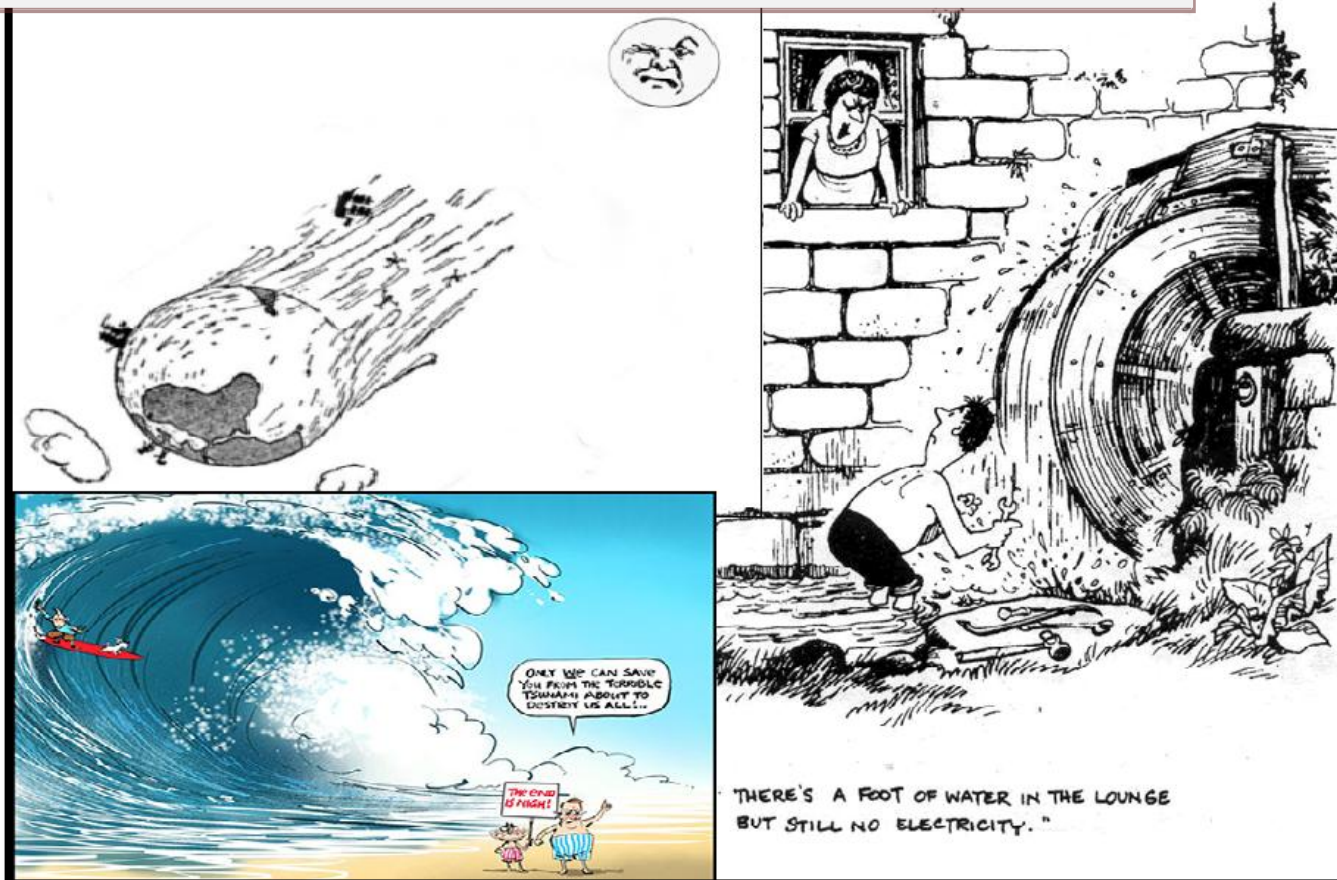


5ºAno

PDIS – Energia das Marés e Ondas



Ricardo Nuno Freitas Neves - 020503035

MIEEC - FEUP

5ºAno

Trabalho Elaborado em colaboração com os Alunos:
Alexandre dos Santos Dias – 030503051
Telmo Adriano Rocha Santos - 000503277

Introdução.....	3
Nota Histórica.....	4
Ciência Básica relativa á energia das marés.....	5
Energia das Marés.....	6
Alínea a) Porquê a energia das marés?.....	7
Aspectos Ambientais.....	7
Aspectos Socioeconómicos.....	7
Aspectos Económicos.....	8
Alínea b) Projectos/Tecnologias em Funcionamento.....	12
Alínea c) Preço de Produção.....	23
Alínea d) Principais Desafios.....	24
Alínea e).....	26
Processo 1.....	26
Processo 2.....	26
Processo 3.....	27
Análise dos resultados pelos 3 processos.....	27
Conclusões e Considerações.....	28

Introdução

As energias renováveis marinhas, teoricamente exploráveis, são numerosas e variadas. Quando estamos perante uma exploração com níveis de produção de energia razoáveis, esta energia eléctrica poderá ser exportável para o solo firme. Na conquista de novas fontes de energias que não emitem gases de efeito de estufa, nem contribuem para o agravamento dos impactos ambientais negativos, as energias marinhas devem desempenhar um papel de relevo, contribuindo para este objectivo. Portugal tem em toda a sua extensão, a costa banhada pelo oceano atlântico, tendo por isso todo o interesse e condições para recorrer a estas formas alternativas de energia. Vários países Europeus já se envolveram em projectos associados a estas energias alternativas e apoiam activamente a I&D bem como a indústria. O desenvolvimento harmonioso desta “nova” maneira de explorar os mares deve ser feito em consenso com os outros ocupantes do espaço marítimo. O conhecimento indispensável de todos os impactos ambientais e sociais só podem ser adquiridos pela experiência com instalações de projectos-piloto de tamanho significativos.

Este trabalho tem por objectivo o estudo mais aprofundado de uma das energias marinhas nomeadamente a energia das marés.

Nota Histórica

A ideia de extrair a energia dos oceanos, utilizando a diferença entre a maré-alta e a maré-baixa, na realidade, não é recente. No século XII havia na Europa moinhos submarinos, instalados na entrada de estreitas baías (o fluxo e o refluxo das águas moviam as pedras de moer). Contudo, os pioneiros da exploração das marés na era moderna foram os habitantes de Husum, uma pequena ilha alemã no mar do Norte, onde, em 1915, os tanques para o cultivo de ostras estavam ligados ao mar, através de um canal, onde turbinas moviam um pequeno gerador eléctrico, durante a passagem da água das marés. A electricidade produzida neste processo era suficiente para iluminar a povoação referida.

Em Portugal, também não é uma novidade o aproveitamento da energia das marés para conversão em outros tipos de energia, como é o caso dos diversos moinhos de marés existentes no nosso país. O seu funcionamento é semelhante ao dos pequenos moinhos: um jacto de água é dirigido de forma a incidir nas penas do rodízio, imprimindo-lhe um movimento giratório, que um veio transmite directamente à mó. Para que seja a diferença entre as marés a criar esse jacto, o moinho tem de ser construído no local onde as águas do rio, sob a pressão da maré-alta, crescem para a margem, alagando-a, regularizando essa mesma entrada através de um canal, com uma comporta. Refiram-se alguns moinhos de marés existentes em Portugal, como o de Azenhas de D. Prior, situado em Viana de Castelo, onde o ribeiro de Fornelos desagua no rio Lima, bem como o de Mourisca, em Setúbal.



Figura 1 - Moinho de marés – Mourisca, Setúbal

Ciência Básica relativa á energia das marés

O sistema de marés terrestre resulta do movimento da Lua em torno da Terra e sofre, também, a influência do movimento da Terra em torno do Sol.

A Terra e a Lua são duas massas que causam forças centrífugas “uma na outra”. Considerando uma partícula de massa m localizada na superfície da Terra, tem-se pela lei gravitacional de Newton:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$$

onde F é a força criada entre a massa 1 e a massa 2, G é a constante gravitacional universal.

Tendo em conta a diferença entre a força que atrai a Terra em direcção à Lua e a força necessária para a rotação da Terra, obtém-se uma expressão para a força que gera as marés:

$$\text{Tidal Force} = \frac{2Gmm_1a}{R^3}$$

onde m é a massa da Terra, a é o raio médio da Terra e R é a distância entre a Terra e a superfície lunar.

Observa-se, então, o efeito do afastamento da partícula m_1 do centro da Terra, sendo este o que causa a maré alta. Em última análise, este é o processo por detrás do meio ciclo diário que resulta num período de 12 horas e 25 minutos entre marés altas consecutivas.

Nas Figuras 2 e 3, encontram-se ilustrações do referido efeito, em que se mostra claramente as protuberâncias criadas no oceano devido ao efeito da Lua, por um lado, e às forças inerciais, por outro.

