



# **APROVEITAMENTO DA ENERGIA DOS OCEANOS PARA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE**

**Rodrigo Limp Nascimento**  
Consultor Legislativo da Área XII  
Recursos Minerais, Hídricos e Energéticos

**ESTUDO TÉCNICO**

**MARÇO/2017**



© 2017 Câmara dos Deputados.

Todos os direitos reservados. Este trabalho poderá ser reproduzido ou transmitido na íntegra, desde que citados(as) o(a) autor(a). São vedadas a venda, a reprodução parcial e a tradução, sem autorização prévia por escrito da Câmara dos Deputados.

Este trabalho é de inteira responsabilidade de seu(sua) autor(a), não representando necessariamente a opinião da Consultoria Legislativa, caracterizando-se, nos termos do art. 13, parágrafo único da Resolução nº 48, de 1993, como produção de cunho pessoal de consultor(a).

## **SUMÁRIO**

1. INTRODUÇÃO.....	4
2. ENERGIAS OCEÂNICAS .....	4
3. O APROVEITAMENTO DA ENERGIA DOS OCEANOS NO MUNDO .....	6
4. ENERGIAS OCEÂNICAS NO BRASIL .....	12
5. PROPOSTAS PARA O APROVEITAMENTOS DAS ENERGIAS OCEÂNICAS NO BRASIL.....	15
6. CONCLUSÕES.....	17
REFERÊNCIAS .....	19

## **1. INTRODUÇÃO**

---

Nas últimas décadas, cresceu no mundo a busca por fontes de energia renováveis, tanto pelo risco de diminuição das reservas de combustíveis fósseis como pela crescente preocupação com as mudanças climáticas.

Entre as fontes de energia consideradas “verdes”, a energia dos oceanos é uma das possibilidades recentemente desenvolvidas, existindo, entretanto, ainda poucos projetos implantados.

Nesse sentido, o presente estudo apresentará a utilização da energia maremotriz para geração de energia elétrica, analisando as formas de geração e exemplos de sua aplicação. Por fim, serão discutidas propostas que possam incentivar o uso da fonte no Brasil.

## **2. ENERGIAS OCEÂNICAS**

---

As energias oceânicas podem ser exploradas de diferentes formas, conforme apresentado por SAVEDRA (2016), sendo as principais por meio das marés e das ondas.

As marés podem ser aproveitadas para a geração de eletricidade de duas formas: pela transformação da energia cinética das correntes de maré e pela transformação da energia potencial em usinas semelhantes às hidrelétricas convencionais, sendo a segunda forma a mais consolidada.

Segundo MME (2007), as marés são resultado da combinação de forças produzidas pela atração do Sol e da Lua e pelo movimento de rotação da Terra, os quais levam à subida e descida da água dos oceanos e mares. Associado à subida e descida das marés, o movimento vertical da água dos oceanos é acompanhado por um movimento horizontal, denominado corrente de maré. As correntes de maré possuem periodicidade idêntica à das oscilações verticais.

Algumas características geográficas terrestres, como bacias hidrográficas e baías, estreitos e canais, provocam restrições a esses movimentos periódicos, o que pode resultar em elevadas amplitudes ou elevadas velocidades da corrente de maré.

A geração de energia elétrica a partir das correntes de marés emprega turbinas similares àquelas usadas na geração eólica, como apresentado na Figura 1.

Também existem outras tecnologias, como as turbinas de eixo vertical (Kobold e Gorlov, por exemplo) e geradores, como o Stingray, que são objetos de pesquisa.

