

UMA VISÃO PROSPECTIVA SOBRE O APROVEITAMENTO DA ENERGIA DAS MARÉS NO LITORAL BRASILEIRO

Juliane Taise Piovani (UFABC) - juliane.piovani@ufabc.edu.br

Federico Bernardino Morante Trigoso (UFABC) - federicoufabc@gmail.com

Resumo:

A evolução da demanda de energia elétrica no Brasil até 2050 conduz a estimar que esse crescimento deverá exigir entre 400 GW e 480 GW de capacidade instalada do SIN. Portanto, será necessário enfrentar os desafios para a diversificação e a ampliação do parque gerador para atender a demanda esperada. Dentre as diversas fontes renováveis, estudam-se aplicações da energia das marés devido às condições climáticas e geológicas favoráveis no Brasil. Estudos mostram que a região Norte e Nordeste são as mais indicadas para utilização dessa fonte, por apresentar marés constantes. No entanto, as correntes de marés também estão presentes em outras regiões do litoral brasileiro. Assim, o objetivo deste trabalho é levantar algumas questões sobre a possibilidade de aproveitamento da energia das marés no litoral brasileiro considerando-se aspectos geológicos, climáticos e possíveis impactos ambientais. A metodologia utilizada está baseada na revisão bibliográfica existente relacionada com esse tema.

Palavras-chave: *Energias renováveis do mar, Energia das Marés, Prospecção tecnológica.*

Área temática: *Outras fontes renováveis de energia*

Subárea temática: *Marés, ondas e outras fontes renováveis*

UMA VISÃO PROSPECTIVA SOBRE O APROVEITAMENTO DA ENERGIA DAS MARÉS NO LITORAL BRASILEIRO

Juliane Taise Piovani – juliane.piovani@ufabc.edu.br

Federico Bernardino Morante Trigo – federico.trigo@ufabc.edu.br

Universidade Federal do ABC – Programa de Pós-Graduação em Energia - Laboratório de Energias Renováveis

Av. dos Estados, 5001 – Santo André – São Paulo – SP – Brasil – CEP 09210-971

Tel.: +55 11 4996-0101

Resumo. A evolução da demanda de energia elétrica no Brasil até 2050 conduz a estimar que esse crescimento deverá exigir entre 400 GW e 480 GW de capacidade instalada do SIN. Portanto, será necessário enfrentar os desafios para a diversificação e a ampliação do parque gerador para atender a demanda esperada. Dentre as diversas fontes renováveis, estudam-se aplicações da energia das marés devido às condições climáticas e geológicas favoráveis no Brasil. Estudos mostram que a região Norte e Nordeste são as mais indicadas para utilização dessa fonte, por apresentar marés constantes. No entanto, as correntes de marés também estão presentes em outras regiões do litoral brasileiro. Assim, o objetivo deste trabalho é levantar algumas questões sobre a possibilidade de aproveitamento da energia das marés no litoral brasileiro considerando-se aspectos geológicos, climáticos e possíveis impactos ambientais. A metodologia utilizada está baseada na revisão bibliográfica existente relacionada com esse tema.

Palavras-chave: Energias renováveis do mar, Energia das Marés, Prospecção tecnológica.

1. INTRODUÇÃO

A participação dos combustíveis fósseis na geração global de eletricidade é imensa, sendo predominantemente utilizados para atender à crescente demanda de energia da população mundial. Com o aumento dos impactos ambientais e mudanças climáticas, a proposta é reduzir o consumo de combustíveis fósseis e aumentar o uso de fontes renováveis na matriz energética em todo o mundo. As fontes renováveis de energia oferecem benefícios econômicos e ambientais (Noel, 2017; He *et al.*, 2016; Hua, Oliphant, Hu, 2016) por serem fontes infinitas de energia, ou seja, não se esgotam ao longo do tempo (Hil Baky, Rahman, Islam, 2017; Bahaj, 2011). Existe um imenso potencial para fontes renováveis de energia, abundantes e diversificadas em todo o mundo. Se utilizadas corretamente, podem fornecer energia com segurança, além de contribuir com a redução das emissões de gases de efeito estufa, que contribui para o aumento do aquecimento global, sendo considerado um dos principais problemas do século XXI (Melikoglu, 2017; Bahaj, 2011). Assim, senão forem tomadas ações para redução do consumo dos combustíveis fósseis, a tendência é que as emissões de gases de efeito estufa (GEE) aumentem o dobro até 2050 (IEA, 2018).

Nesse contexto, há uma tendência mundial em reduzir o consumo de combustíveis fósseis e aumentar o uso de fontes renováveis, substituindo-os na matriz energética de todo o mundo (Silva, Marchi Neto, Seifert, 2016). O Brasil detém posição de liderança no uso de recursos energéticos renováveis. No total, cerca de 42% da energia primária é proveniente de recursos renováveis, o que contrasta significativamente com a média global de 13% e com a média de 8,1% comparada com países da OCDE (EPE, MME, 2014).

Vários países em todo o mundo têm realizado estudos para utilização e conhecimento de geração de energia proveniente de fontes oceânicas. No entanto, devido a sua complexidade, ainda não é possível aplicá-las em larga escala porque a maioria das tecnologias encontram-se em desenvolvimento e são pouco conhecidas, além de apresentarem problemas econômicos, técnicos e ambientais que são iminentes em projetos de engenharia. No Brasil, também estuda-se a possibilidade de implementação das fontes oceânicas, porém, para seu desenvolvimento e aplicação é necessário investimento pelo setor público e privado, respeitando-se as diretrizes de energia, desenvolvimento e sustentabilidade (Melikoglu, 2018).

As principais fontes de energia oceânica são as seguintes (CGEE, 2017; Silva, 2012; Bahaj, 2011):

i) Energia das ondas: ocasionada pela transferência de energia do vento para a superfície livre do mar.

ii) Correntes oceânicas: as causas que produzem essas correntes podem ser a ação dos ventos, sobretudo os ventos sazonais, constantes e de longo período, como os alísios; a diferença de características físicas e químicas das águas, principalmente pela diferença de temperatura e salinidade que, conseqüentemente, modificam a densidade; o efeito Coriolis¹ devido à rotação terrestre; e as marés oceânicas (Mingues, 1993).

