



VIABILIDADE DA MAREMOTRIZ EM ALGUMAS DAS REGIÕES LITORÂNEAS DO NORDESTE DO BRASIL

Fernanda Barbosa Silva Santos
Universidade Salvador, Brasil
nandabarbosass@gmail.com

Ícaro Thiago Andrade Moreira
Universidade Salvador, Brasil
lcaro.moreira@pro.unifacs.br

RESUMO

Nos últimos anos, os estudos relacionados às fontes alternativas de energia mostrou que a exploração da energia das marés vem ganhando espaço e com isso representa uma parcela mais significativa na matriz energética mundial. O presente artigo aborda uma análise sobre a viabilidade existente em algumas regiões do Nordeste para a geração de energia maremotriz, ao avaliar as condições topográficas, assim como as principais vantagens e dificuldades encontradas e os prováveis impactos ambientais e sociais gerados. Ao final da revisão espera-se que esse documento apresente na região do Nordeste a potencialidade para a instalação de uma usina de maremotriz.

Palavras- chave: Matriz Energética; Potencialidade; Energia Maremotriz.

ABSTRACT

In the last years, studies related to alternative energy sources has shown that the exploitation of tidal power has been increasing and it represents a more significant part in the global energy mix. This article discusses an analysis of the variability in some regions of the Northeast for generating tidal energy, assessing topographical conditions as well as the main advantages and difficulties encountered and the likely environmental and social impacts. At the end of the review it is expected that this document presents the Northeast region the potential for the installation of a tidal power plant.

Keywords: Tidal Power; Global Energy Mix; Environmental; Power Plant.

1 INTRODUÇÃO

Os combustíveis fósseis ainda são fortemente utilizados na maioria dos países do mundo para geração de eletricidade, mas, o uso de carvão mineral, gás natural e petróleo têm sido identificados como uma das principais fontes de emissão de gases poluentes. Para que a sustentabilidade se prolongue, seria importante que essas fontes de energia fossem substituídas por energias limpas e renováveis (MIRZAEI et al., 2015).

Energias renováveis são definidas como toda energia proveniente de fontes naturais que podem se renovar e não se esgotam. Uma dessas fontes de energia que tem sido explorada para a produção de eletricidade, é proveniente da amplitude de marés. A maremotriz gera energia elétrica utilizando a energia cinética e potencial do mar, é o modo de geração de energia através da utilização do movimento das ondas, provocada pelas marés (LOTTE et al., 2008).

Sendo a maior parte do planeta Terra constituída predominantemente por água (oceanos, mares, rios, lagos), este recurso representa uma enorme fonte de energia, podendo ser desenvolvidos meios que possibilitem o aproveitamento desta forma de energia renovável. Os oceanos possuem um potencial energético enorme, que pode contribuir de forma significativa para as necessidades crescentes de energia (CRUZ E SARMENTO, 2004).

O Brasil é um país de dimensões continentais que possui 8.500 Km de linha de costa, sendo que grande parte da população brasileira vive próximo ao mar (FLEMING, 2012). A área do Nordeste Brasileiro é de aproximadamente 1.558.196 km², equivalente a 18% do território nacional e é a região que possui a maior costa litorânea (IBGE, 2015).

2 CONDIÇÕES TOPOGRÁFICAS FAVORÁVEIS

Para a implantação de uma usina é necessária uma situação geográfica adequada para esse tipo de exploração de energia maremotriz, e uma amplitude de maré que seja significativa é uma condição extremamente importante. Com isso aspectos que devem ser considerados foram destacados para esse estudo com uma breve introdução, tais como a importância dos ventos para a formação das ondas e marés; os tipos de marés existentes que variam de local para local, assim como a energia das correntes de marés que é uma alternativa tecnológica da geração de energia das marés em regiões costeiras.