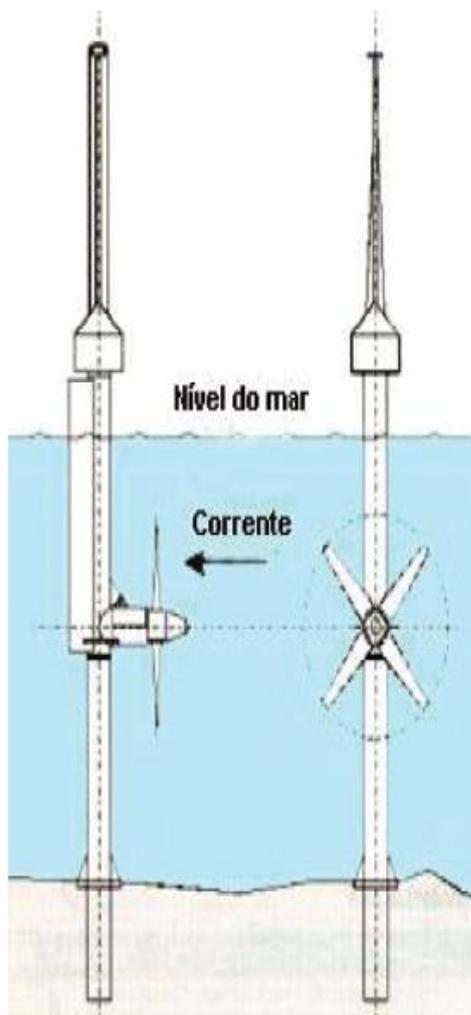


Figura 1 – Turbinas de aproveitamento de energia das correntes marinhas.  
Fonte: MME (2007).

Já o aproveitamento da energia potencial das marés é feito, conforme MME (2007), por meio de um reservatório formado junto ao mar, com a construção de uma barragem contendo uma turbina e um gerador. O aproveitamento pode ser realizado nos dois sentidos. Na maré alta, a água enche o reservatório, passando através da turbina e produzindo energia elétrica. Na maré baixa, quando a água

esvazia o reservatório, passando novamente através da turbina, agora em sentido contrário ao do enchimento, e produzindo energia elétrica. Essas usinas são classificadas como de ciclo único, quando operam apenas durante o enchimento ou esvaziamento do reservatório, ou de ciclo duplo, quando operam nos dois sentidos.

Uma das grandes vantagens da energia maremotriz é a sua previsibilidade, o que permite saber exatamente a disponibilidade da energia. No entanto, devido à sua natureza de variação periódica, a energia de variação de maré possui, de acordo com FLEMING (2012), um fator de capacidade<sup>1</sup> entre 22 e 35%.

Quanto a aspectos socioambientais do aproveitamento da energia maremotriz, conforme alerta TAVARES (2005), tal aproveitamento pode gerar impactos adversos, modificando os ecossistemas marinhos. O impacto ocorre em razão da mudança no regime e no alcance das marés, bem como pela criação de barreiras físicas pela construção das barragens. A exploração da energia maremotriz também pode trazer impactos econômicos negativos para a região, pois afeta estuários que podem ser de grande importância para a economia local, principalmente para atividades de pesca.

Com relação à energia das ondas, a sua conversão em eletricidade ainda está em fase pré-comercial. Ela ocorre por meio de um conceito chamado “coluna oscilante de água”, que modifica a pressão do ar dentro de uma câmara, acionando a turbina para produção de eletricidade.

### **3. O APROVEITAMENTO DA ENERGIA DOS OCEANOS NO MUNDO**

---

Embora a avaliação dos recursos de energia dos oceanos ainda esteja em estágio preliminar, como destacado por FLEMING (2012), o potencial teórico já identificado dos oceanos excede as necessidades humanas de energia.

No caso das barragens de maré, principal forma atual de geração de eletricidade a partir dos oceanos, a energia vem da diferença de altura entre a coluna d’água dentro e fora da barragem. O potencial de energia de variação de altura de

---

<sup>1</sup> Proporção entre a produção efetiva de energia e a capacidade total.

maré global é estimado em cerca de 3 TW, com aproximadamente 1 TW disponível em águas relativamente rasas, de acordo com CHARLIER (2003b).

Existe uma abordagem que limita o aproveitamento da energia de variação de altura de maré a áreas com variação de maré superiores a 5 metros, conforme destacado por FLEMING (2012). Essa variação mínima reduz o número de regiões nas quais a energia de variação da altura de maré poderia ser aproveitada, como mostra a Figura 2. No Brasil, os maiores potenciais são observados principalmente no Amapá e no Maranhão.



Figura 2 – Locais com altura de maré superior a 5 metros.  
Fonte: FLEMING (2012).