¹ Enquanto o ar começa a fluir de alta para baixa pressão, a Terra gira ao abrigo do mesmo, tornando o vento a seguir uma trajetória curva. No Hemisfério Norte, o vento vira para a direita de sua direção de movimento. No Hemisfério Sul, ele se vira para a esquerda. A força de Coriolis é zero no Equador.

iii) Gradiente térmico: proveniente da diferença de temperatura entre a energia solar armazenada na superfície dos oceanos e a água mais fria que se encontra em profundidades abaixo de mil metros, sendo que este gradiente é mais acentuado nas regiões tropicais dos oceanos.

iv) Gradiente de salinidade: oriundo da variação de salinidade entre a água doce existente na foz de um rio desaguando no oceano e a água salgada do mar.

v) Energia das marés: proveniente da interação das forças gravitacionais do sistema Terra-Lua-Sol. Esta energia pode ser subdividida entre energia das amplitudes de marés (conhecida também como maremotriz) que resulta das alterações de nível das marés ocasionando uma diferença de altura entre as marés alta e baixa. A outra forma são as correntes de marés resultantes do fluxo de água devido às marés altas e baixas nas regiões costeiras que podem movimentar conversores de energia submersos. Na atualidade, o sistema mais utilizado está baseado na energia das amplitudes de marés por meio da construção de diques que captam a água durante a alta da maré. Essa água armazenada é liberada durante a maré baixa, passando por uma turbina que gera energia elétrica (Leite Neto *et al.* 2011).

Uma usina de aproveitamento da energia das amplitudes de marés requer três elementos básicos: casa de força ou unidades geradoras de energia, eclusas, para permitir a entrada e saída de água da bacia e barragem. A primeira usina maremotriz do mundo entrou em operação em 1966 em La Rance (França). Os países que já utilizam este sistema são Japão, França, Coreia do Sul, Reino Unido e Rússia (Silva, 2012; Leite Neto, *et al.* 2011).

Estima-se que o potencial energético global da energia maremotriz seja da ordem de 500 a 1.000 TWh/ano (Leite Neto *et al.* 2011). Na América do Sul, de acordo com Villalón, Watts e Cienfuegos (2019) o sul do Chile apresenta grande potencial. Estima-se que nesse país é possível obter o equivalente a 191,4 GWh/ano, mas ainda é necessário realizar mais avaliações nessa região.

No Brasil, o litoral maranhense e a ilha de Macapá apresentam condições geográficas favoráveis, porém, o potencial encontra-se em avaliação. Estimativas mostraram que é possível obter um potencial acima de 8 GW (Eletrobrás, 1981).

Assim, o objetivo deste trabalho é levantar algumas questões sobre a possibilidade de aproveitamento da energia das marés no litoral brasileiro considerando-se aspectos geológicos, climáticos e possíveis impactos ambientais. A metodologia utilizada está baseada na revisão bibliográfica existente relacionada com esse tema.

2. O FENÔMENO DAS MARÉS

Maré é a oscilação vertical da superfície do mar ou outra grande massa d'água sobre a Terra, causada primariamente pelas diferenças na atração gravitacional da Lua e, em menor extensão, do Sol sobre os diversos pontos da Terra. Dessa forma, para desenvolver um projeto de energia das marés é necessário avaliar as condições geográficas da região a qual deverá apresentar marés no litoral e desnível no solo do oceano. Também é necessário avaliar a importância dos ventos para a formação das marés, os tipos de marés existentes que variam em cada região e a energia das correntes de marés que é uma alternativa tecnológica da geração de energia elétrica em regiões costeiras (Santos; Moreira, 2015).

O fenômeno das marés está interligado à influência gravitacional exercida pelo Sol e pela Lua na Terra. A influência da Lua é bastante superior. Apesar de ter uma massa inferior ao Sol, a Lua está localizada a uma distância menor da Terra, de acordo com a Fig. 1.

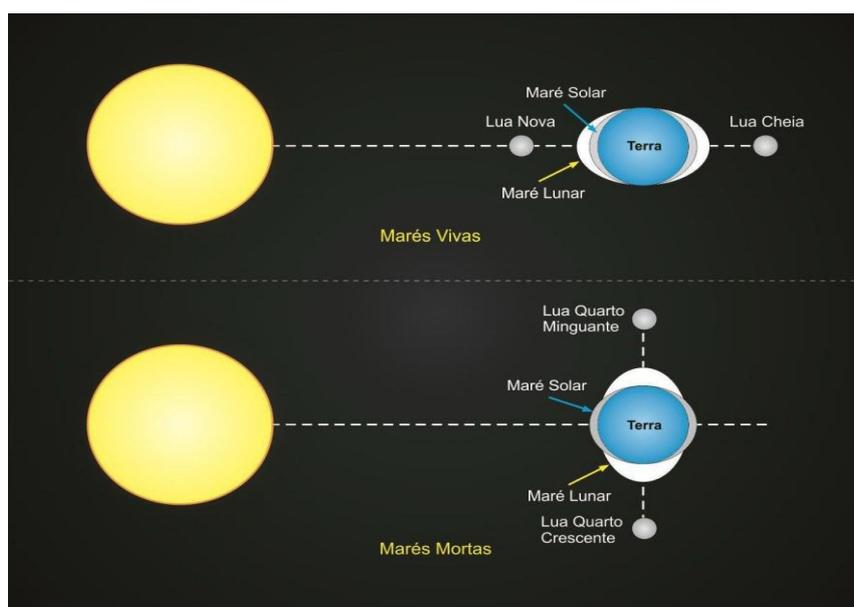


Figura 1 - Maré astronômica. Fonte: Tolmasquim, 2016.

Os movimentos relativos da Terra, Lua e Sol provocam um número elevado de forças periódicas geradoras de

maré. As variações da altura de água associadas podem ser representadas pela soma de um número finito, conhecido por constituintes harmônicas (cossenos) da maré. O período é determinado a partir de estudos astronômicos (Hidrográfico Marinha-Portugal, 2018; Tolmasquim, 2016).

A análise harmônica é realizada por meio de um processo matemático onde a maré observada num dado local é separada em constituintes harmônicas simples. A sua finalidade é determinar a amplitude H (em metros) e a fase g (em graus) das diferentes constituintes harmônicas da maré, a partir da série de alturas de águas registradas. A fase é o atraso em relação à chamada maré de equilíbrio. Na prática, as CH (constantes harmônicas) são calculadas de acordo com os parâmetros da Eq. (1) que melhor se ajustam às séries temporais (Hidrográfico Marinha-Portugal, 2018).

$$h(t) = A_0 + \sum_i^n f_i H_i \cos[w_i t + (V_0 + u)_i - g_i] \quad (1)$$

Onde $h(t)$ é a altura da maré em metros no instante t ; A_0 representa o nível médio da maré (m), f_i é o coeficiente de correção de amplitude, H_i representa a amplitude em metros da componente i ; o índice i identifica a maré/constituente, w_i representa a velocidade angular da componente i ; $V_0 + u$ é a maré de equilíbrio para o instante inicial da série de dados e g_i é a fase em graus da componente i . A Eq. (1) é aplicável para qualquer tipo de maré (Coelho, 2016). A previsão de maré faz-se igualmente recorrendo à fórmula harmônica, sendo utilizado o nível médio adotado no lugar de A_0 , ou seja, o cálculo baseia-se em análises harmônicas de séries de observações maregráficas de duração variável.