2.1 Ventos

Entre todas as ondas oceânicas, as geradas pelos ventos são as que possuem maior concentração de energia. As ondas que possuem maior amplitude vêm de enormes distâncias, da ordem de milhares de quilômetros desde sua região de formação, possuindo uma forma mais regular (GEOFISICA, 2006).

Nos oceanos as ondas superficiais são geradas pela interação dos ventos com a superfície. Ao soprar paralelos à superfície, os ventos transferem energia cinética para o mar e uma parte desta energia acaba por gerar as ondas. A quantidade de energia transferida do vento vai depender de três valores principais que contribuem para o tamanho e força das ondas, que são: a intensidade do vento, o tempo de atuação deste vento e a área sobre a qual está atuando, a chamada pista, como mostra a Figura 1. Sendo assim, quanto maior for o período durante o qual soprar o vento e quanto mais intenso este for, maior será a altura das ondas que se formam (FLEMING, 2012).

O Nordeste brasileiro é influenciado pelos ventos alísios, que oscilam de intensidade e direção entre o oceano e o continente, e que se tornam mais fortes quanto mais distantes da Depressão Equatorial, possuindo um ciclo anual bem definido (SANTANA, 2014).

2.2 Tipos de Marés

As marés são classificadas em três tipos pela frequência com que ocorrem e simetria de sua curva: na maré semi-diurna ocorrem duas preamares e duas baixa-mares em um dia lunar (24h 50 min.). É o tipo de maré mais comum; a maré diurna ocorre apenas uma preamar e uma baixa-mar que são praticamente iguais a

cada dia lunar e a maré mista normalmente ocorrem duas preamares e duas baixa-mares com grande diferença de altura entre elas (DYER, 1997). Na Figura 2 são demonstrados os três tipos e sua distribuição no mundo.

No litoral brasileiro, a maior parte dos estados apresenta amplitudes de marés inferiores a 2 metros, que são as micromarés. Nos estados do Maranhão, Pará e no Amapá possuem amplitudes chamadas de macromarés, que são superiores a 4 metros. O restante do litoral e alguns trechos do litoral da Bahia e Sergipe apresentam mesomarés com amplitudes entre 2 e 4 m (TESSLER & GOYA, 2005).

2.3 Energia das correntes de marés

A energia das correntes de marés é o modo de geração de eletricidade através da utilização da energia contida no movimento de massas de água devido às marés, que poderá ser convertida com princípios similares aos da energia eólica. A mais comum utiliza uma turbina, posicionada na direção normal ao escoamento e montada sob uma base submarina ou suspensa em uma plataforma flutuante. O movimento das águas movimentam a turbina ligada a um gerador que transforma esse movimento em energia (PONTA, 2007).

As causas que produzem as correntes marinhas podem ser: pela ação do vento, sobretudo os ventos sazonais, constantes e de longo período, como os alísios; pela diferença de características físicas e químicas das águas, principalmente pela diferença de temperatura e salinidade que, conseqüentemente, modificam a densidade; pelo efeito Coriolis devido à rotação terrestre; e pelas marés oceânicas (MINGUES, 1993).

Os dispositivos são instalados submersos em águas oceânicas, estes dispositivos devem levar em consideração o rigor do ambiente marinho com ocorrência de eventos extremos, o sistema de vedação dos mecanismos do equipamento, a corrosão devido à solução salina, a existência de plantas aquáticas, a possibilidade de choques com lixo e objetos jogados ao mar e o cuidado com a vida marinha (PONTA, 2007).

3 Conversores de energia de ondas

Os conversores de energia são dispositivos que aproveitam a oscilação vertical das ondas, através de um sistema mecânico ou de diferenças de pressão sobre um circuito hidráulico impulsionando um gerador que produz eletricidade (SOUZA, 2011) Que podem ser apresentados com relação à distância ou a profundidade em que serão instalados a partir da costa, onde existem três tipos de conversores: dispositivos onshore, nearshore e offshore (LÓPEZ et al., 2013).