Com relação ao potencial decorrente da energia das ondas, foram realizadas algumas estimativas do potencial mundial. Conforme FLEMING (2012), há um potencial teórico global líquido da ordem de 3 TW, que está distribuído no mundo na forma mostrada pela Figura 3.

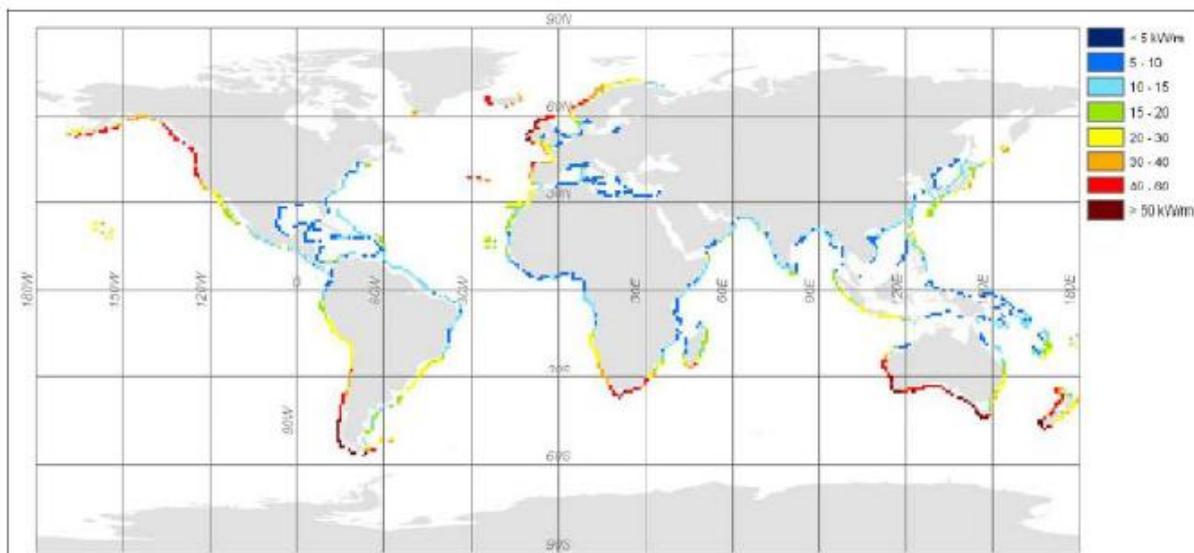


Figura 3 – Potencial teórico líquido.  
Fonte: FLEMING (2012).

Observa-se que o litoral brasileiro não possui grande potencial médio, atingindo, somente na região Sul, valores superiores a 20 kW/m. Em outras regiões do mundo, como no extremo sul do continente americano, na costa oeste da América do Norte e da Europa, são encontrados valores superiores a 60 kW/m.

Entre as possibilidades de aproveitamento da energia dos oceanos, as barragens de maré utilizam tecnologias mais consolidadas, por sua semelhança com as utilizadas pelas usinas hidrelétricas, sendo comercialmente disponíveis. Já o aproveitamento de energia das ondas, embora ainda esteja em fase pré-comercial, é aquele que apresenta maior número de dispositivos em desenvolvimento.

O primeiro projeto de energia oceânica em escala comercial no mundo entrou em operação em 1966, a barragem de maré de La Rance, na França. A construção da usina maremotriz levou seis anos e o projeto consiste em uma barragem de 750 metros de comprimento, sendo 390 metros ocupados pela usina, composta de 24 turbinas Kaplan de 10 MW cada, com uma capacidade total, portanto, de 240 MW, conforme destacado por FLEMING (2012). A Figura 4 mostra a usina de La Rance, França.



Figura 4 – Usina maremotriz de La Rance, França.  
Fonte: MME (2007).

Outro importante projeto de energia maremotriz encontra-se em operação no Canadá, em Annapolis Royal, na Baía de Fundy, desde 1984. Apesar de a baía apresentar uma das maiores amplitudes de maré do mundo, chegando a 17 metros, a usina tem capacidade de geração limitada a 20 MW, bem inferior à da usina francesa. Conforme destacado por Tavares (2005), a usina, constituída por uma única turbina do tipo *Straflo*, possui um fator de capacidade muito baixo, de aproximadamente 17%. A Figura 5 apresenta imagens da usina.