Em decorrência da posição da Terra, em relação ao Sol e à Lua, há uma alternância entre maré alta e baixa. É possível prevê-la e identificá-la, por meio de cartas náuticas, mapas de oceanografia e de velocidade dos ventos, realizados pela Marinha do Brasil, INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), NASA (National Aeronautics and Space Administration) dentre outros (Silva, 2012).

As marés são movimentos oscilatórios do nível do mar que são observados tanto na linha de costa quanto na região oceânica, resultantes da interação entre a maré astronômica e a maré meteorológica. A principal componente da maré observada é a maré astronômica, causada majoritariamente pela resultante gravitacional do sistema Sol-Terra-Lua, o qual depende diretamente das massas dos corpos celestes (NASA, 2017). A Fig. 2 mostra os pontos mais propícios para desenvolvimento de energia maremotriz no mundo.

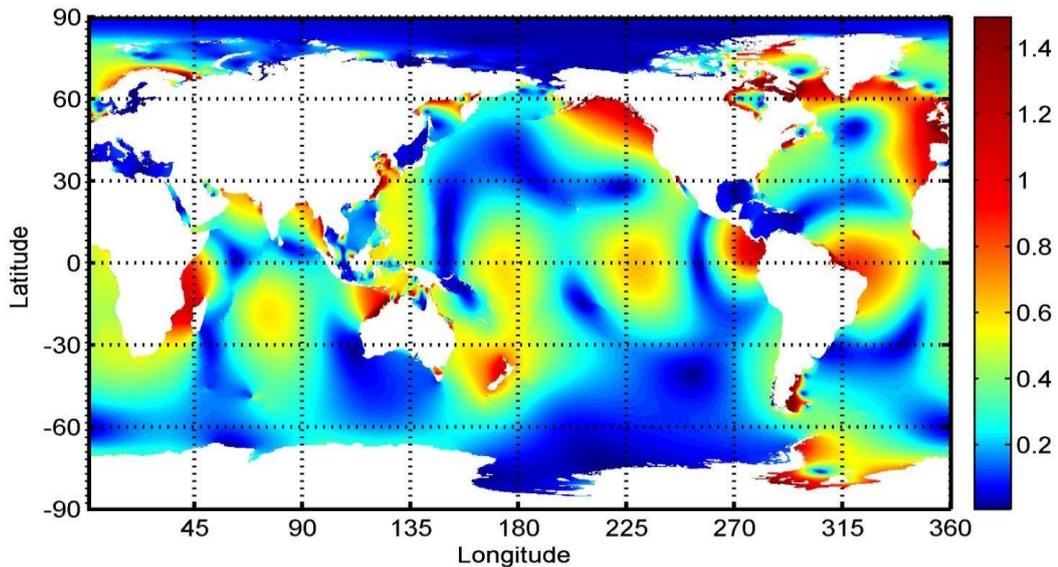


Figura 2 - Locais propícios à geração maremotriz (maré aberta). Fonte: NASA, 2017.

Devido a obras e fenômenos como a erosão e os assoreamentos, as características da maré num dado local podem sofrer alterações ao longo do tempo. Assim é de extrema importância a renovação frequente das CH (constantes harmônicas) (Hidrográfico Marinha-Portugal, 2018).

De acordo com a Fig. 2 observa-se que a captação desse tipo de energia é restrita a poucas localidades, pois para sua instalação, o desnível das marés deve ser superior a 7 metros. No Brasil, os locais favoráveis para a construção de barragens de maré são o estuário do rio Bacanga, em São Luís (MA), com marés de até 7 metros e a ilha de Macapá (AP), com marés de 11 metros. Também são regiões propícias à foz do rio Mearim, no Maranhão, a foz do Tocantins, no Pará e a foz da margem esquerda do Amazonas, no Amapá (USP, 1999).

2.1 Influência do vento nas correntes de maré

Entender o comportamento e a velocidade dos ventos da superfície oceânica é fundamental para estudos oceanográficos e meteorológicos, pois ele influencia no nível da água (Silva, *et al.*, 2016). Isso ocorre porque as correntes marítimas empurram a água para terra, resultando numa elevação do nível do mar junto à costa, enquanto que os ventos provenientes da faixa costeira empurram a água para o mar, gerando o efeito contrário. Quando a água é

empurrada para zonas confinadas e pouco profundas, não poderá retornar para o oceano, elevando-se. O contrário acontece quando a água é expulsa destas zonas, isto é, não pode ser imediatamente substituída e mantém-se baixa. Quanto menos profundo for o local do oceano e quanto mais cercado por terra se encontrar a massa de água, maior será a influência do vento na altura de água (Almeida, *et. al.*, 2009).

A amplitude da maré depende da direção do vento. Para que ocorram extremos de maré meteorológica, a sua direção deve ser paralela à costa, pois só assim o fenômeno terá uma intensidade máxima (Almeida *et. al.*, 2009).

A quantidade e duração de tempo do vento atuando na mesma direção é extremamente importante, pois as amplitudes da maré são proporcionais à duração do tempo da corrente, tornando-se maior a transferência de momento do ar para a água, para correntes fortes e de longa duração. Correntes relativamente calmas que duram em média 24 horas poderão ter maiores efeitos na altura de água, quando comparadas com correntes mais fortes que duram apenas 6 horas (Almeida, *et. al.*, 2009).

Vale ressaltar que a baixa-mar (*low tide terrace*) é o tipo de praia intermediária com o menor nível de energia. Condições ideais para seu desenvolvimento incluem as partes extremas mais protegidas de longas praias, em baías moderadamente abrigadas ou em regiões mais expostas, onde a areia é fina. Esta zona é caracterizada por uma face de praia relativamente íngreme a qual é conectada no nível da maré baixa (Calliari, *et. al.* 2003).