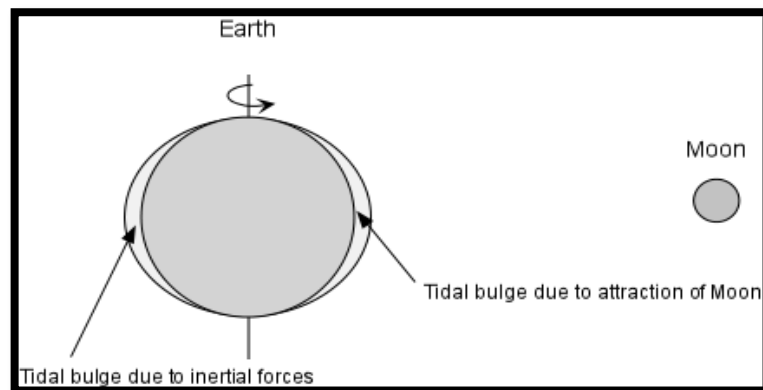


Figura 2 – A Lua e a sua contribuição no aparecimento das marés – aspecto geral

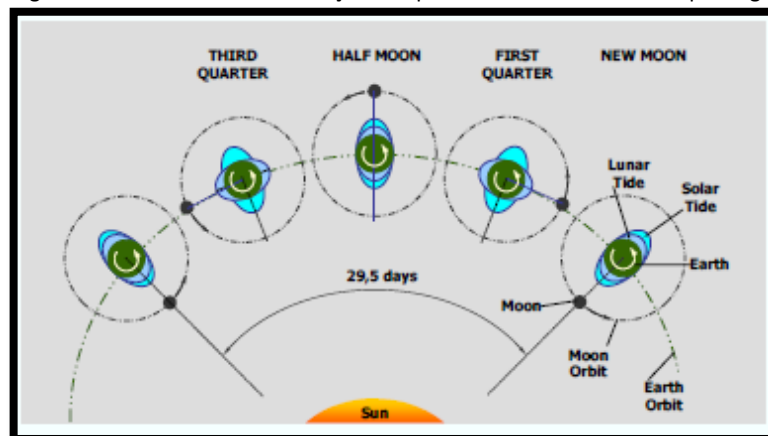


Figura 3 – Fases da Lua e a sua contribuição no aparecimento das marés.

Energia das Marés

A energia das marés, também chamada de energia maremotriz, é uma energia renovável e limpa. O fenómeno de maré tal como já foi referido, deve-se às interações gravitacionais entre a Terra e outros astros (principalmente a Lua e o Sol). Traduz-se pelas variações periódicas do nível do mar associadas às correntes. A energia correspondente pode ser captada sob duas formas:

- Energia potencial – pelas variações do nível do mar;
- Energia cinética – pelas correntes marítimas.

Em resumo, a energia das marés, resulta da rotação da Terra no seio dos campos gravitacionais da Lua e do Sol, isto é, baseia-se na recuperação da energia cinética da Terra.

Energia Potencial

Este tipo de aproveitamento da energia das marés é obtido através da construção de diques e reservatórios. Duma maneira muito simples, quando a maré sobe, a água enche o reservatório passando através duma turbina (tipo bulbo) produzindo energia eléctrica. Quando a maré desce, o reservatório é esvaziado, a água sai do reservatório passando novamente pela turbina (em sentido contrário), produzindo novamente energia eléctrica.

Energia Cinética

Este tipo de aproveitamento corresponde essencialmente a exploração da energia cinética associada às massas de água movidas pelas correntes marítimas. A técnica utilizada, de uma forma geral, pode ser definida como uma eólica submarina tendo aproximadamente os mesmos princípios bases de funcionamento à diferença que estas utilizam a água para serem movidas.

Alínea a) Porquê a energia das marés?

Aspectos Ambientais

Este tipo de energia, é uma energia limpa e renovável contribuindo para a redução das emissões dos gases de efeito de estufa, reduzindo a poluição no ar, da água, do solo e da biosfera limitando os riscos de acidentes. No entanto podem ter outro tipo de impactos que serão abordados nesta alínea.

Como foi referido, a energia das marés constitui uma solução, a longo prazo, como fonte de produção de electricidade. Por exemplo, caso o projecto da barragem Severn (existem diversas hipóteses de localização entre a costa de Inglaterra e Gales) avancem para a construção efectiva, esta barragem foi projectada de modo a reduzir 18 milhões de toneladas de carvão por ano. Diminui-se assim a produção de gases com efeito de estufa para a atmosfera.

Numa perspectiva a curto prazo, o impacto ambiental associado a este tipo de central seria na transformação do ecossistema, ou seja, na transformação da Fauna e Flora existente.

Quando é aproveitada a energia potencial, são construídos diques, barragens ou reservatórios de forma a reter a água, travando assim o seu movimento e consequentemente, de forma infinitesimal, a Terra. Pelas leis da física, as consequências desta desaceleração da Terra acarreta uma aceleração e afastamento da Lua também de forma infinitesimal (relativamente a sua distância à Terra). De qualquer modo, este efeito já existia, o aproveitamento da energia potencial das marés só veio aumentar a “travagem” da Terra. Os efeitos climatéricos associados a este efeito não foram até a data muito aprofundados, no entanto, qualitativamente, sabe-se que:

- Diminuiria a velocidade do ciclo térmico terrestre, isto é, períodos diurnos quentes e nocturnos frios;
- Aumentaria o espaçamento de temperatura entre os dias e as noites, tendo como consequências o aumento dos movimentos atmosféricos (tempestades...).

Quanto ao aproveitamento da energia cinética (correntes marítimas), cujo este é feito através de turbinas subaquáticas não tem impacto ambiental significativo, por exemplo, são projectadas de forma a expulsar qualquer animal marinho que se aproxime do rotor.

Aspectos Socioeconómicos

Esta energia torna-se numa forma global, num panorama socioeconómico positivo. Este mercado “novo” torna-se interessante neste aspecto visto que surgem postos de trabalhos, desde a investigação e desenvolvimento até a construção, operação e manutenção das respectivas centrais.

Tal como já foi referido, um empreendimento de grande escala como uma central de energia das marés trará, obviamente, benefícios numa dimensão económico-social para a

comunidade onde se inserir. Como exemplo, refira-se algo que já foi abordado anteriormente. A central de La Rance, o único projecto com dimensão comercial, até ao momento, em todo o mundo, permitiu realizar uma travessia rodoviária entre duas povoações isoladas.

Por outro lado, este tipo de projecto poderá contribuir para estimular a economia nacional, criando postos de trabalho nas áreas da prestação de serviços, entre outras, desde que para isso se recorra, na medida do possível, ao tecido empresarial português para a sua realização. Esta importante contribuição verificou-se na prática, em França, na central de La Rance, onde existiu um substancial aumento da actividade dos sectores das matérias-primas, dos transportes e prestação de serviços, desde que se iniciou a sua implementação até à actualidade.

Quando uma central de energia das marés se localiza no estuário de um rio, outro aspecto importante a salientar neste capítulo relaciona-se com a necessidade de estudos efectivos sobre o impacto no trânsito marítimo, que em muitos rios é considerável e extremamente importante para a economia local, nomeadamente, quando existem portos marítimos.

Referindo mais especificamente o caso da energia potencial das marés (por barragens), estas podem revelar-se como atractivas num ponto de vista turístico, aproveitando também para actividades náuticas, ou seja, novos postos de trabalhos.

Para os pescadores, é difícil adaptarem-se as circulações de água impostas pelo fecho e abertura das “escotilhas” visto que estes actuavam com a hora do mar, tornando este ponto negativo para este tipo de aproveitamento.

Aspectos Económicos

Os projectos ligados a este tipo de energia requerem, normalmente, pela sua complexidade, elevado capital de investimento, bem como a sua construção é bastante demorada. O período de retorno do investimento feito é também bastante longo. Consequentemente, a electricidade produzida a partir das marés tem um preço elevado, sendo que aqui assume um papel muito importante o sistema de financiamento público utilizado. É notório que a utilização desta forma de energia renovável é altamente improvável, pela sua inviabilidade económica, a menos que exista intervenção do sector público. Nomeadamente, em mercados de electricidade desregulados, baseados no investimento privado, a energia das marés não é, no momento e na maioria dos casos, competitiva dado que o seu custo efectivo é, ainda, bastante superior a outras energias renováveis, sendo o desenvolvimento de tecnologias que permitam a diminuição do preço do kWh produzido através da energia das marés um dos maiores desafios para o futuro próximo.

A construção de uma central deste tipo varia obviamente consoante o tipo de energia que se quer aproveitar.

No caso da energia potencial, o preço da construção varia de lugar para lugar devido a mão-de-obra e disponibilidade do material.