Figura 5 - Visão externa, foto aérea e seção transversal da usina de Annapolis.  
Fonte: FLEMING (2012).

Embora o aproveitamento da fonte maremotriz no mundo não tenha ocorrido na mesma proporção que outras fontes renováveis, como eólica e solar, outras barragens menores entraram em operação até 2010, como na Rússia e na China.

Em 2011, entrou em operação a maior usina de energia maremotriz em operação no mundo, a usina do Lago Sihwa (Figura 6), localizada na Coreia do Sul. A usina, com capacidade de 254 MW, superou a de La Rance, na França, até então a maior do mundo.



Figura 6 – Usina maremotriz de Sihwa.  
Fonte: FLEMING (2012).

A Figura 7, por sua vez, apresenta os principais projetos existentes de exploração de energia das marés no mundo.



Figura 7 – As maiores plantas de energia maremotriz em operação no mundo.<sup>2</sup>

Encontra-se em fase de projeto no litoral nordeste da Escócia, no condado de Caithness, a usina MeyGen, que terá uma capacidade instalada de 398 MW e passará a ser a maior usina maremotriz em operação no mundo. Financiada pelo Fundo de Investimento em Energia Renovável do Reino Unido, o projeto faz parte de um programa de energia limpa que prevê a produção de 190 GW de energia renovável até 2050.<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Figura disponível na Internet, no endereço:  
<http://ofrioquevemdosol.blogspot.com.br/2014/11/energia-das-mares-qual-o-futuro-desta.html>.

<sup>3</sup> Informação disponível na Internet, no endereço:  
<http://planetasustentavel.abril.com.br/noticias/escocia-comeca-construir-maior-usina-energia-mares-mundo-826180.shtml>.

Outro projeto encontra-se em desenvolvimento no País de Gales, na baía de Swansea, com capacidade prevista de 320 MW. Nessa proposta, os impactos ambientais deverão ser reduzidos devido à construção de um lago artificial separado do mar.<sup>4</sup> Conforme informações da consultoria POYRY (2014), os custos estimados de geração de energia maremotriz (£168/MWh) ainda são maiores que os das demais fontes, incluindo as eólicas *off-shore*, sendo, portanto, pouco competitivos. Entretanto, estima-se uma significativa redução de custos para projetos futuros e de maior porte.

Quanto ao aproveitamento de energia das ondas, Portugal é o país pioneiro, por ter desenvolvido a Central de Ondas do Pico, primeira usina do mundo a produzir eletricidade a partir da energia das ondas, utilizando a tecnologia da coluna de água oscilante associada a uma turbina Wells. Situada na ilha do Pico, em Açores, a usina funciona desde 1999 e tem uma potência instalada de 400 kW.

#### **4. ENERGIAS OCEÂNICAS NO BRASIL**

---

Com relação ao potencial de energia das marés, observa-se, na Figura 8, que o Brasil possui localidades nas regiões Norte e Nordeste que atendem ao requisito teórico de variações de altura de maré superiores a 5 metros. Conforme indicados por FLEMING (2012), existem potenciais no Maranhão, com variações de 6 metros, e, no Amapá, mais especificamente na estação de Santa Maria do Cocal, na foz do Igarapé do Cocal, com variações de 8 metros, e na estação de Igarapé do Inferno, na Ilha de Maracá, com variações de até 11 metros.

---

<sup>4</sup> Informação disponível na Internet, no endereço: <http://www.gazetadopovo.com.br/mundo/gales-investe-na-energia-das-mares-ej0il6siqrpwg4t695lssi1ce>.