2.2 Características da região costeira norte e nordeste do Brasil

A região nordeste é composta pelos Estados do Maranhão (MA), Piauí (PI), Ceará (CE), Rio Grande do Norte (RN), Paraíba (PB), Pernambuco (PE), Alagoas (AL), Sergipe (SE) e Bahia (BA) com uma área total de 1.558.196 km² que corresponde a 18% do território nacional. Nessa região há 3.338 km de praias (IBGE, 2011). O Litoral Amazônico é a faixa litorânea que se inicia no Amapá (AP) até uma parte do rio Parnaíba, na divisa dos estados do Piauí e Maranhão. Essa região apresenta manguezais, dunas e ilhas fluviais.

Na análise e previsão de marés brasileiras, é necessário considerar alguns níveis de referências. O mapa de limites marinhos legais abrange grande parte da América do Sul na parte do oceano Atlântico adjacente à costa (IBGE, 2011).

Antes das medições por satélite, as medições da maré oceânica eram difíceis de serem realizadas, por apresentar custo elevado. Os dados mostram que um terço da energia das marés se dissipa no oceano aberto desempenhando importante papel anteriormente desconhecido e relacionado com a mistura da água no oceano (NASA, 2017). A Fig. 3 mostra os atuais limites legais do litoral brasileiro.



Figura 3 - Limites marinhos legais. Fonte: Marinha do Brasil, 2017.

Na região nordeste, os ventos alísios chegam à costa a uma velocidade média de 6,5 a 8,0 m/s, a uma altura de 50 m acima do nível da superfície. O clima e a velocidade dos ventos mostram que a região apresenta condições para projetos de energia das marés (Solís-Chaves, *et. al.* 2018). As características litoestruturais e climáticas condicionam a formação de escarpas, maciços, chapadas e depressões modeladas em extensos pediplanos (processo erosivo com

regressão de escarpas, que caracterizam feições do relevo em rochas cristalinas e sedimentares).

Os estuários são feições localizadas na interface continente-oceano e são influenciados fortemente pela ação das marés, possuindo extrema importância no estudo dos processos dinâmicos de transferência de material terrestre para o oceano. Nas margens de estuários, lagunas, baías ou atrás de ilhas-barreira, desenvolve-se o ambiente de planície de maré, cuja representatividade depende muito das amplitudes de maré. O ambiente de planície de maré é encontrado nas regiões costeiras muito planas e de baixa energia. As condições necessárias para a sua formação incluem as amplitudes de maré e ausência da ação de ondas mais fortes. Grande parte dos sedimentos recém-depositados nesse ambiente é submetida à exposição subaérea nas fases de refluxo de maré baixa (Santos; Moreira, 2015).

2.3 Amplitude das marés no Brasil

As marés nas regiões brasileiras podem ser definidas como macromaré (> 6 m) na região norte (AP, PA e MA); mesomaré (2 a 4 m) na região Nordeste (exceto no MA) e micromaré (< 2 m) na região sudeste e sul (Santos; Moreira, 2015). Devido ao fato de um dia lunar ter aproximadamente 24h 50m, em oposição ao dia solar de 24 horas, as marés não ocorrem todos os dias à mesma hora num mesmo local. O padrão normal é a ocorrência de 2 PM (preamares) e 2 BM (baixamares) no período de um dia lunar (24h 50m). Este tipo de maré é chamado de semidiurna.

A maré semidiurna, então, apresenta duas PM e duas BM no período de um dia lunar, sendo o intervalo de tempo entre uma PM e a BM consecutiva de pouco mais de 6 horas. Normalmente, há apenas variações relativamente pequenas nas alturas de duas PM ou de duas BM sucessivas. No Brasil, as marés semidiurnas são observadas de Vitória/ES, para o Norte (IBGE, 2011).

O fenômeno Sízígia refere-se à conjunção de qualquer planeta com o Sol (Hidrográfico Marinha-Portugal, 2018; MMA, 2018). O mesmo contribui para a elevação da maré. Em 2017 no Maranhão foram registrados num sábado (07), às 19h58 uma amplitude de maré maior de 6,4 m. No domingo (08) atingiu a altura de 6,3 m às 21h38 (Sarayva, 2017).

3. PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DA ENERGIA DAS MARÉS

Em 2017 foi publicado o livro “Prospecção Tecnológica no Setor de Energia Elétrica: evolução tecnológica nacional no segmento de geração de energia elétrica e armazenamento de energia” (CGEE, 2017). Esta publicação mostra os resultados da etapa construção de futuro do grupo temático Geração de Energia Elétrica e Armazenamento de Energia no escopo do Projeto Prospecção Tecnológica no Setor de Energia Elétrica promovido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Com relação à macrotemática Energia dos Oceanos, os resultados da análise prospectiva realizada pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) indicam possibilidades de PD&I sobre o processo de conversão dos diferentes recursos oceânicos em energia elétrica. Considerando a evolução da demanda de energia elétrica até 2050, foi estimado que esse crescimento deverá exigir entre 400 GW e 480 GW de capacidade instalada do SIN. Portanto, será necessário enfrentar os desafios para a diversificação e a ampliação do parque gerador para atender essa demanda (CGEE, 2017).

No campo da energia dos oceanos “o foco da PD&I está em desenvolver tecnologias nacionais de geração de eletricidade via energia das ondas (coluna de água oscilante, corpo oscilante) e via energia das marés (amplitude e corrente de maré), por meio de plantas operacionais. Em longo prazo, o foco da PD&I está em desenvolver tecnologias nacionais de geração de eletricidade via gradientes térmico e de salinidade” (CGEE, 2017).

O estudo desenvolvido mostra que na temática amplitude de marés, especificamente na rota barragens de marés, as linhas de pesquisa estão relacionadas com a integração dessa tecnologia e de outras fontes renováveis em sistemas isolados. Também será necessário desenvolver projetos piloto de microgeração de maré para demandas isoladas. Essa evolução pode ser observada na Fig. 4.