Por outro lado, há ainda que abordar a questão da localização da central. Para ser lucrativa, uma central de energia das marés não poderá ser instalada em qualquer local. Ora, este constitui-se como um dos aspectos mais delicados na utilização deste tipo de energia renovável, uma vez que só locais com uma variação muito significativa entre a maré-baixa e a maré-alta se afiguram como bons locais de instalação. Esta variação está intimamente relacionada com a topografia de cada local. Nos melhores locais, chegará aos 10 m, ou mesmo, 15 m.

Outro factor importante é a extensão do projecto favorecendo um valor mínimo por kWh produzido posteriormente. Assim os grandes projectos são mais económicos do que os pequenos. Para uma central de 100 MW, o capital investido é estimado em 1200 a 1500 dólares (US\$) por kWh produzindo a um custo de operação mínimo de 0,05 US\$ por kWh, mas claro isto são apenas valores estimados.

Os locais que possuam estas características apenas podem ser encontrados em algumas áreas bem definidas em todo o mundo. Podemos ver na tabela abaixo os 5 locais mais promissores para a instalação de centrais de energia das marés, sendo que em La Rance já existe o aproveitamento deste tipo de energia e em alguns dos outros, como o estuário de Severne, no Reino Unido, os estudos encontram-se em fase já muito adiantada.

	Mean Tidal Amplitude (m)	Basin Area (km2)
La Rance, France	4	17
Bay of Fundy, Canada	5,5	240
Annapolis, Nova Scotia	3,2	6
Severn Estuary, England	4	420
Garolim Bay, South Korea	2,5	85

Locais mais promissores para o aproveitamento da energia das marés

No caso da energia cinética, este tipo de tecnologia encontra-se em fase de desenvolvimento e já estão a funcionar estimando-se assim o preço de produção entre 0,03€ a 0,07€ o kWh. O problema desta tecnologia, isto muito provavelmente por ser recente e em fase de desenvolvimento, é o custo de construção da respectiva central, por exemplo, na França a construção de uma “hidráulica” do tipo Sabella de 1 MW eleva-se a 750000€.

Aspectos Técnicos

Dependendo da tecnologia utilizada, esta energia têm as suas limitações, fazendo uma análise por tecnologia os aspectos técnicos a ter em conta para:

- **Energia potencial (tipo barragens):**
 - Aproveitamento que necessita de uma costa apropriada para a construção do respectivo reservatório;
 - Para que este sistema funcione bem são necessárias marés e correntes fortes;
 - Tem que haver um aumento do nível da água pelo menos 5,5 metros da maré baixa para a maré alta;

- **Energia cinética (turbinas subaquáticas):**

- Necessita de uma velocidade mínima da corrente, cerca de 1 m/s variando com a tecnologia;
- Restringida a sítios com correntes fortes, normalmente em profundidades baixas, ou seja, na maioria dos casos na proximidade das costas.
- Estrutura robusta, relativamente pequena e que necessita de pouca manutenção.

Tal como no caso da energia eólica, a localização é fundamental para as turbinas de energia das marés. Estes sistemas devem situar-se em áreas com correntes rápidas, com fluxos naturais entre pontos rochosos, cabeceiras, entre ilhas, nas entradas de baías e rios ou outras massas terrestres. Apresentamos de seguida alguns pontos do planeta que surgem como alternativas para construir centrais baseadas nesta forma de energia:

- Cook Inlet no Alasca
- Pentland Firth na Escócia
- Dee estuary em Gales
- Pembrokeshire em Gales
- Solway estuary (Morecambe Bay) em Inglaterra
- Humber estuary em Inglaterra
- Mersey river em Inglaterra
- Channel Islands in the English Channel, off the French coast
- Cook Strait na Nova Zelândia
- Estreito de Gibraltar
- Bosporus na Turquia
- Bass Strait na Australia
- Torres Strait na Australia
- Estreito de Malacca entre a Indonésia e Singapura
- Bay of Fundy no Canada
- East River em Nova Iorque
- Ilha de Vancouver no Canada
- Estreito de Magalhães a sul do Chile
- Golden Gate na baía de S. Francisco

Comparativamente com a energia eólica, a energia das marés produz energia de forma análoga. No entanto, quando comparamos a densidade da água com a densidade do ar, verificamos que a densidade da água é 832 vezes superior à do ar, daí que um único gerador, no caso da energia das marés, pode proporcionar valores de potência significativos em situações com baixas velocidades de fluxos das marés, quando comparado com a velocidade do vento.

Uma vez que a potência varia com a densidade do meio e com o cubo da velocidade, é fácil perceber que, para sistemas com turbinas com as mesmas dimensões, fluxos de água com velocidades de 1/10 da velocidade do vento fornecem aproximadamente a mesma potência. No entanto, este facto vai limitar a sua aplicação na prática a lugares onde a maré se desloque com velocidades de pelo menos 2 nós (1 m/s).

Tendo em conta que este tipo de geradores é relativamente recente (não existem instalações de produção, à escala comercial, a fornecer energia de forma rotineira), não existe nenhum esquema de sistemas, nem de tecnologias padrão que se tenha assumido como claro vencedor. Existem sim, uma grande variedade de modelos a serem testados, estando alguns destes próximos de uma implementação em larga escala. Diversas empresas têm testado protótipos, fazendo na sequência destes testes declarações fortes e ousadas relativamente aos resultados obtidos. No entanto, alguns destes não foram testados independentemente, nem funcionaram comercialmente por períodos extensos que permitissem identificar as performances e estabelecer as taxas de retorno dos investimentos.

Alínea b) Projectos/Tecnologias em Funcionamento

Relativamente ao aproveitamento da energia potencial das marés, tal como já foi explicado anteriormente, estas têm um funcionamento com o mesmo princípio das centrais hidroeléctricas.

Tal como a maior parte das energias renováveis, a electricidade maremotriz não é constante nem controlável, no entanto, esta apresenta uma grande vantagem pois é facilmente previsível até mesmo a longo prazo.

Abordando o caso clássico de La Rance (Figura 4) bem como alguns protótipos actuais que se consideram relevantes.



Figura 4 – Central de energia das marés de La Rance, França – imagem aérea

A central de energia das marés de La Rance, é a única do seu tipo em todo o mundo. Está localizada no Norte de França, no estuário do rio La Rance. Esta é uma zona em que a amplitude das marés é muito considerável (rever Figura 4) e a isto se deveu a escolha do local.

A obra foi terminada em 1967, com 24 turbinas bolbo, cada uma capaz de produzir 10 MW. A barragem em si tem 750 m de comprimento e 13 m de altura. Foram necessários 25 anos de estudos intensivos e 6 anos de construção até esta central estar pronta.



Figura 5 – Central de energia das marés de La Rance, França – imagem do interior

As turbinas usadas em La Rance são turbinas bolbo, capazes de gerar energia quando a bacia enche e esvazia, na maré-alta e na maré-baixa, respectivamente. As pás das turbinas podem mudar de direcção dependendo do fluxo da corrente. Esta central encontra-se também equipada com sistema de bombagem, o que permite bombear água para a bacia quando o mar o mar está fechado para a bacia, durante a maré alta. Assim, mais electricidade pode ser produzida se houver um aumento esperado da procura para uma dada altura.

Pode dizer-se que esta central é um caso de sucesso. Alguns dos impactos ambientais potencialmente esperados não se verificaram. Por outro lado, a construção da central permitiu a construção de travessia rodoviária entre duas povoações, poupando aos seus habitantes 18 km de percurso. Além disso, a central de La Rance aumentou drasticamente o turismo na zona, dadas as suas características únicas, atraindo cerca de 300 000 turistas por ano.

Apesar do elevado custo inicial, o grande óbice de uma central deste tipo, que se situou nos 617 milhões de francos, o que actualmente equivaleria a cerca de 80 milhões de euros, La Rance mantém-se firmemente a funcionar há cerca de 40 anos, gerando electricidade suficiente para alimentar cerca de 300 000 lares, sem impactos ambientais de relevo.

O princípio de funcionamento de La Rance é o mais geral no que diz respeito a produzir electricidade a partir das marés. Designa-se como sistema de geração *ebb* e faz uso de uma barragem, ao longo de um estuário, com comportas que permitem a entrada e saída da água, consoante a maré.

O funcionamento é da seguinte forma: as comportas permanecem abertas para permitir a entrada da água na bacia durante a maré-alta e são fechadas depois para impedir a saída da água quando a maré está a baixar, forçando a água a sair pelas turbinas para, assim, se gerar electricidade (Figura 6 e 7).