- Dispositivos costeiros (onshore): estão fixos ou incorporados à costa, tendo como vantagens a facilidade de instalação e manutenção. Além disso, dispositivos costeiros não necessitam de sistemas de ancoragem e longos cabos elétricos submersos. No entanto, a sua maior desvantagem é que na linha costeira estão sujeitos a um regime de ondas menos intensos, ou seja, ondas que já perderam energia até atingir a costa.

- Dispositivos próximos à costa (nearshore): são instalados em profundidades moderadas (~20-25 m) e distâncias de até aproximadamente 500 m da costa. Estes dispositivos têm praticamente as mesmas vantagens dos dispositivos costeiros, estando, ao mesmo tempo, expostos a maiores energias de ondas, mas a estrutura suporta o estresse que surge quando as ondas passam sobre ele.

- Dispositivos afastados da costa (offshore): esses conversores estão localizados em águas profundas (~40-50 m) expostos a regimes de ondas mais energéticos, e construído em estruturas flutuantes ou ancorados ao fundo do mar. Devido à sua localização, por causa do mar aberto, a capacidade de sobrevivência do dispositivo é um grande problema, sua estrutura tem de suportar cargas muito elevadas, e sua manutenção é um processo complicado e caro.

4 REGIÃO NORDESTE

A região do Nordeste é composta por nove estados, que são: Bahia, Ceará, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Piauí, Maranhão, Alagoas e Sergipe. Dentre esses estados, três cidades importantes foram escolhidas para uma análise da potencialidade da região com relação à amplitude de maré existente. Em um estudo feito com dados das amplitudes diárias dessas cidades, conferindo a existência ou não da potencialidade para energia maremotriz.

4.1 Estudo sazonal das amplitudes no MA, PE e BA

Para analisar esse ponto do presente artigo, foram utilizados dados obtidos através da Marinha do Brasil (Tábuas de Marés, 2015), sobre as amplitudes de marés de três estados (Maranhão, Pernambuco e Bahia) no período de Janeiro a Setembro do ano de 2015, para o estudo sobre a viabilidade de geração de energia elétrica a partir da energia das marés no litoral do Nordeste. Os dados utilizados para compor o estudo são previsões que foram feitas para cada dia num período de tempo de 6 em 6 horas. Após coletadas as amplitudes foi feita a média e em seguida os gráficos informando a variação dos níveis de marés existente nos meses, assim como a diferença entre os estados onde se observa que no Maranhão sua amplitude é bem maior.

5 ESTUDO ECONÔMICO

As usinas maremotrizes possuem um alto custo inicial, especialmente nas obras de construção civil, além de longos períodos de construção. A determinação dos custos totais compreende o levantamento e a soma de todos os custos de investimento, onde incluem equipamentos; licenças; patentes; despesas de instalação, etc. O estudo econômico tem o intuito de fazer com que a viabilidade possua custos baixos de operação. Uma produção em escala, por exemplo, com uma maior compra de equipamentos, seria uma alternativa para diminuir os custos (GONÇALVES et al., 2008).

Com relação aos aspectos socioeconômicos, haverá geração de postos de trabalhos com a instalação da usina. Assim como, trarão benefícios à comunidade gerando atividades turísticas no entorno das usinas (ROQUE, 2015).

O custo da geração maremotriz e conseqüentemente a sua viabilidade, varia de um país para outro, de acordo com as condições energéticas, sociais e ambientais diversas (GONÇALVES et al., 2008). Os grandes projetos são mais econômicos do que os pequenos, pois por kWh produzido o valor se torna menor. Assim, para uma usina de 100 MW, por exemplo, o custo de operação mínimo seria de 0,005 US\$ por kWh produzido, com isso o capital investido é estimado em 1200 a 1500 US\$ por kWh. A construção de um sistema como a de La Rance ficaria em torno de US\$ 3.200 (LIMA et al., 2013).

