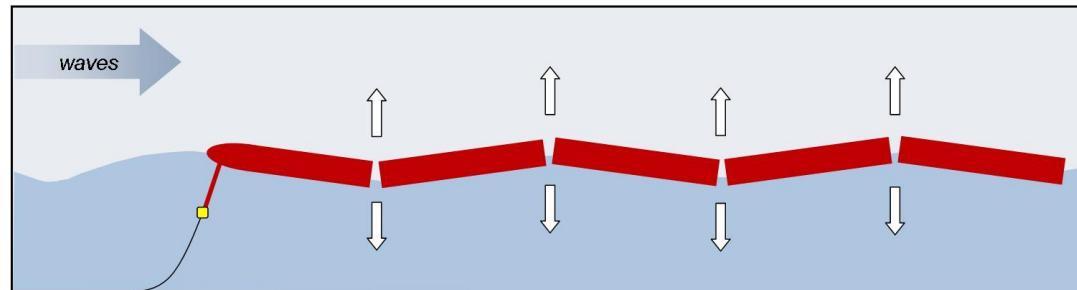
# ENERGIA ONDOMOTRIZ

Sistema AWS submarino.



# ENERGIA ONDOMOTRIZ

## Sistema Pelamis



# ENERGIA ONDOMOTRIZ

## Energia das ondas no Brasil

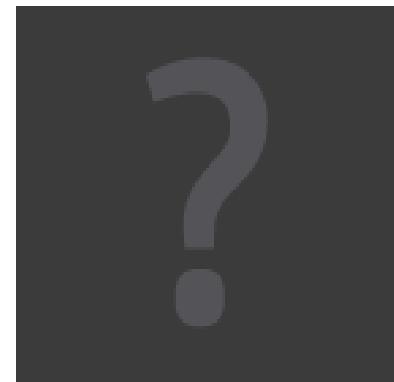
Em novembro de 2012, funcionou em caráter experimental, a Usina de Pecém, instalada no quebra-mar do Porto do Pecém no Ceará, nordeste brasileiro.

A usina utiliza tecnologia brasileira desenvolvida pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) na Universidade Federal do Rio de Janeiro[10], sendo a primeira desse tipo na América Latina, com capacidade de produzir 100MW com a força das ondas do mar.

Considerada uma planta de sucesso, deve retomar a produção no ano de 2017, porém em outro local no Ceará.

# ENERGIA ONDOMOTRIZ

Energia das ondas no Brasil



# VANTAGENS

- A turbulência dos oceanos é um recurso renovável.
- Não produzem CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, partículas, contaminação dos solos, ou resíduos perigosos.
- Um gerador elétrico de ondas não é particularmente caro de instalar nem de manter.
- São discretos. Mesmo que visíveis não interferem muito com a paisagem.
- Se for corretamente projetado, não tem grande impacto na vida marinha.

# DESVANTAGENS

- Quando a superfície do oceano está calma, o gerador deste tipo não consegue produzir energia elétrica aproveitável.
- Têm de ser cuidadosamente situados para minimizar os efeitos do ruído que produzem.
- Devido à sua discreção podem ter efeitos nefastos nas embarcações navegantes, devendo, pois, ser bem assinalados nos mapas e, no local, através de bóias.
- Necessidade de ter uma situação geográfica favorável, ou seja, presença de marés no litoral e desnível no solo do oceano.
- A implementação do sistema de uma usina maremotriz ainda é caro em relação ao sistema de hidrelétrica. Assim, a relação custo/benefício ainda não é vantajosa para muitos países.
- Pode ocorrer impacto ambiental na implantação do sistema, principalmente com relação ao ecossistema marinho.
- Baixo aproveitamento energético.

## ATIVIDADE

Pesquisar e explicar o funcionamento de geradores ondomotriz por rotação. Relatório manuscrito. Máximo 2 alunos.

# ATIVIDADE

Pesquisar e explicar o funcionamento de geradores ondomotriz por rotação. Relatório manuscrito. Máximo 2 alunos.

## Energia das ondas por rotação

Essa forma bastante incomum de explorar a energia das ondas transforma o movimento de vai e vem da água do mar em um movimento circular.

A energia rotacional das ondas usa um excêntrico - um peso com um eixo fora do centro - selado dentro de uma boia ou casco de navio, que gira ao movimento do mar.

A empresa finlandesa Wello vai começar em breve a testar o seu Penguin, um dispositivo rotacional de energia das ondas de 500 kW.

O Penguin tem um casco assimétrico, que faz com que ele se movimente, a cada onda que passa, de forma muito parecida com o passo empolado de um pinguim.

O movimento é usado para acelerar um peso de 95 toneladas, que gira dentro do casco e aciona um gerador elétrico para produzir eletricidade.