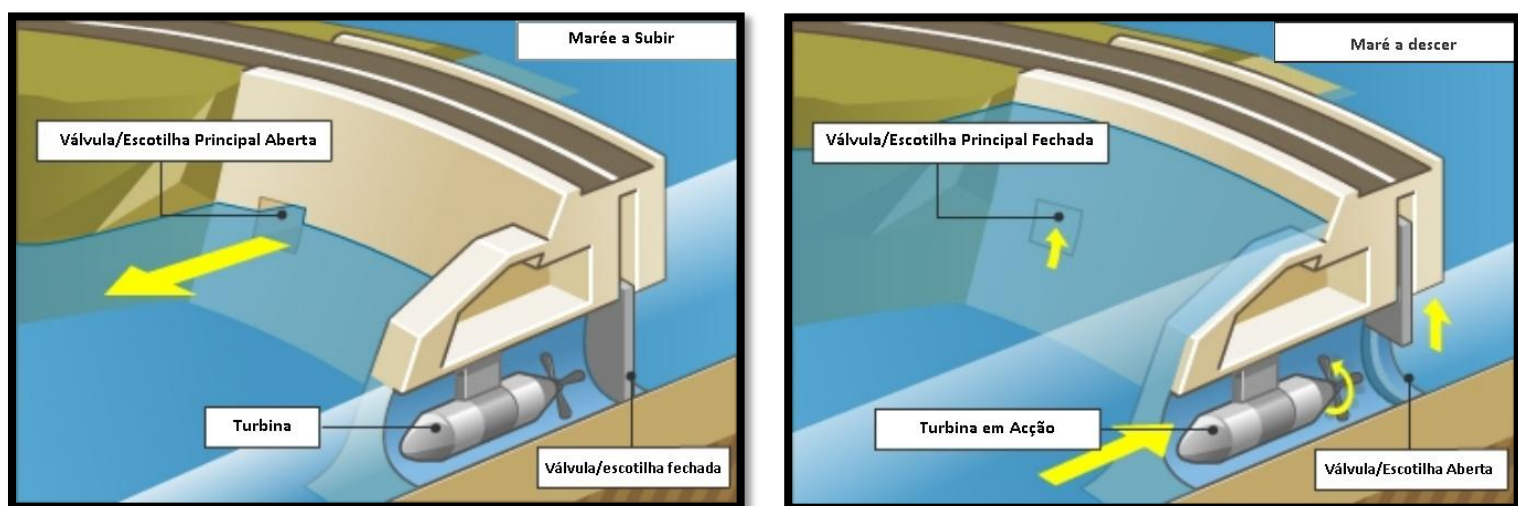


Figura 6 – Princípio de funcionamento de uma central de energia das marés (barragem)

Tal como se pode observar na figura acima, quando a maré sobe, a escotilha da principal da barragem está aberta permitindo a passagem a água do mar de forma a encher o reservatório. Logo que a maré desce a barragem é fechada. A água assim retida permitirá alimentar as turbinas na maré vasa.

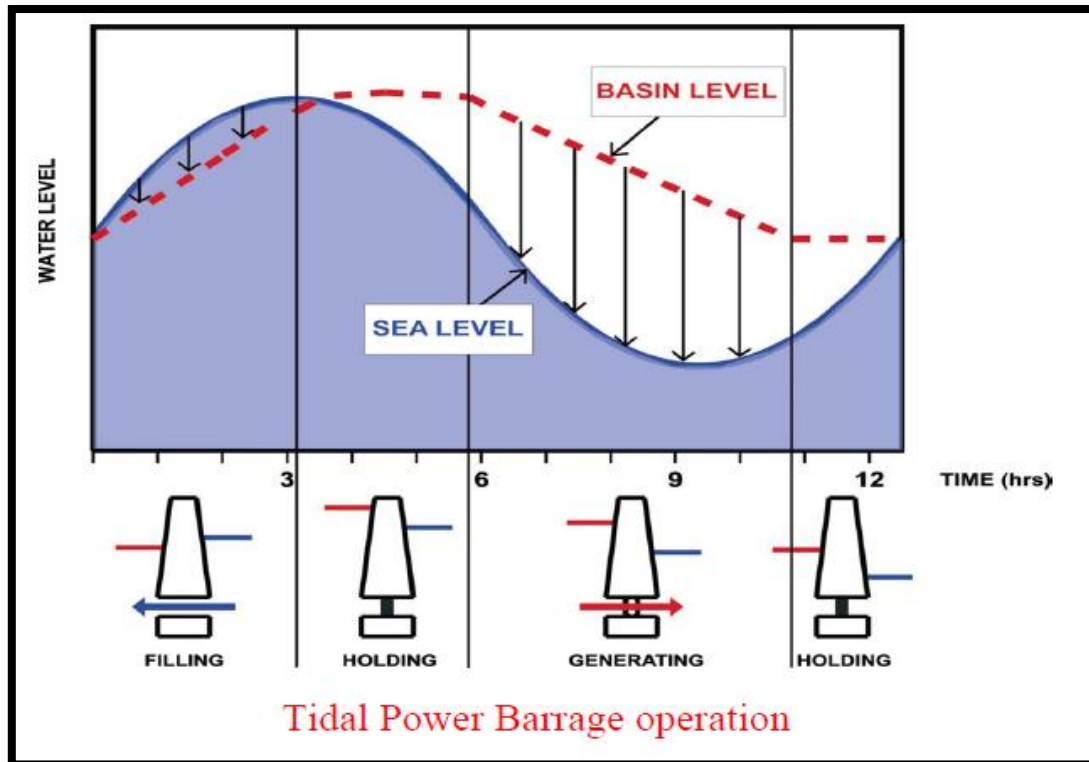


Figura 7 – Princípio de funcionamento de uma central de energia das marés (barragem)

Este é um sistema de apenas um sentido. É, também, possível implementar sistemas de aproveitamento da energia das marés com dois sentidos (Figura 8) que compensem a intermitência característica da energia das marés, como se verá adiante.

Ora, este carácter intermitente na produção de electricidade patente na energia das marés é a sua principal barreira tecnológica e um desafio a superar por futuras implementações.

O máximo de energia pode ser extraído das marés esperando até que a diferença entre o nível das águas na bacia e o nível das águas no oceano seja também máxima, e então depois permitir o movimento da água pelas turbinas. Assim, produz-se grandes picos de energia (intermitência) e é necessário estar ligado a uma rede de grandes dimensões que a absorva sem constrangimentos.

Uma forma de obter uma produção mais uniforme consiste em efectuar bombagem para a bacia, usando este volume de água adicional para fazer operar as turbinas por períodos de tempo mais longos. Aqui, há que ter em conta a capacidade da bacia.

Outro método usado para produzir energia a partir das marés de forma mais constante é usar o já referido sistema de geração nos dois sentidos (Figura 8 e 9), isto é, um sistema que seja capaz de gerar electricidade quando a água entra na bacia e também quando sai da bacia, respectivamente, quando a maré está a subir e quando está a descer.

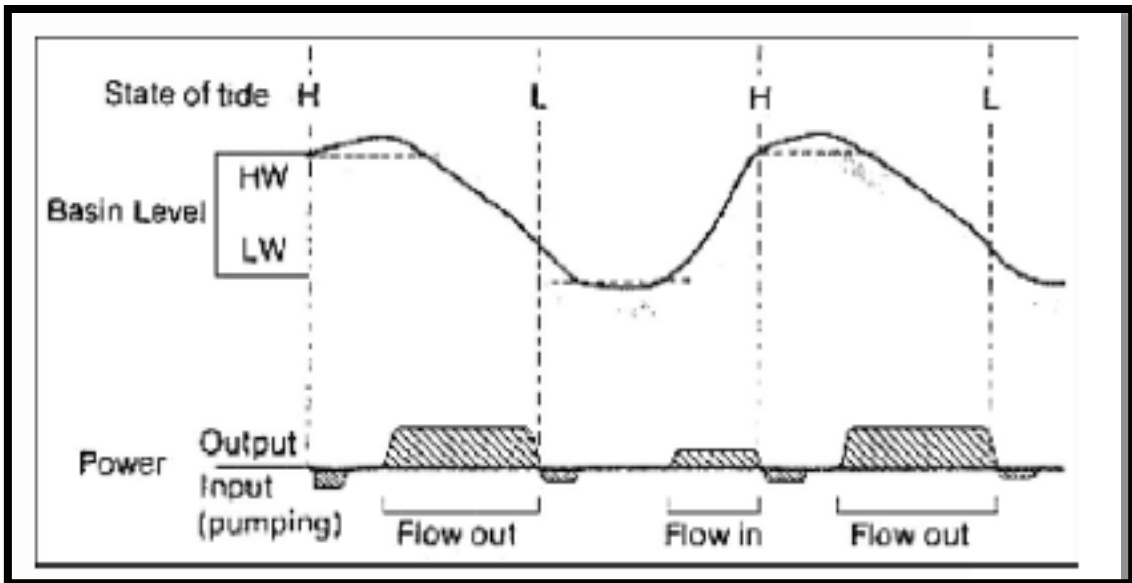


Figura 8 – Produção de uma central de energia das marés com geração nos dois sentidos e bombagem