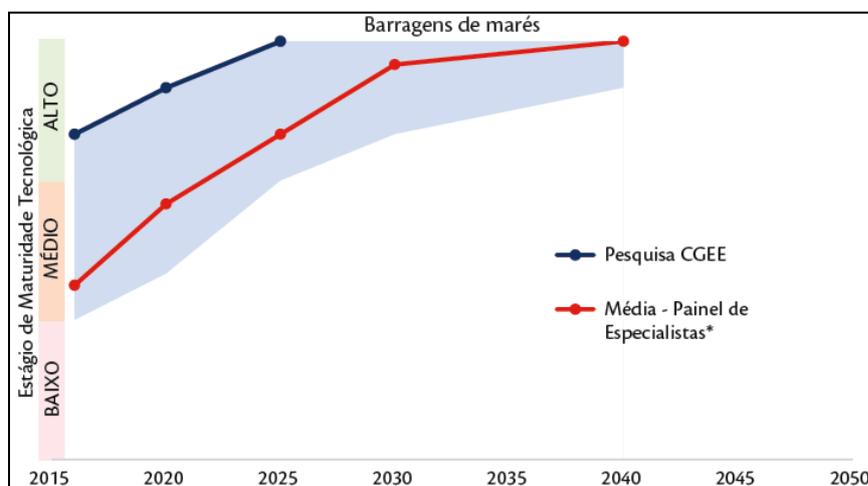


Figura 4 – Evolução da maturidade tecnológica da rota Barragens de marés. Fonte: CGEE, 2017.

Os gráficos da evolução da maturidade das rotas levam em conta duas questões: 1) as linhas de pesquisa com

maior influência sobre o desenvolvimento ou a otimização das tecnologias presentes nas rotas, e 2) os fatores portadores de futuro que suportam essa evolução (CGEE, 2017). Os fatores portadores do futuro que influenciam a evolução da maturidade da tecnologia de conversão baseada em barragens de maré estão indicados na Tab. 1.

Tabela 1 – Fatores portadores de futuro da evolução da rota Barragens de Maré. Fonte: CGEE, 2017

Temática	Rota	Dado	Período					
			2016	2020	2025	2030	2040	2050
Temática amplitude das marés	Barragens de marés	Fatores portadores de futuro	Investimentos iniciais (R\$), estudo do recurso energético, investimento em CT&I e cadeia produtiva.	Caracterização da energia dos oceanos no Brasil, aumento da demanda energética, otimização do conversor de energia (foco eficiência).	Desenvolvimento de sistemas de integração entre fontes (operacionalização e monitoramento). Base técnica e de fomento ativos para o desenvolvimento contínuo da rota e estudo ininterrupto com foco na redução dos custos de fabricação.			
Maturidade			ALTO					

Com relação à temática correntes de maré e oceânicas, especificamente as rotas turbina de eixo horizontal, turbina de eixo vertical e turbina canalizada ou de efeito Venturi, as linhas de pesquisa que fundamentam a evolução da maturidade das rotas tecnológicas podem ser observadas na Fig. 5 e na Fig. 6. Estas dizem respeito à otimização das turbinas e dos rotores, sob o ponto de vista da confiabilidade e da eficiência. Outra linha de pesquisa é o estudo tendo como foco a construção de um parque de geração submarino em escala piloto. A evolução da maturidade dessas rotas é influenciada pelos portadores ressaltados na Tab. 2.

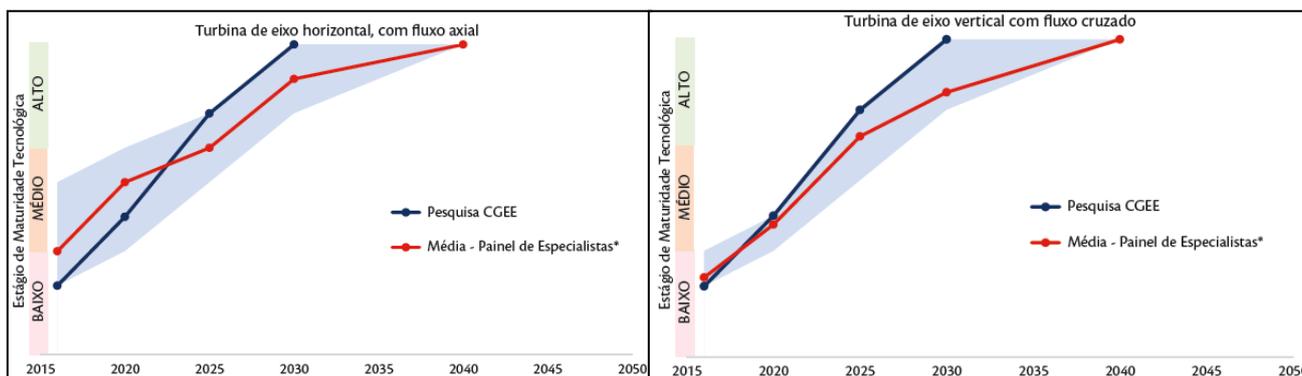


Figura 5 – Evolução da maturidade tecnológica da rota Turbina de Eixo Horizontal, com Fluxo Axial (esquerda) e Turbina de Eixo Vertical, com Fluxo Cruzado (direita). Fonte: CGEE, 2017.

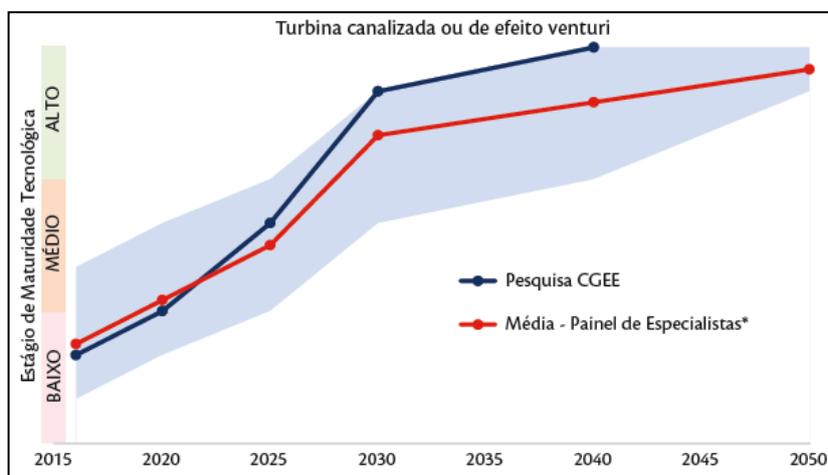


Figura 6 – Evolução da maturidade tecnológica da rota Turbina Canalizada ou de Efeito Venturi. Fonte: CGEE, 2017.