6 RISCOS AMBIENTAIS

A exploração da energia maremotriz, não produz nenhuma poluição direta ao meio-ambiente, pelo fato de ser uma fonte de energia considerada limpa. Porém, para a construção e operação de uma usina maremotriz é necessário que se tenha um cuidado adequado com relação aos estuários, pois a instalação pode resultar em efeitos diretos sobre o ecossistema local e causar algumas modificações nas características naturais do local (GONÇALVES et al., 2008).

Alguns dos aspectos que devem ser analisados são as possíveis alterações na qualidade da água, que podem gerar mudanças nas características químicas da água, como a salinização e a oxigenação; e devido a prováveis alterações nos regimes de sedimentação e erosão, é possível que haja alteração na morfologia do estuário (NETO et al., 2011).

Estas alterações variam de acordo com o local, entretanto, podem ser formuladas levando-se em consideração aspectos como alterações na distribuição das espécies dentro do estuário e com a composição do grupo de espécies onde algumas podem deixar de existir, enquanto novas espécies podem surgir (GONÇALVES et al., 2008).

7 MAREMOTRIZ NO MUNDO

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2013), França, Japão, Inglaterra e Havaí já utilizam essa forma de geração de energia. Outros países como Canadá, México, Reino Unido, EUA, Argentina, Austrália, também possuem usinas, porém, se encontram em construção ou em fase de planejamento, assim como o Brasil.

No Brasil, o projeto do Bacanga é um estudo piloto, que se encontra em São Luís no Maranhão e que possui quatro turbinas, com uma potência estimada de 10MW. Porém, ela está sendo utilizada apenas para fins de pesquisa, pois ainda não tem capacidade para tornar o Maranhão autônomo em abastecimento, mas faz parte de uma estratégia nacional de fontes alternativas de geração de energia limpa (FERREIRA, 2007).

O primeiro projeto de energia maremotriz no mundo foi a barragem La Rance na França, que entrou em operação em 1966. A barragem tem comprimento total de 750 metros, possui 24 turbinas que tem potência unitária de 10 MW cada uma, com 5,3 metros de diâmetro e 470 toneladas. Sua produção anual é de aproximadamente 600 GWh, o que representa 45% de eletricidade gerada na região (FERREIRA et al., 2008).

O Projeto Mighty Wale que se encontra em Gokasho no Japão, é uma balsa com 50 metros de comprimento, 30 metros de largura e 12 metros de profundidade, dividida internamente em três compartimentos contendo ar. O balanço das ondas gera uma pressão no interior dos compartimentos, acionando uma turbina elétrica e gerando 110 KW (COSTA, 2004).

A usina Meygen é um projeto recente, que será instalada no Condado de Caithness, no litoral nordeste da Escócia, e começou a ser construída no início de 2015, pretendendo ser a maior usina de energia das marés do mundo. Depois de finalizada a usina terá 269 turbinas instaladas no fundo do mar, que será suficiente para abastecer 175 mil casas com potencial total de 400 MW. Estima-se que uma pequena parte das turbinas fiquem prontas em 2016 e comece a gerar energia para abastecer 46 mil casas (MEYGEN, 2015).

7 LIMITAÇÕES E DESAFIOS

Na atualidade, a maior limitação com relação à utilização de usinas maremotrizes no Brasil está no custo e investimento para a instalação. Apesar de possuir grandes vantagens com relação a outras fontes de energia, o custo de instalação; manutenção com os materiais, ainda se encontra muito alto (GONÇALVES et al., 2008).

Além do que, com relação aos locais possíveis para a instalação de uma usina maremotriz, no Brasil é muito limitado, pois são necessárias condições topográficas favoráveis para tal. A construção de uma barragem através do estuário causa efeitos significativos no ecossistema local, mudanças no padrão das marés e correntes, durante a construção e operação da usina, onde causam sedimentação, assim como a salinidade e qualidade da água que acabam sendo modificadas, também causando impactos na vida silvestre, de peixes e aves migratórias (NETO et al., 2011).