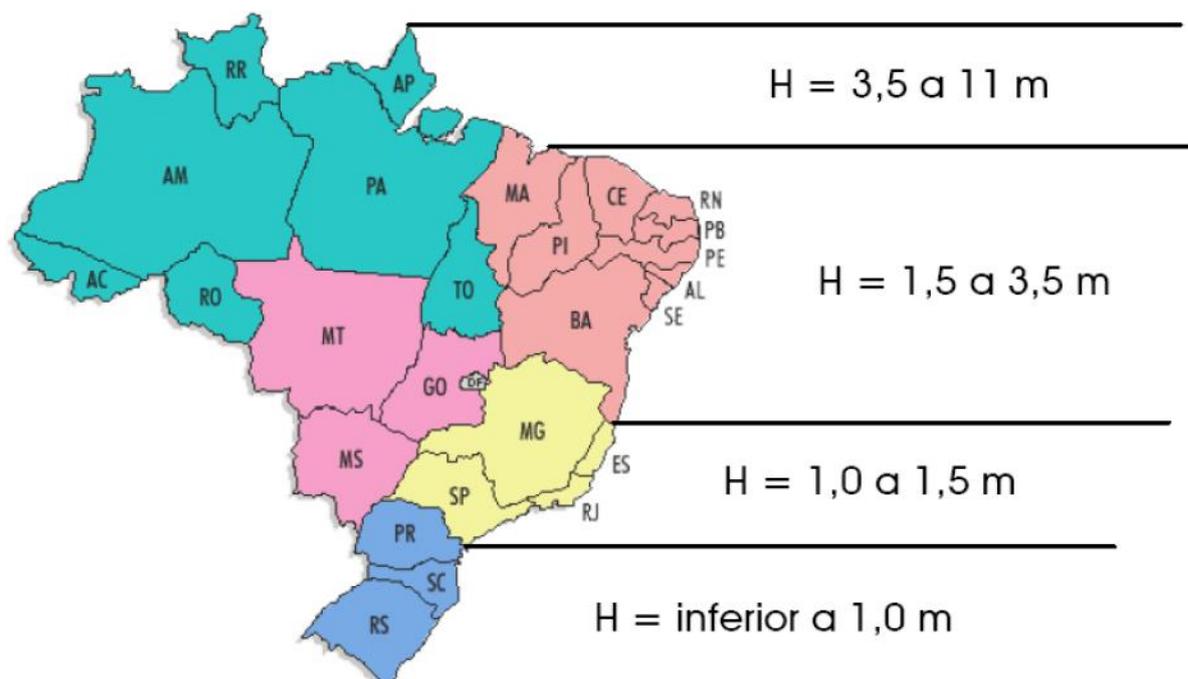


Figura 8 - Valores médios de variação da maré no litoral brasileiro.  
Fonte: SAVEDRA (2016).

Conforme SAVEDRA (2016), na década de 1970, foi construída uma barragem no estuário de Bacanga, no litoral do Maranhão, visando aproximar São Luís e o porto de Itaqui. Considerando que o local possui variações de altura de maré de até 6,5 metros, na época da construção da barragem, diversos estudos foram realizados sobre as possibilidades de aproveitamento dela para geração de eletricidade.

Apesar de ser bastante promissor, o projeto não foi implementado por restrições econômicas e técnicas. As restrições técnicas resultam de ocupação urbana desordenada em áreas do reservatório planejado, além da criação de uma avenida na área ao redor do reservatório. Com isso, obrigou-se que fosse mantida, por meio do controle da barragem, uma cota máxima inferior ao previsto no projeto inicial, reduzindo, portanto, o potencial teórico de geração de energia elétrica do local.

Mesmo considerando a redução do seu potencial de geração, existem propostas de criação de uma usina piloto em Bacanga, com fins de pesquisa, visando obter conhecimento que possa ser aplicado em outras regiões do País com potenciais significativos.

Além do estuário do Bacanga, buscou-se identificar outros potenciais brasileiros de geração de energia das marés. A Eletrobrás coordenou, conforme descrito por FLEMING (2012), estudo, no início da década de 1980, sobre o potencial energético de marés no litoral norte do Brasil, que incluía o projeto piloto da barragem do Bacanga. No estudo, foram identificadas outras 41 baías em uma área de 5.000 km<sup>2</sup>, com um potencial teórico de 27 GW.