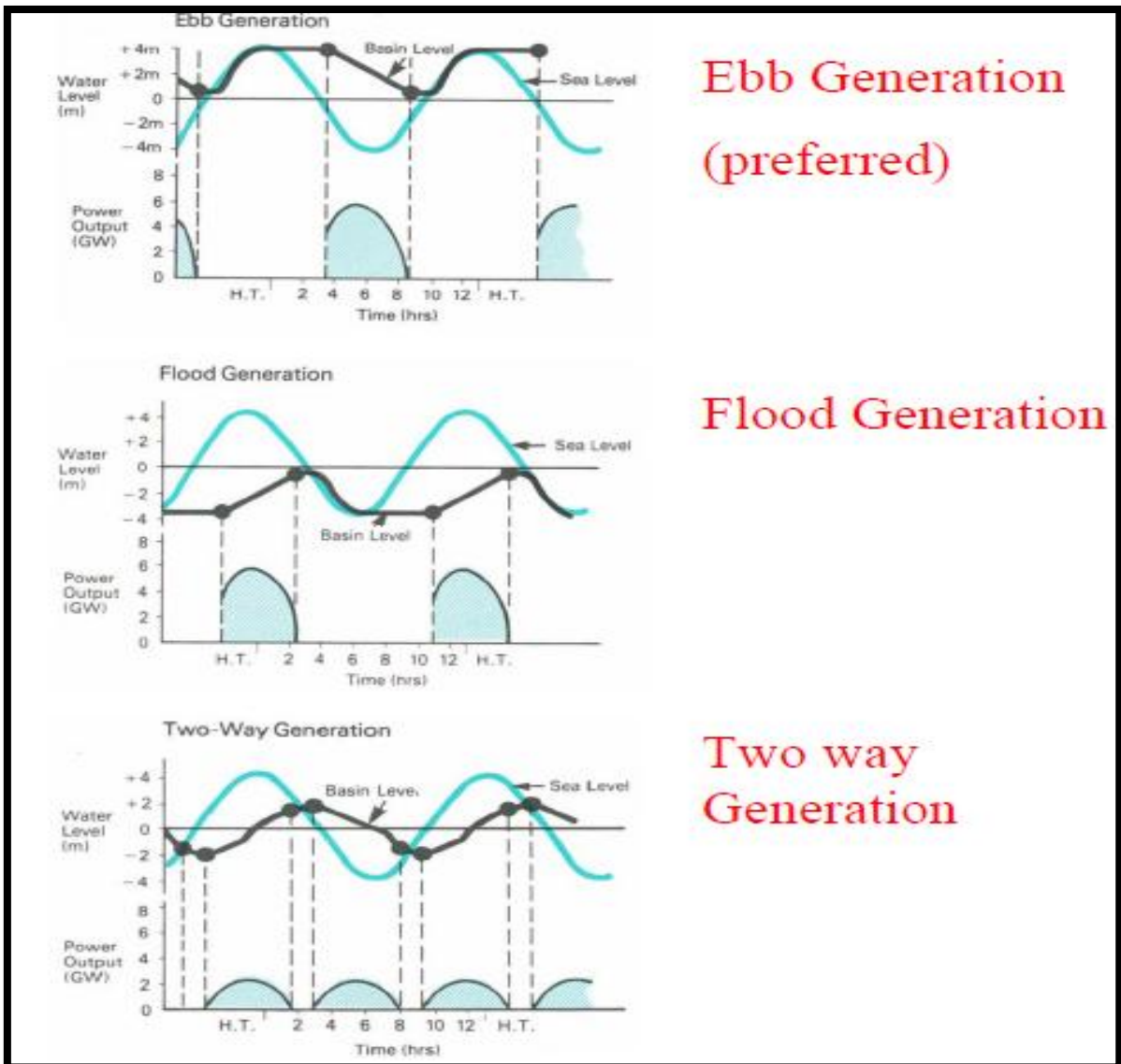


Figura 9 – Comparação de modos de geração de uma central de energia das marés (barragem)

A única forma de obter uma produção totalmente contínua seria recorrendo a uma central com duas bacias (Figura 10). Uma bacia seria enchida até ao seu nível máximo a cada maré-alta e a outra seria esvaziada a cada maré-baixa. As turbinas colocam-se entre as duas bacias gerando assim electricidade continuamente. Contudo, apesar disto, continuariam a existir variações diárias e mensais na produção.

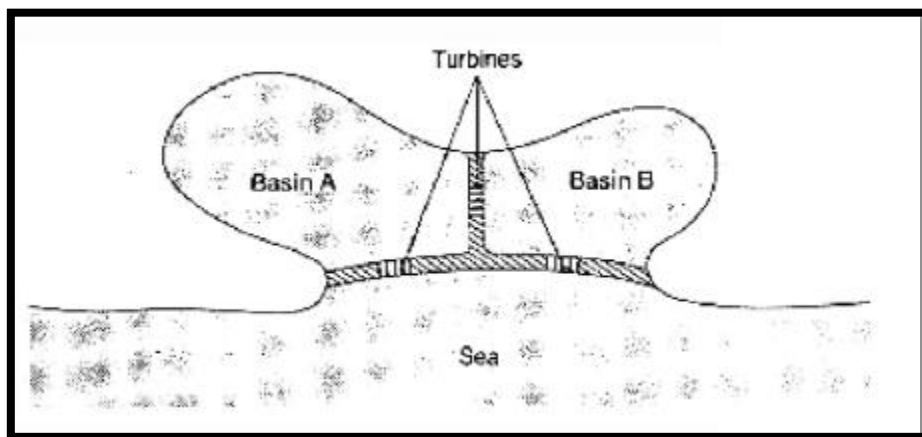


Figura 10 – Esquema de uma central de energia das marés com duas bacias

Actualmente, a nível global, existem mais algumas centrais de energia das marés em operação. Contudo, diga-se que nenhuma delas é de escala comparável à central francesa de La Rance.

Existe uma central de 16 MW em Annapolis Royal, Nova Scotia, no Canadá, na Baía de Fundy, que alimenta cerca de 4500 lares.

Outras centrais localizam-se em Kislaya Bay, na Rússia (0.4MW) e em Jiangxia, na China (3.2MW).

Outra hipótese que está a ser encarada no âmbito da energia das marés trata-se de recorrer a lagoas artificiais. A sociedade britânica *Tidal Lagoon* propõe-se criar diversas aberturas para o mar (canais), criando dessa forma lagoas artificiais cujo nível da água responderá ao sistema marítimo de marés, permitindo assim a obtenção de energia eléctrica de forma análoga ao que é feito em La Rance. Com as vantagens de não existir interferência no estuário do rio, bem como a possibilidade de aproveitar as lagoas criadas para fins turísticos e de lazer.

Esta sociedade gere, actualmente, um projecto deste tipo na China, na província de Liaoning, cuja potência, segundo fontes da mesma, será superior à central de La Rance.

No que diz respeito as centrais que aproveitam **energia cinética** das marés, como já foi referido e explicado antes, estas exploram a energia cinética das massas de água movimentadas pelas correntes marítimas (*tidal current energy*). O aproveitamento desta energia é ainda uma tecnologia em estado embrionário. Contudo, existem já desenvolvimentos recentes que permitem pensar em aplicações comerciais num futuro próximo. Presentemente, a maioria destes protótipos estão instalados no continente europeu e baseiam-se em turbinas de eixo horizontal ou vertical. Podemos ver como é aproveitada esta energia na figura seguinte:

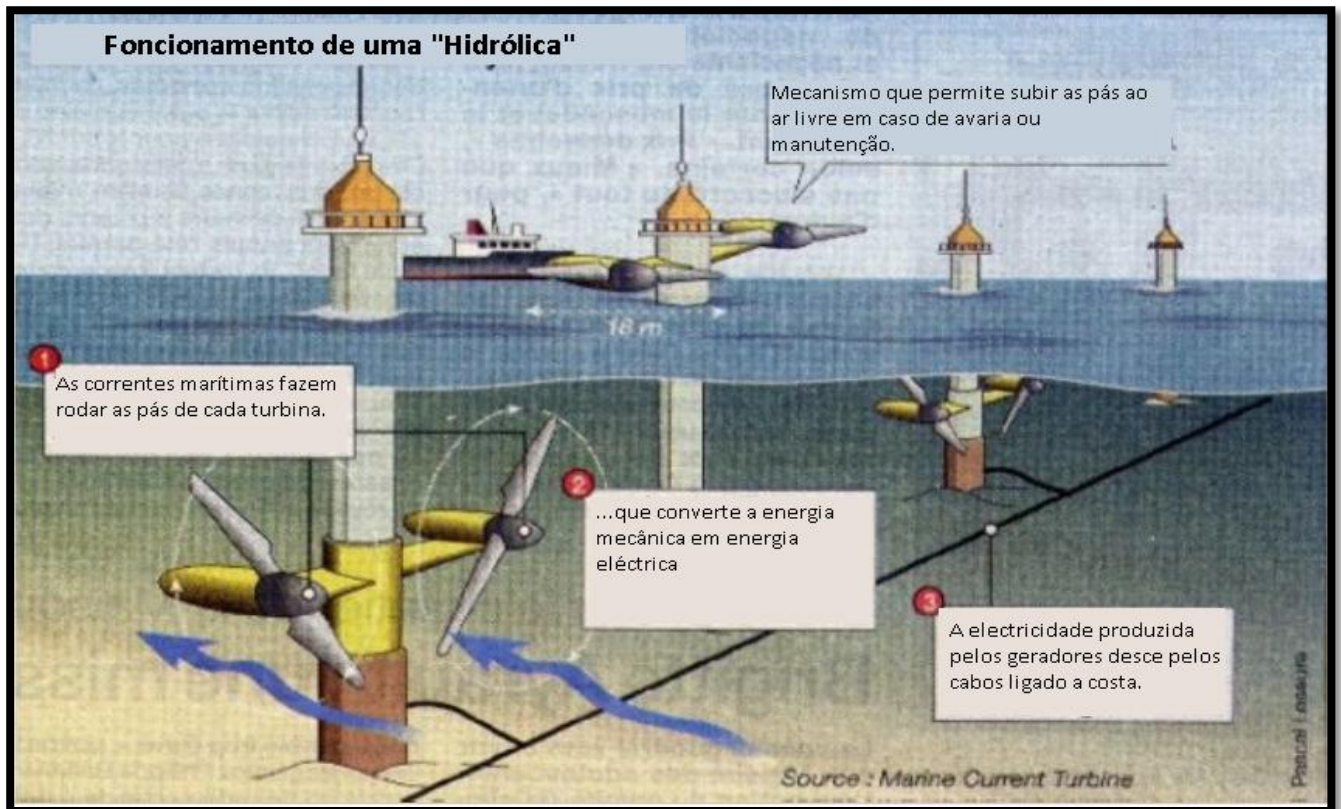


Figura 11 – Funcionamento de uma central de aproveitamento da energia cinética das marés.

Na figura acima, podemos observar o funcionamento de uma “Hidráulica”, tecnologia recente, aliás um projecto da “Marine Current Turbines Ltd”. Este tipo de instalação pode ser assimilado a uma eólica submarina e como no caso das eólicas a potência fornecida por uma corrente que atravessa um m^2 da superfície do rotor é dada pela seguinte expressão:

$$P = \Omega \times \eta \times \rho \times V^3$$

P: Potência em m^2 , V: Velocidade da água em m/s, η : Rendimento hidráulico do rotor, ρ : massa volúmica da água do mar

Verifica-se que a produção aumenta rapidamente com a velocidade das correntes, o que mostra ser interessante economicamente equipar os locais privilegiados por correntes fortes. Tendo em conta o rendimento do rotor, a potência obtida é da ordem de $1,2 \text{ kW/m}^2$ para uma corrente de 2 m/s e de 4 kW/m^2 para uma corrente de 3 m/s .

Seaflow



Figura 12 - Protótipo de uma "Hidráulica" de 300 kW (Project Marine Current Turbines Ltd)

Este dispositivo é desenvolvido pela *Marine Current Turbines Ltd* (<http://www.marineturbines.com>).

Consiste num rotor de eixo horizontal montado num pilar metálico assente no solo oceânico.

Começou a ser desenvolvido em 1999 e os testes em mar alto incluíram uma unidade de 15 kW com um rotor de 3.5 m de diâmetro.

Em 2003, foi instalado com sucesso um protótipo a 1 Km ao largo de Foreland Point, perto de Devon, no Reino Unido, a uma profundidade de 30 m. Este protótipo possui um rotor de 15 m de diâmetro e pode gerar 300kW com uma velocidade de corrente de 2.7m/s. Uma patente importante desta tecnologia é que o rotor pode ser trazido à superfície para manutenção mais simples

Entretanto, o SeaFlow encontra-se em operação há 3 anos, confirmando assim a viabilidade da tecnologia, tendo sido efectuados estudos de impacto ambiental, relativamente ao ruído submarino e outros.

Em 2006, a companhia recebeu permissão para instalar um dispositivo com um rotor duplo, capaz de produzir 1 MW, em Strangford Lough, na costa da Irlanda do Norte, cujo intuito será confirmar o potencial comercial desta tecnologia. Este protótipo estará ligado à rede e funcionará com a corrente nas duas direcções.

Actualmente, encontra-se em estudo por parte desta companhia a construção de um parque de energia das correntes marítimas com 12 unidades SeaFlow, num total de 10 MW, ao largo de Foreland Point, no norte da costa de Devon.

Kobold



Figura 13 – Protótipo *Kobold* – tidal stream energy

Este dispositivo é desenvolvido pela *Ponte di Archimede SpA* (<http://www.pontediarchimede.com>), consistindo numa turbina de eixo vertical que aproveita a corrente marítima.

O seu desenvolvimento começou em 1995.

O protótipo contém um rotor de eixo vertical ligado a um gerador síncrono que se trata de uma patente da empresa. Uma característica importante do *Kobold* é que a direcção de rotação do rotor é independente da direcção da corrente.

Em 2002 uma unidade deste protótipo foi instalada no estreito de Messina, ao largo de Itália, a 150/200 m da costa e continua desde então em operação e ligado à rede. Os testes indicam que a turbina produz 25kW com uma velocidade da corrente de 1.8 m/s.

O aparelho é equipado com painéis fotovoltaicos também.



Figura 14 – Protótipo *Tocado* - tidal stream energy

Este dispositivo é desenvolvido pela Teamwork Technology (<http://www.teamwork.nl>) e consiste numa turbina de eixo horizontal que aproveita a corrente marítima. Foi estudada para ser instalada nas comportas das diversas barragens que existem, nos Países Baixos, para conter o mar.

O rotor deste protótipo tem 2.8 m de diâmetro e possui velocidade variável.

Uma primeira unidade foi testada na Holanda em 2006, com uma velocidade de corrente marítima de 4.5 m/s, produzindo 35 kW, sendo que durante o período de demonstração foi fornecida electricidade à rede.

As primeiras aplicações comerciais estão a ser implantadas em várias das barragens existentes na Holanda que, combinadas, terão uma capacidade instalada prevista de 100 a 200 MW.

Na França encontram-se em paralelo dois projectos a serem desenvolvidos, um pela “Hydrohélix Energies et Sofresid Engineering” em volta de turbinas de eixo horizontal e outro pelo “Institut National Polytechnique de Grenoble” chamado projecto “HARVEST” em volta de turbina de eixo vertical do tipo Darrieus, este último simplifica a resolução do problema mecânico ligado a inversão do fluxo visto que estes são sensíveis a direcção da corrente.