Como desafio será necessário desenvolver tecnologia adequada para tornar o projeto economicamente viável, com opções que diminuam os altos custos das instalações e que sejam desenvolvidas para o litoral brasileiro, pois as tecnologias desenvolvidas fora do Brasil são recomendadas para locais com profundidades mais altas que as encontradas. Podendo assim atrair investidores que possam bancar os custos.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Segundo os estudos apresentados pode-se perceber que o Brasil possui algumas regiões de alta potencialidade. Devido a sua abrangente costa litorânea do Nordeste, percebe-se hoje em dia a necessidade de fontes de energia que sejam limpas e renováveis. Com o constante avanço na tecnologia e o extenso potencial energético que as águas marinhas possuem, o aproveitamento da energia maremotriz se torna de bastante interesse.

Atualmente, a tecnologia já está sendo utilizada em diversos países do mundo comprovando que é possível a exploração desse tipo de energia. Para isso é necessário que os locais a serem explorados possuam potenciais significativos para este modelo. Como no litoral do Maranhão que através do estudo realizado neste trabalho apresentou condições favoráveis à implementação da maremotriz com uma amplitude de maré

relativamente grande, chegando a 6 metros. Pois apenas uma pequena parte da quantidade de energia que as ondas produzem pode ser utilizada para fornecer eletricidade, e para o aproveitamento da energia maremotriz é necessária uma amplitude de marés que seja superior a 5 metros para que seja rentável.

No Brasil, apesar da grande potencialidade ainda não há qualquer usina maremotriz em funcionamento. No momento se encontram com pesquisas já em andamento com propostas de usinas-piloto apresentando grandes avanços, porém as limitações ainda estão presentes. Um ponto bastante favorável são os avanços dos equipamentos eletromecânicos, que permitem a exploração de locais com marés baixas. No entanto é necessário que se tenha estudos bastante detalhados que englobem os impactos ambientais e sociais nas regiões estudadas, pois os impactos que são gerados podem ser bastante significativos.

Portanto a energia maremotriz é uma fonte de energia renovável e limpa, que não emite gases de efeito estufa, que hoje em dia é de grande importância para todo o mundo. De modo que, no final deste ano de 2015, em Paris, será realizada a 21ª Conferência do Clima (COP-21), que terá como principal objetivo assinar um novo acordo global, que possa substituir o Protocolo de Kyoto, para diminuir a emissão de gases de efeito estufa, diminuindo o aquecimento global limitando o aumento da temperatura global em 2°C até 2100. A necessidade urgente da melhora da qualidade do ar está fazendo muitos países levarem os governos a adotarem medidas que reduzam a poluição em geral. Assim, essa fonte alternativa de energia das marés possui uma grande importância como ferramenta para cumprir o acordo da COP-21.

REFERÊNCIAS

COSTA, Paulo Roberto. **Energia das ondas do mar para geração de eletricidade**. 2004. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.

CRUZ, J. M.; SARMENTO, A. J. **Energia das ondas: introdução aos aspectos tecnológicos, económicos e ambientais**. Portugal: Instituto do Ambiente Alfragide, 2004.

FERREIRA, R. M. D. S. D. A. **Aproveitamento da energia das marés estudo de caso: estuário do Bacanga, MA**. 2007. Dissertação (Mestrado) - Programa de Engenharia Oceânica - COPPE/UFRJ - Rio de Janeiro, 2007.

FERREIRA, R., ESTEFEN, S. **Aproveitamento da energia das marés para a geração de eletricidade**, 2008. Disponível em: <<http://cerpch.unifei.edu.br/wp-content/uploads/revistas/revista-38.pdf#page=28>> Acesso em: 11 set. 2015.

FLEMING, Fernanda Pereira. **"Avaliação do Potencial de Energias Oceânicas no Brasil**. 2012. Dissertação (Mestrado) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012.