É importante destacar que, assim como ocorreram mudanças que diminuíram o potencial de geração no estuário do Bacanga, podem ter ocorrido mudanças em algumas dessas 41 baías ao longo dos trinta anos decorridos desde o estudo. Para que isso fosse verificado, seriam necessárias as informações específicas de cada região, que não estão disponíveis, fragilizando quaisquer estimativas.

Nesse sentido, torna-se necessário atualização do levantamento realizado, bem como a realização de pesquisas em áreas *off-shore*, não realizadas de forma consistente até o momento. Com isso, seria possível verificar a viabilidade de aproveitamentos da energia maremotriz no Brasil.

Com relação à energia das ondas, foi apresentado, no item anterior, que o Brasil não possui um grande potencial médio de geração, comparado com outras regiões do mundo, como o extremo sul do continente americano, a costa oeste da América do Norte e da Europa. Assim, destaca-se o posicionamento de SESMIL (2013) de que a viabilidade econômica de projetos dessa tecnologia no Brasil deve ser avaliada por meio de estudos detalhados e pelo mapeamento de áreas antes de se decidir pela implantação de projetos que utilizem essa tecnologia.

Até o momento, existe no Brasil um único projeto piloto de utilização de energia do movimento das ondas, sendo o primeiro da América Latina. O projeto, localizado em Pecém, a 60 km de Fortaleza – CE, foi desenvolvido pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE), órgão vinculado à Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). A usina conta com duas

unidades geradoras de 50 kW de potência cada. A Figura 9 apresenta o projeto da usina de ondas de Pecém.

Quanto à viabilidade econômica de projetos de aproveitamento de energia proveniente do movimento das ondas no Brasil, em especial do projeto piloto de Pecém, análise realizada por MARTÍN (2012) demonstra que o retorno financeiro é negativo, observando-se pouca oportunidade de comercializar projetos com a tecnologia pelo elevado custo das plantas.

Figura 9 – Projeto piloto de produção de energia por meio de ondas no Porto de Pecém.

Fonte: FLEMING (2012).



## **5. PROPOSTAS PARA O APROVEITAMENTOS DAS ENERGIAS OCEÂNICAS NO BRASIL**

---

Observa-se que o desenvolvimento da energia maremotriz no mundo vem crescendo de forma mais lenta, se comparado com outras fontes renováveis de geração de energia, como eólica e solar. Tal crescimento lento se deve ainda à pouca atratividade econômica de investimento na fonte.

O Brasil, é sempre importante ressaltar, possui elevado potencial de geração a partir de fontes renováveis, com um dos maiores potenciais hidráulicos do mundo e elevados potenciais de energia eólica e solar. Entretanto, com relação à energia maremotriz, o País não possui potencial de destaque, se comparado com outras regiões do mundo. Por essa razão, seria questionável a decisão de alocar mais recursos para o aproveitamento dessa fonte, ainda não consolidada mundialmente, em detrimento de investimentos nas demais fontes, como solar e eólica, já comercialmente consolidadas e nas quais o Brasil possui aspectos altamente competitivos.

Entretanto, visando permitir o avanço do aproveitamento da energia maremotriz no Brasil, é necessário investir em pesquisa, de forma a identificar os potenciais de utilização da fonte, bem como para desenvolver as tecnologias necessárias para seu aproveitamento. Dessa forma, uma possibilidade seria destinar recursos do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), instituído pela Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, cujos projetos são aprovados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Ainda com relação a pesquisas de identificação de potenciais viáveis de aproveitamento de energia maremotriz no Brasil, inclusive em áreas *off-shore*, é recomendada a realização de estudos nessa perspectiva.

Ressaltamos que existem, na legislação brasileira, diversos incentivos para implantação de empreendimentos de geração de energia elétrica com base em fontes renováveis, como eólica, solar e biomassa. Entre os incentivos existentes na legislação, destacam-se os descontos nas tarifas de uso dos sistemas de transmissão e distribuição<sup>5</sup> e a possibilidade de comercialização direta da energia produzida com consumidores especiais com carga acima de 500 kW<sup>6</sup>.