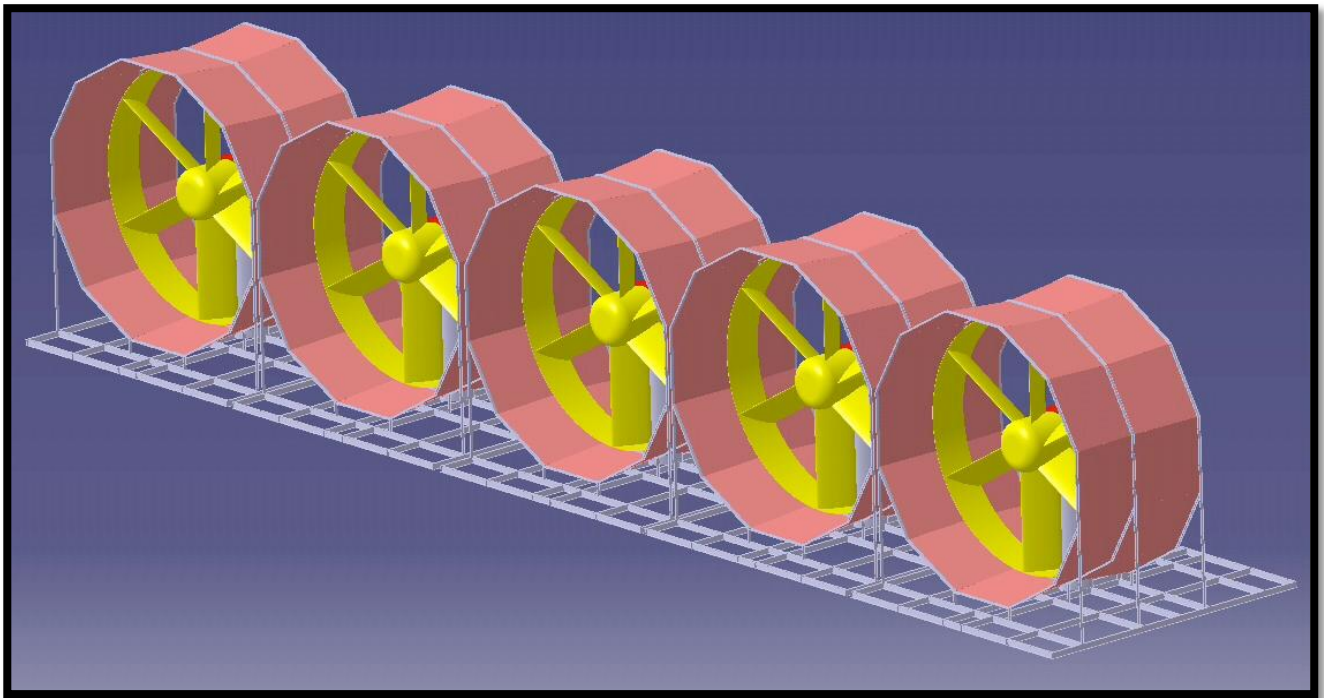


Figura 15 - Projecto desenvolvido pela "Hydrohélix Energies et Sofresid Engineering"

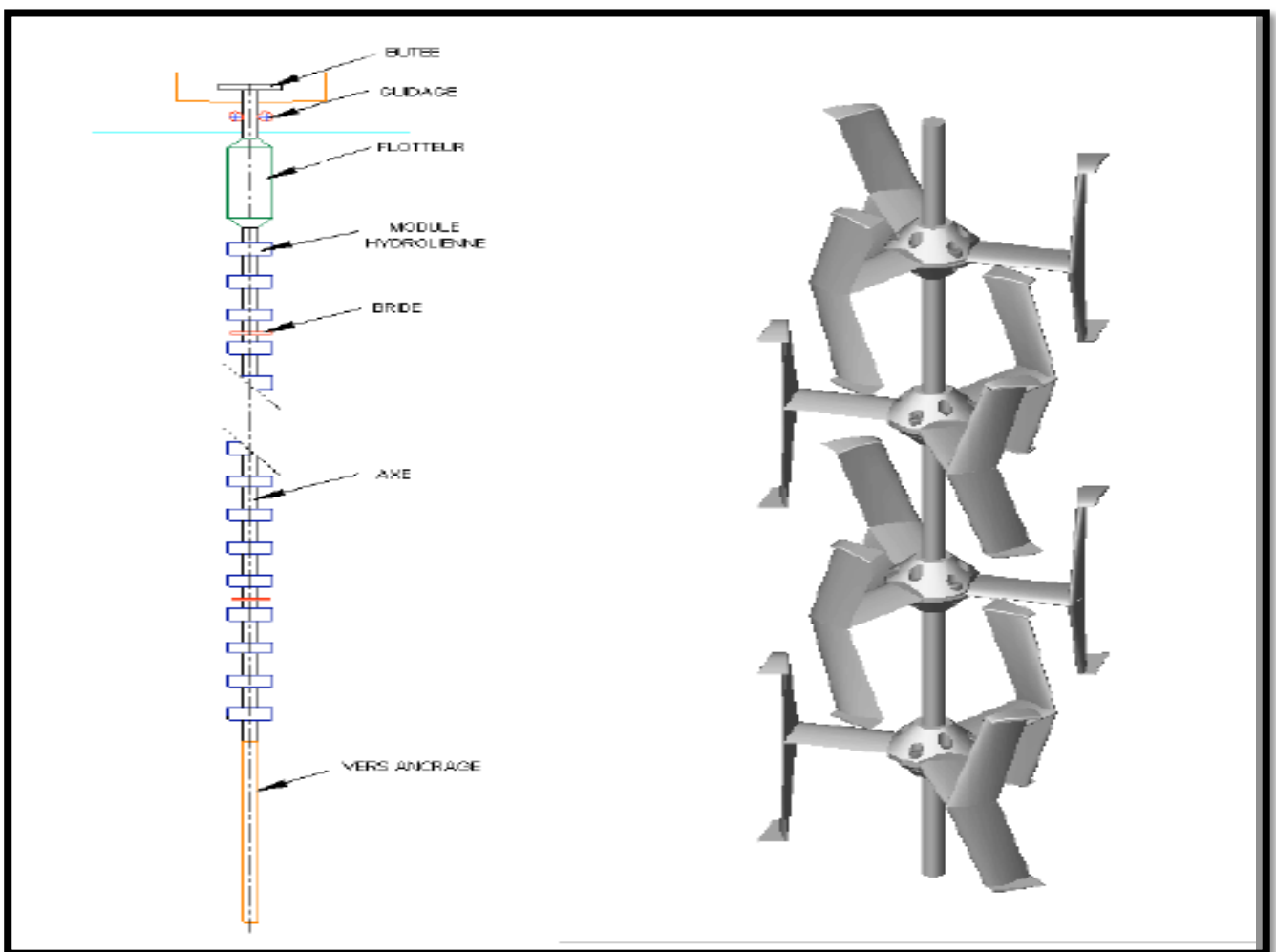


Figura 16 - Projecto "HARVEST"

Destacam-se aqui algumas tecnologias e projectos a nível mundial:

- A RWE npower's estabeleceu uma parceria com a Marine Current Turbines para construir uma exploração de turbinas Seagen ao largo da costa de Anglesey no País de Gales.
- Em Novembro de 2007, a British Energy anunciou que a empresa Lunar, em conjunto com a E. ON, iriam construir a primeira exploração da energia das marés, do mundo, ao largo da costa da Pembrokeshire no País de Gales. Esta seria a primeira exploração do mundo em mar profundo, e iria fornecer electricidade para aproximadamente 5000 casas. Seria constituído por oito turbinas subaquáticas, cada uma de 25 metros de comprimento e 15 metros de altura, que estão a ser instalados no fundo do mar ao largo da Península St David. A construção estava prevista para começar no verão de 2008 e deveria estar operacional até 2010. Foi descrito e apresentado como “o primeiro parque eólico no fundo do mar”.
- A British Columbia Tidal Energy Corp. tem planos para implementar pelo menos três turbinas de 1,2 MW no rio Campbell ou na costa que rodeia British Columbia em 2009.
- A Nova Scotia Power seleccionou a turbina OpenHydro para um projecto de demonstração de energia das marés na baía Fundy, Nova Scotia, Canada e a Alderney Renewable Energy Ltd para o fornecimento de turbinas de marés para as ilhas Channel.

Vários estudos chegaram a conclusão que o potencial europeu estimado neste tipo de energia corresponde a 12,5 GW, ou seja, poderia ser produzido 48 TWh/ano.

Tal como a energia potencia das marés, a energia cinética também é variável e incontroável no entanto a velocidade e os horários das correntes dependem do ciclo lunar que são facilmente previsíveis pelo que se torna interessante este tipo de energia para o preenchimento da base do diagrama de cargas.

Alínea c) Preço de Produção

O **Custo de Produção** das centrais que aproveitam a energia potencial, dependendo do tamanho da central, do lugar, da mão-de-obra, está entre os **0,06 a 0,20 €/kWh**.

Por exemplo, a única central de energia das marés a funcionar em todo o mundo que vende energia para a rede é, como já referido, a central de La Rance, em França, propriedade da EDF. Segundo afirma Jean-Michel Darrouffe, da agência do ambiente e da energia francesa: “...o preço do kWh desta central é de 15 a 20 cêntimos contra, por exemplo, os 30 cêntimos do kWh da energia nuclear francesa”. Assim, pode ter-se uma ideia de como a aposta nesta energia poderá ser viável, tendo apenas como principal obstáculo o tempo de amortização do investimento na central (saliente-se, novamente, o caso francês).

O **Custo de Produção** das centrais que aproveitam a energia cinética, pode variar muito nos próximos anos visto ser uma tecnologia em desenvolvimento, no entanto neste momento o está compreendido entre os **0,03 a 0,09 €/kWh**.

Alínea d) Principais Desafios

Existe um potencial energético reconhecido associado à energia das marés. Será, então, de estranhar o facto de as tecnologias de conversão de energia das marés estarem ainda tão atrasadas, a nível da sua comercialização, quando comparadas com outras energias renováveis, como a eólica ou, até, a energia das ondas.

A explicação para tal deve-se à existência de algumas barreiras ao desenvolvimento desta tecnologia, sendo estas de diversas ordens: técnicas, conflitos de interesses, administrativas e legais, financeiras.

Ultrapassar estas barreiras e constituir-se como uma verdadeira alternativa comercial no âmbito das energias renováveis é, sem dúvida, o principal desafio desta conversão de energia.