Tabela 2 – Fatores portadores de futuro para as rotas tecnológicas Turbina de Eixo Horizontal com Fluxo Axial,

Turbina de Eixo Vertical com Fluxo Cruzado e Turbina Canalizada com Efeito Venturi. Fonte: CGEE, 2017

Temática	Rota	Dado	Período						
			2016	2020	2025	2030	2040	2050	
Correntes de marés e oceânicas	Turbina de eixo horizontal	Fatores portadores de futuro	Investimentos iniciais R\$ (fomento), estudo do recurso energético, aumento da demanda energética, investimento em CT&I e cadeia produtiva.	Novos desenhos de turbinas, desenvolvimento de sistemas de fixação, O&M e monitoramento	Desenvolvimento de cabos submarinos, sistemas de armazenamento (foco no despacho). Base técnica e de fomento ativos para o desenvolvimento contínuo da rota e estudo ininterrupto com foco na redução dos custos de fabricação.				
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO				
	Turbina de eixo vertical	Fatores portadores de futuro	Investimentos iniciais R\$ (fomento), estudo do recurso energético, aumento da demanda energética, investimento em CT&I e cadeia produtiva.	Novos desenhos de turbinas, desenvolvimento de sistemas de fixação, O&M e monitoramento.	Desenvolvimento de cabos submarinos, sistemas de armazenamento (foco no despacho). Base técnica e de fomento ativos para o desenvolvimento contínuo da rota e estudo ininterrupto com foco na redução dos custos de fabricação.				
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO				
	Turbina de efeito Venturi	Fatores portadores de futuro	Investimentos iniciais R\$ (fomento), estudo do recurso energético, aumento da demanda energética, investimento em CT&I e cadeia produtiva.	Novos desenhos de turbinas, desenvolvimento de sistemas de fixação, O&M e monitoramento.	Novos desenhos de turbinas, desenvolvimento de cabos submarinos, sistemas de armazenamento (foco no despacho).	Novos desenhos de turbinas, desenvolvimento de cabos submarinos, sistemas de armazenamento (foco no despacho), protótipo em escala laboratorial.	Protótipo tamanho real (aquisição de dados para otimização). Base técnica e de fomento ativos para o desenvolvimento contínuo da tecnologia.		
		Maturidade	BAIXO	MÉDIO	ALTO	ALTO			

Considerado 11 rotas tecnológicas em um conjunto de ordem de prioridades dos investimentos em P&D, a rota barragens de maré ocupa o segundo lugar e a rota turbina de eixo horizontal com fluxo axial fica no terceiro lugar. A rota Turbina canalizada ou de efeito Venturi fica no decimo lugar (CGEE, 2017). No entanto, levando em conta a possibilidade de implantar futuros projetos é necessário considerar a existência de duas importantes questões:

i) Os recursos energéticos existentes no litoral brasileiro ainda não estão devidamente mapeados e caracterizados. Dessa forma, será necessário realizar ações que permitam conhecer as características do recurso oceânico com a finalidade de guiar os desenvolvimentos das respectivas rotas. Para isso será necessário incluir questões socioambientais e do mercado da energia que mostrem a viabilidade econômica dos empreendimentos.

ii) A cadeia produtiva do país precisa se estruturar com o intuito de fornecer suporte ao desenvolvimento e à fabricação de componentes dos sistemas de geração, considerando os custos de manufatura e a qualidade dos produtos.

4. QUESTÕES SOBRE RISCOS AMBIENTAIS

A partir das anteriores considerações fica claro que com a finalidade de aproveitar a energia das marés, seja na forma de amplitude de marés ou das correntes de marés, é importante ressaltar que para qualquer empreendimento é necessário avaliar a construção, a operação, os custos e a área geográfica escolhida. Isso é necessário para evitar riscos ao meio ambiente em relação aos estuários, regiões costeiras, animais e espécies marinhas, pois a instalação de equipamentos pode resultar em efeitos diretos sobre o ecossistema local e causar modificações drásticas ou talvez irreversíveis nas características naturais da região (Gonçalves; Feijó; Abdallah, 2008).

Os fenômenos oceanográficos estão intimamente interligados aos fenômenos meteorológicos e em uma maior escala de tempo, aos climatológicos. Esses fenômenos mantêm um fluxo contínuo de massa e energia entre os oceanos e a atmosfera, definindo-se padrões climáticos mundiais (Melikoglu, 2018).

A foz do rio Amazonas apresenta os pontos de maior amplitude de maré do país, com alturas acima de 6 m e diversos pontos na área de transição entre o rio e o oceano, além de inúmeras áreas de conservação em área costeira (IBGE, 2011). A área da baía de Marajó, próxima a Belém no Pará, é caracterizada pela complexidade de seus arquipélagos, inclusive com drenagem interna às ilhas e padrões labirínticos de vias aquáticas. Possui fortes mudanças nas profundidades de seus vários canais, destoando com a largura de dezenas de quilômetros da saída do rio Amazonas.

No litoral de Recife, em Pernambuco, é possível perceber uma relativa predominância das linhas retas, em oposição ao recortado litoral Norte do País. Ao lado da regularidade da presença dos arrecifes, nota-se uma progressiva diminuição da largura da plataforma continental (IBGE, 2011).

A região de Abrolhos, no sul da Bahia, caracteriza-se como uma grande plataforma rasa, com afloramentos de recifes, corais bancos de areia e outras zonas que constitui um grande perigo à navegação, mas apresenta um ecossistema único, de grande diversidade, sendo uma das maiores e mais importantes áreas de conservação marítima do Brasil (IBGE, 2011).

Portanto, no momento de avaliar a possibilidade da construção de empreendimentos baseados na energia existente na amplitude das marés e das correntes de maré nas regiões norte e nordeste, é necessário considerar as possíveis alterações na qualidade das águas, que podem alterar suas características químicas, como salinização e oxigenação (Leite Neto, *et. al.*, 2011). Também nessas regiões, concentram-se a maior extensão de manguezais da costa brasileira, sujeitas ao regime das marés que ocorrem entre a desembocadura do rio Oiapoque, no extremo norte, e o Golfão Maranhense, formando uma barreira entre o mar, os campos alagados e a terra firme (MMA, 2018). Os mangues abrigam ecossistemas complexos que podem ou não se adaptarem às mudanças nas zonas de limite de marés. Assim, se forem construídos diques os mangues poderão ser totalmente destruídos (Sant'Ana; Tuon, 2013).

O risco de emaranhamento e colisão, principalmente para os cetáceos (baleias e golfinhos), são as principais preocupações, devido ao movimento das pás das turbinas de correntes de maré. A construção de barragens poderá cruzar a migração de algumas espécies de peixes e não há estudos que comprovem algum redirecionamento para passagens especiais, evitando as turbinas (Wilson *et al.*, 2007).

É importante ressaltar que prováveis alterações morfológicas e topográficas também serão favorecidas por essas instalações, devido ao processo natural de erosão, decorrentes da corrosão dos equipamentos em ambientes naturais salinos (Frauches-Santos, *et. al.*, 2014; Leite Neto, *et. al.*, 2011).