Além dos incentivos na legislação, os leilões de compra de energia realizados pelo governo federal, considerando a compra de fontes exclusivas, como ocorre com eólica, solar e Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCHs, são, no nosso modelo do setor, fundamentais para o aumento de geração das fontes renováveis.

---

<sup>5</sup> §1º do art. 26 da Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996.

<sup>6</sup> §5º do art. 26 da Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996.

Outro ponto comumente levantado, com relação a incentivos de fontes alternativas, consiste na criação de linhas de financiamento por bancos públicos com condições atrativas para viabilizar novas fontes, como ocorre para aquelas já em desenvolvimento no País.

Seriam possíveis alterações na legislação de forma a incluir a fonte maremotriz entre as fontes incentivadas, bem como seria possível buscar a criação de linhas de financiamento específicas para a fonte. Entretanto, por causa da sua pequena atratividade econômica no momento e das poucas informações sobre localidades com potenciais viáveis de geração, tais alterações isoladamente tenderiam a não gerar resultados significativos.

Assim, reforça-se a necessidade de destinação de recursos para pesquisas relacionadas ao aproveitamento das energias oceânicas. Com o desenvolvimento das tecnologias necessárias e a identificação correta dos potenciais brasileiros viáveis de exploração, podem ser adicionadas outras políticas que contribuirão para acelerar a implantação da fonte, como ocorreu nos casos das fontes eólica e solar.

## **6. CONCLUSÕES**

---

Os oceanos possuem um grande potencial energético, que pode ser explorado de diversas formas. Entre as formas conhecidas, a transformação da energia potencial das marés em eletricidade é a mais consolidada no mundo, embora o número de projetos instalados ainda seja pequeno.

Considerando a crescente preocupação com as mudanças climáticas e a conseqüente busca por fontes renováveis de energia, a energia maremotriz vem ganhando espaço nos últimos anos, com o desenvolvimento de projetos de porte relevante em locais como Coreia do Sul, Escócia e País de Gales.

Embora estudos indiquem uma significativa queda de custos para a energia maremotriz no futuro, os custos atuais da fonte ainda são pouco competitivos quando comparados com outras fontes renováveis, como eólica e solar.

O Brasil possui potenciais para implantação de projetos de aproveitamento da energia das marés no Norte e no Nordeste do País, especialmente no Maranhão e no Amapá, apesar de não existir nenhuma usina brasileira.

Com relação à energia de ondas, o Brasil não possui alto potencial de geração, se comparado com outras regiões do mundo, como o extremo sul do continente americano e a costa oeste da América do Norte e da Europa. Até o momento, existe um único projeto piloto de utilização de energia do movimento das ondas, em Pecém, no Ceará. Estudos realizados indicam, para as condições atuais, a inviabilidade econômica da implantação de projetos de aproveitamento de energia oceânica no País.

Para que se possa avançar no aproveitamento da energia dos oceanos, é necessário investir em pesquisas, de forma a identificar os potenciais de utilização da fonte, bem como para desenvolver as tecnologias necessárias para seu aproveitamento. Uma possibilidade seria destinar recursos do Programa de P&D para pesquisas associadas à fonte.

Considerando a pouca quantidade de informações sobre os potenciais brasileiros de geração de energia maremotriz, bem como a carência de tecnologia disponível, alterações legislativas que não visem o aprofundamento de pesquisas no tema tendem a surtir pouco efeito no aproveitamento da fonte no País.

## REFERÊNCIAS

---

CHARLIER, R. H. **Sustainable co-generation from the tides: A review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2003.

FLEMING, F.P. **Avaliação do Potencial de Energias Oceânicas no Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE), 2012.

Ministério de Minas e Energia (MME). **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: MME, 2007.

Pöyry Management Consulting (POYRY). **Levelised Costs Of Power From Tidal Lagoons**. United Kingdom: 2014.

SAVEDRA, O. R. **Potencial Energético do Maranhão: Energias Oceânicas**. São Luis: Universidade Federal do Maranhão, 2016.

SESMIL, E. L. F. **Energia Maremotriz: Impactos Ambientais e Viabilidade Econômica no Brasil**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2013.

TAVARES, M. W. **Produção de Eletricidade a partir da energia maremotriz**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2005.