As barreiras técnicas relacionam-se com características inerentes ao próprio recurso energético: irregularidade/intermitência da produção, sendo um importante desígnio a tentativa de a maximizar recorrendo a métodos tais como centrais de energia das marés com bacia única e bombagem ou com duas bacias, tal como abordado anteriormente. Tudo isto traduz-se numa meta que consiste em produzir energia continuamente a partir de algo discreto como as marés.

Refira-se que os desafios tecnológicos são ultrapassáveis, sendo que a questão mais relevante prende-se com o custo associado a novas soluções, que deverá ser tal que permita depois um preço do kWh da energia das marés compatível com o mercado de electricidade actual, embora estes custos associados à exploração/produção da energia das marés não é muito elevado. No entanto, os custos associados ao investimento são muito elevados, contribuindo assim para um desencorajar face a esta alternativa. Constituiria assim um desafio, encontrar meios de tornar estes investimentos iniciais mais acessíveis, tornando assim esta forma de energia mais apelativa.

Existe outro tipo de barreiras, nomeadamente, devido a conflitos de interesses com outras áreas de actividade, uma vez que as zonas de implementação destas tecnologias podem ter outros usos (zonas de pesca, de extracção de materiais, de recreio e lazer, que intersectem rotas marítimas importantes, na proximidade de portos marítimos, entre outras).

Relativamente às barreiras ao desenvolvimento da energia das marés que também implicam um desafio no desenvolvimento desta tecnologia: as de índole administrativa prendem-se com questões relacionadas com o licenciamento, uma vez que é uma forma de energia ainda não explorada a nível comercial no nosso país; as de ordem legal relacionar-se-ão com o acesso à rede eléctrica, restrições no fornecimento de energia e, talvez a mais importante, a elaboração de um tarifário de compra de electricidade atractivo para ambas as partes.

Por fim, os desafios na área financeira estão associados, para além da tarifa de venda da electricidade, à dificuldade de encontrar estratégias de apoio a projectos deste tipo, fundos

ou empréstimos especiais para tecnologia, sendo que a grande aposta deverá ser na angariação do interesse do sector privado com conveniente subsidiação do estado.

Contudo, tendo em conta o estado embrionário desta tecnologia a nível, não só nacional, mas global (recorde-se que só existe uma central em funcionamento com fins comerciais), pode dizer-se que as perspectivas para o futuro são muito animadoras, desde que sejam criados mecanismos para ultrapassar as referidas dificuldades.

Outro aspecto importante, tendo em conta o potencial desta forma alternativa de energia, é do interesse global que se encontrasse formas de ultrapassar os efeitos ambientais negativos associados à exploração da energia das marés. Assim os principais desafios consistem em encontrar formas de explorar esta energia sem interferir com o sistema Terra-Lua e Terra-Sol e como tal, não contribuindo para o desacelerar da rotação do eixo terrestre.

Alínea e)

O cálculo da energia foi feito por vários processos permitindo assim averiguar a se os resultados obtidos são de facto coerentes com a realidade.

Processo 1

Neste processo, utilizaram-se os dados da Central de La Rance, na França, como referência. De seguida estabeleceu-se uma relação potência/produção anual desta central. De seguida aplicou-se a relação obtida para o nosso caso. Desta forma, com base em dados reais, foi possível obter e estimar a ordem de grandeza da produção da central em estudo.

Dados

Central de La Rance: Potência = 240 MW, Produção ≈ 500 GWh anual

A Energia produzida pela central em estudo é então dada por:

$$E_{\text{anual_central_estudo}} = \frac{E_{\text{central_ref}}}{P_{\text{central_ref}}} \times P_{\text{central_estudo}} = \frac{500 \text{ GWh}}{240 \text{ MW}} \times 6 \text{ MW}$$

$$E_{\text{anual_central_estudo}} = 12,5 \text{ GWh}$$

Processo 2

Neste Processo, através da potência da Turbina, determinou-se a energia anual máxima que se consegue obter, de seguida, multiplicou-se esta energia pelo rendimento típico de uma central hídrica visto que este tipo de central tem um funcionamento relativamente parecido. Também foi multiplicado por um factor tempo útil, isto é o tempo de funcionamento da central, admitindo um valor de 50%, isto é, tendo em conta que a central está metade do tempo a encher o reservatório e a outra metade do tempo a turbinar. Este é portanto um valor optimista. A energia produzida é dada então pela seguinte expressão:

$$E_{\text{anual_central_estudo}} = E_{\text{máxima_anual}} \times \eta_{\text{hídrica}} \times f_{\text{tempo_útil}}$$

A energia máxima anual é dada por:

$$E_{\text{anual_central_estudo}} = P_{\text{central_estudo}} \times 365 \times 24$$

$$E_{\text{anual_central_estudo}} = 6 \text{ MW} \times 365 \times 24 = 52560 \text{ MWh anual}$$

O rendimento da central pode ser entendido por:

$$\eta_{\text{central}} = \eta_{\text{hídrica}} \times f_{\text{tempo_útil}}$$

$$\eta_{\text{central}} = 60\% \times 50\% = 35\%$$

Obtém-se assim:

$$E_{\text{anual_central_estudo}} = 52560 \text{ MWh} \times 35\% = 18396 \text{ MWh}$$

$$E_{\text{anual_central_estudo}} = 18,396 \text{ GWh}$$

Processo 3

Neste processo, foi calculado a energia ciclomaré, depois calculou-se o número de ciclomaré num ano, multiplicando a energia pelo número de ciclomaré num ano obtendo-se assim a energia anual da nossa central que será necessário multiplicar pelo rendimento associado, para este processo considerou-se 35% proveniente do processo anterior. No entanto, foi necessário efectuar cálculos intermédios com algumas aproximações, neste caso, utilizou-se como referência, o fluxo de água turbinada.

A energia ciclomaré é dada por:

$$E_{ciclomaré} = \frac{\rho g V R}{3600} = \frac{1040 \times 9,81 \times 4464000 \times 5}{3600} (Wh)$$

$$E_{ciclomaré} = 63,255 MWh$$

$$P = 1040 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$R = \text{Média da Variação de Altura entre marés} = 5 \text{ m}$$

O Volume foi obtido através da seguinte expressão:

$$V = \text{Caudal} \times \Delta T = 200 \times 22320 = 4464000 \text{ m}^3$$

Caudal – Fluxo de água turbinada = 200 m³/s

$\Delta T = 6h12 = 6 \times 3600 + 12 \times 60 = 22320 \text{ s}$, este tempo corresponde a diferença da maré alta para a maré baixa

O número de ciclomaré por ano é obtido por:

$$N_{ciclomaré} = 365 \times 2 = 730$$

A energia Total produzida pela central é então dada pela seguinte expressão:

$$E_{total} = E_{ciclomaré} \times N_{ciclomaré} \times \eta_{central}$$

$$E_{total} = 63,255 \times 730 \times 35\% = 16162 MWh$$

$$E_{total} = 16,162 GWh$$

Análise dos resultados pelos 3 processos

O cálculo da Energia dum central deste tipo é extremamente complexo, no entanto através de vários processos é possível determinar uma ordem de grandeza da energia produzida por este tipo de central tendo em conta as características dessa mesma.

Tal como se pode observar, os resultados obtidos pelos 3 processos estão na mesma ordem de grandeza, pelo que podemos afirmar com elevado grau de confiança que a energia produzida pela central encontra-se entre os [12,5 ; 18,4] GWh.

Conclusões e Considerações

Como foi referido o movimento das marés provocou, por si só, desde a formação da terra uma diminuição da sua velocidade de rotação (nos últimos 620 milhões de anos, o período de rotação passou de 21.9 horas para 24 horas). No entanto, com a utilização deste tipo de energia, verificou-se um agravamento desta desaceleração. É fundamental encontrar um ponto de equilíbrio entre as necessidades de produção de energia de forma “limpa” e renovável e os efeitos associados aos impactos ambientais nefastos deste tipo de aproveitamentos.

É necessário encontrar equipamentos e formas de instalação que reduzam os custos iniciais desta forma de energia de modo a torna-la mais apetecível ao investimento.

Tal como para as diversas formas de energias “limpas” é fundamental o investimento feito nestas. Tendo em conta que a quantidade de combustíveis fósseis decrescia a um ritmo elevado e que os efeitos da sua utilização em termos ambientais são desastrosos foi necessário identificar formas alternativas de satisfazer os consumos da população. Relativamente a esta forma de energia, maremotriz, procuramos explicar ao longo do trabalho de que forma é que ela é produzida, quais os principais benefícios e também quais os problemas associados á sua utilização. É preciso investir, desenvolver novos projectos de modo a aproveitar todo o potencial desta energia sem que isso ponha em causa a segurança e harmonia do planeta.