Outra questão relevante é a zona costeira do Brasil que se caracteriza por um alto grau de impacto pela ação humana, especialmente a partir do período do início da colonização europeia. A forte ocupação nessa área foi responsável pela intensa degradação sofrida pelo bioma Mata Atlântica, que cobria a maior parte do litoral do País. Atualmente, a cobertura vegetal desse bioma se encontra reduzida a uma área de aproximadamente 7% de sua área original (IBGE, 2011).

A ocupação humana da costa do Brasil vem causando impactos também no bioma marinho, afetando a sobrevivência das diversas espécies existentes na região. Devido ao grande número de espécies que fazem parte do bioma marinho, quase a totalidade de sua área é classificada como área de importância biológica extremamente alta ou muito alta. As áreas que se encontram fora do bioma são insuficientemente conhecidas para que se possa estabelecer seu real grau de importância (IBGE, 2011).

As áreas prioritárias para a conservação dos recifes concentram-se na costa nordeste. Para os peixes, quelônios (espécies de tartarugas) e bentos (organismos de ambiente aquático), ressalta-se que mais de 90% das áreas prioritárias de conservação encontram-se fora das áreas abrangidas por Unidades de Conservação (UC), comprovando-se a importância da definição dessas áreas como prioritárias para a preservação da fauna brasileira (IBGE, 2011).

5. COMENTÁRIOS FINAIS

Nesse trabalho percebeu-se que o Brasil apresenta possibilidades de aproveitamento da energia das marés pelas condições climáticas, características topográficas e direção das correntes marítimas, principalmente nas regiões próximas ao Amazonas, Pará e toda a região do nordeste. O norte e nordeste brasileiro são as regiões mais favorecidas, porém existem publicações que mostram que a região sul também apresenta potencial, principalmente relacionado com a energia existente nas correntes de marés. Pimenta, Kempton, Garvine (2008) combinaram dados meteorológicos e dados de satélite para avaliar o recurso de energia de marés do sudeste do Brasil. Também mapearam os recursos eólicos em países com grandes áreas de extensão sendo que no Brasil comprovou-se que os ventos offshore que sopram

sobre o sul e as plataformas continentais do sudeste apresentam potencial para o país.

Como mostrado nesse artigo, para o aproveitamento da energia das marés é necessário levar em conta a propensão de ventos que tendem a ter mais força de acordo com as condições climáticas. Nos trabalhos acima, provou-se a existência de ventos em todo o Brasil, logo, com estudos mais avançados é possível instalar futuramente sistemas de conversão de energia das marés desde que se avaliem os impactos ambientais.

Infelizmente, a principal dificuldade do Brasil ainda encontra-se em falta de investimentos em pesquisas, pois foi comprovado que ainda diversas espécies marinhas em todo o Brasil são ainda desconhecidas. Também é necessário aplicar um sistema de proteção às regiões costeiras, evitando-se impactos por habitação humana, pois as mesmas favorecem a poluição contaminação, principalmente dos mangues e aumento da erosão.

A energia das marés é uma forma de fonte renovável que poderá contribuir com a redução de combustíveis fósseis no Brasil, pois apresentou condições satisfatórias de funcionamento em outros países. Os estudos de prospecção realizados indicam que as características das regiões brasileiras favorecem a instalação desses sistemas de conversão. No entanto, como é indicado no livro publicado pelo CGEE (2017), existem algumas questões técnicas e estratégicas que deverão ser superadas para que as tecnologias baseadas no aproveitamento da energia dos oceanos atinjam um nível alto de desenvolvimento.

Dentro das questões estratégicas pode-se ressaltar a falta de políticas e medidas que sustentem o uso dessas tecnologias; o suporte financeiro; o incentivo de mercado; a falta de incentivo para a realização de projetos de P&D para o desenvolvimento da cadeia produtiva local; falta de projetos conjuntos entre grupos, fabricantes, empresas e laboratórios desenvolvedores de tecnologias *offshore*. Entre as questões técnicas associadas estão o desenvolvimento de sistemas capazes de mensurar e monitorar os efeitos no meio ambiente; a falta de uma rede de troca e de avaliação de informações sobre tecnologias; plataformas avançadas de desenvolvimento e testes de tecnologias; desenvolvimento de sistemas de O&M.

REFERÊNCIAS

- Almeida, A.; Taveira Pinto, F.; Gomes, F. V.; Paredes, G., 2009. Análise das marés meteorológicas em leixões. 6. Jornada Portuguesa de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, Universidade do Porto, Portugal. Disponível em: <<http://www.researchgate.net/publication/230737166>>. Acesso em: 22 abr. 2018.
- Bahaj, A. S., 2011. Generating electricity from the oceans. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, pp. 3399–3416.
- Calliari, L. J.; Muehc, D.; Hoefel, F. G.; Toldo Jr. E., 2003. Morfodinâmica praial: uma breve revisão. *Rev. bras, oceanografia*, v. 51, pp. 63-78.
- Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, CGEE. 2017. Prospecção tecnológica no setor elétrico brasileiro: Evolução tecnológica nacional no segmento de geração de energia elétrica e armazenamento de energia. Brasília, DF, v. 3, 396 p.
- Coelho, A. L. 2016. Método de previsão de maré oceânica, utilizando análise harmônica em séries de 18,69 anos. 113f. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.
- Eletrobrás, 1981. Centrais Elétricas Brasileiras S/A. Aproveitamentos Maremotrizes na Costa do Maranhão, Pará e Amapá-Inventário Preliminar.
- EPE, MME. Balanço Energético Nacional 2014. Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia (MME). Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2018.
- Frauches-Santos, C.; Albuquerque, M. A.; Oliveira, M. C. C.; Echevarria, A., 2014. A Corrosão e os Agentes Anticorrosivos. *Rev. Virtual de Química*, vol. 6, n. 2, pp. 293-309. Disponível em: <rvq.sbq.org.br/imagebank/pdf/v6n2a09.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2018.
- Gonçalves, W. M; Feijó, F.T; Abdallah, P.R., 2008. Energia de ondas: aspectos tecnológicos e econômicos e perspectivas de aproveitamento no Brasil. Disponível em:<<http://www.semengo.furg.br/2008/17.pdf>>. Acesso em: 01 mai. 2018.
- He, Y., Xu, Y., Pang, Y., Tian, H., Wu, R., 2016. A regulatory policy to promote renewable energy consumption in China: review and future evolutionary path. *Renewable Energy*, v. 89, pp. 695–705.
- Hidrográfico Marinha-Portugal. Marés, 2018. Disponível em: <<http://www.hidrografico.pt/glossario-cientifico-mares.php>>. Acesso em: 20 abr. 2018.
- Hil Baky, M.A., Rahman, M.M., Islam, A.K.M.S., 2017. Development of renewable energy sector in Bangladesh: current status and future potentials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 73, pp. 1184–1197.
- Hua, Y., Oliphant, M., Hu, E.J., 2016. Development of renewable energy in Australia and China: a comparison of policies and status. *Renewable Energy*, v. 85, pp. 1044–1051.
- International Energy Agency (IEA), 2018. Energy is at the heart of the sustainable development agenda to 2030. Disponível em: <<https://www.iea.org/newsroom/news/2018/march/energy-is-at-the-heart-of-the-sustainable-development-agenda-to-2030.html>>. Acesso em: 05 abr. 2018.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2011. Atlas geográfica das zonas costeiras e oceânicas do Brasil. Diretoria de Geociências, Rio de Janeiro: IBGE, pp. 176.
- Leite Neto, P. B.; Saavedra, O. R.; Camelo, N. J.; Ribeiro, L. A. S.; Ferreira, R. M., 2011. Exploração de energia maremotriz para geração de eletricidade: aspectos básicos e principais tendências. *Ingeniare: Revista chilena de*