GOMES, A. S. **Ondas Marinhas"**. DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA MARINHA – Universidade Federal Fluminense. 2003. Disponível em: <<http://www.uff.br/ecosed/ondas.pdf>> Acesso em: 20 nov. 2015.

GONÇALVES, W. M; FEIJÓ, F.T; ABDALLAH, P.R. 2008. **Energia de ondas: aspectos tecnológicos e económicos e perspectivas de aproveitamento no Brasil**. Disponível em: <<http://www.semengo.furg.br/2008/17.pdf>>. Acesso em: 01 out. 2015.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 09 set. 2015.

LELLIS, M.M. **Fontes Alternativas de Energia Elétrica no Contexto da Matriz Energética Brasileira**: meio ambiente, mercado e aspectos jurídicos, 2007. Disponível em: <
<http://saturno.unifei.edu.br/bim/0031363.pdf>> Acesso em: 10 set. 2015.

LICENCIATURA EM METEOROLOGIA OCEANOGRÁFICA GEOFÍSICA. **Ondas no Oceano**, 2006. Disponível em: <
<http://geofisica.fc.ul.pt/index.htm>> Acesso em: 23 nov. 2015.

LIMA, S. L.; SAAVEDRA, O. R.; BARROS, A. K.; CAMELO, N. J. **Projeto da Usina Maremotriz do Bacanga**: Concepção e Perspectiva, Universidade Federal do Maranhão. São Luís, 2013.

LÓPEZ, I.; ANDREU, J.; CEBALLOS, S.; ALEGRÍA, I. M.; KORTABARRIA, I. **Review of wave energy technologies and the necessary power–equipment**. Disponível em: < www.elsevier.com/locate/rser > Acesso em: 13 nov. 2015.

LOTTE, W. R.; TOMCZAK, G.V.; FERNANDES, O. F.; PEREIRA, R.; RICHOCK, B.; BUSNELLO L. D.; MARTINS, F. A **Energia das Marés**, 2008. Universidade Paranaense – UNIPAR. Disponível em:
<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgVcMAB/maremotriz>> Acesso em: 09 set. 2015.

MARINHA DO BRASIL – **Tábuas de Marés**, 2015. Disponível em: < <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-previsao-mare/tabuas/>>.

MEYGEN – The Tide of change in Caithness. **The Meygen Project**, 2015. Disponível em: <
<http://www.meygen.com/the-project/pentland-firth-inner-sound/>> Acesso em: 24 nov. 2015.

MINGUES, A.P. **Navegação: A ciência e a Arte – Volume I – Navegação Costeira, Estimada e em Águas restritas**. ed. Marinha do Brasil, cap.10. 1993.

MIRZAEI, A.; TANGANG, F.; JUNENG, L. **Wave energy potential assessment in the central and southern regions of the South China Sea**. Disponível em: < www.elsevier.com/locate/renene >. Acesso em: 28 set. 2015.

NETO, P.B.L.; SAAVEDRA, O.R.; CAMELO, N.J.; RIBEIRO, L.A.S.; FERREIRA, R.M. **Exploração de energia maremotriz para geração de eletricidade**: aspectos básicos e principais tendências. Instituto de Energia Elétrica. Universidade Federal do Maranhão. São Luís, Brasil, 2011.

PONTA, F.L.; JACOVKIS, P.M. Marine-current power generation by diffuser-augmented floating hydro-turbines. **Renewable Energy**. 2007.

SANTANA, L. V. R. **Análise do comportamento da velocidade do vento na região Nordeste do Brasil utilizando dados da ERA-40**". 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2014.

SOUZA, R.A. **Escolha de Tecnologia de conversão de energia das ondas em energia elétrica**. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande – FURG. Rio Grande, 2011. Disponível em: <
<http://www.engenhariaoceanica.furg.br/arquivos/souza,r.a.pdf> > Acesso em: 28 nov. 2015.

TESSLER, M. G.; GOYA, S.C. Conditioning factors of coastal processes in the Brazilian Coastal Area. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 17, São Paulo, 2005.