- ingeniería, v. 19, n. 2, pp. 219-232.
- Marinha do Brasil. Modelo Oceanográfico. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/views-dados-do-smm-modelodeoceanografico?field_area_mod_hycom_value=NORTE&field_produtos_mod_hycom_value=Altura+da+superf%C3%ADcie+do+mar>. Acesso em: 04. Mai. 2018.
- Melikoglu, M., 2017. Vision 2023: status quo and future of biomass and coal for sustainable energy generation in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 74, pp. 800–808.
- Melikoglu, M., 2018. Current status and future of ocean energy sources: A global review, vol. 148, *Ocean Engineering*, pp. 563–573.
- Mingues, A.P. 1993. Navegação: A ciência e a arte: Navegação Costeira, Estimada e em Águas restritas, vol. I, Rio de Janeiro: Marinha do Brasil, cap.10.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2018. Manguezais. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-aquatica/zona-costeira-e-marinha/manguezais>>. Acesso em: 17 mai. 2018.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2017. 25 Years of Global Sea Level Data, and Counting. Jet Propulsion Laboratory, California. Institute of Technology. Disponível em: <<https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2017-212>>. Acesso em: 04 mai. 2018.
- Noel, L. 2017. The hidden economic benefits of large-scale renewable energy deployment: integrating heat, electricity and vehicle systems. *Energy Res. Soc. Sci.*, v. 26, pp. 54–59.
- Pimenta, F.; Kempton, W.; Garvine, R., 2008. Combining meteorological stations and satellite data to evaluate the offshore wind power resource of Southeastern Brazil. *Renewable Energy*, v.33, pp. 2375–2387.
- Sant'Ana, P. H.; Tuon, L. R. 2013. Usinas Maremotrizes (Geração de energia elétrica). Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/mar/mar.html>>. Acesso em: 17 mai. 2018.
- Santos, F. B. S.; Moreira, I. T. A., 2015. Viabilidade da maremotriz em algumas das regiões litorâneas do nordeste do Brasil. *Revista Eletrônica de Energia*, v. 5, n. 2, pp. 71-78.
- Sarayva, M. 2017. Maré de sizígia é registrada novamente em São Luís. Disponível em: <<http://www.ma10.com.br/2017/10/07/mare-de-sizigia-e-registrada-novamente-em-sao-luis/>>. Acesso em: 06 nov. 2019.
- Silva, A. R.; Pimenta, F. M.; Assireu, A. T.; Spyrides, M. H. C. 2016. Complementarity of Brazil's hydro and offshore wind Power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 56, pp. 413–427.
- Silva, R. G., 2012. A geração de energia maremotriz e suas oportunidades no Brasil. *Revista Ciências do Ambiente On-Line Outubro*, Universidade de Campinas, v. 8, n. 2, pp. 82-87. Disponível em: <sistemas.ib.unicamp.br/be310/nova/index.php/be310/article/viewFile/337/265>. Acesso em: 19 abr. 2018.
- Silva, R. C.; Marchi Neto, I.; Seifert, S. S., 2016. Electricity supply security and the future role of renewable energy sources in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 59, pp. 328–341.
- Solís-Chaves, J. S.; Rocha-Osorio, C.M.; Murari, A.L.L.; Lira, V. M.; Sguarezi Filho, A. J., 2018. Extracting potable water from humid air plus electric wind generation: A possible application for a Brazilian prototype. *Renewable Energy*, v.121, pp. 102-115.
- Tolmasquim, M. T., 2016. Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica/Maurício Tiomno Tolmasquim (coord.). EPE: Rio de Janeiro.
- Universidade de São Paulo (USP), 1999. Energia das Marés. Disponível em: <<http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo4B/Eneralte/mares.htm>>. Acesso em: 27 abr. 2018.
- Villalón, Watts, Cienfuegos, 2019. Assessment of the power potential extraction in the Chilean Chacao Channel. *Renewable Energy*, v.131, pp. 585-596.
- Wilson, B.; Batty, R.S.; Daunt, F.; Carter, C., 2007. Collision Risks between Marine Renewable Energy Devices and Mammals, Fish and Diving Birds. Report to Scottish Executive, Scottish Association of Marine Science, Oban, Scotland, 110 pp.

A PROSPECTIVE VISION ON THE USE OF TIDE ENERGY IN BRAZILIAN COAST

Abstract. *The evolution of electricity demand in Brazil until 2050 leads us to estimate that this growth will require between 400 GW and 480 GW of installed capacity of SIN. Therefore, it will be necessary to face the challenges for the diversification and expansion of the generation park to meet the expected demand. Among the various renewable sources, tidal energy applications are studied due to favorable climatic and geological conditions in Brazil. Studies show that the North and Northeast are the most suitable for use of this source, because it has constant tides. However, tidal currents are also present in other regions of the Brazilian coast. Thus, the objective of this paper is to raise some questions about the possibility of using the tidal energy in the Brazilian coast considering geological, climatic aspects and possible environmental impacts. The methodology used is based on the existing literature review related to this theme.*

Keywords: *Renewable energies of the sea, Tidal energy, Technological prospecting.*