

PESQUISAS E PROJETOS DESENVOLVIDOS NO BRASIL PARA O APROVEITAMENTO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM ONDAS E MARÉS

Marcelo Florêncio (UFABC) - marcelo.florencio@ufabc.edu.br

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

Resumo:

O Brasil tem um litoral de 7.300 quilômetros de extensão e pesquisas indicam que possa existir um potencial de exploração de energias renováveis do mar de 114 GW com a utilização de dispositivos conversores de energia elétrica. O objetivo deste artigo é realizar uma revisão dos principais empreendimentos realizados no Brasil com a finalidade de mostrar os avanços neste tipo de geração e o quanto ainda é necessário desenvolver nesta área do conhecimento. A metodologia utilizada é a pesquisa exploratória efetuada em diversos documentos disponíveis no país. Os principais projetos são: na Região Norte a construção de uma barragem para aproveitar o ciclo da maré, na Região Nordeste um dispositivo onshore instalado no porto do Pecém e na Região Sudeste um dispositivo offshore que vai ser instalado no litoral do Rio de Janeiro. Estes projetos foram implantados para atender as características específicas do litoral brasileiro e o seu potencial de geração está de acordo com a realidade atual do desenvolvimento do setor.

Palavras-chave: *Potencial de energias renováveis do mar, Projetos em ondas e marés, Conversores de energia do mar.*

Área temática: *Outras fontes renováveis de energia*

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

PESQUISAS E PROJETOS DESENVOLVIDOS NO BRASIL PARA O APROVEITAMENTO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM ONDAS E MARÉS

Marcelo Florêncio – marcelo.florencio@ufabc.edu.br

Federico Bernardino Morante Trigo – federico.trigoso@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. O Brasil tem um litoral de 7.300 quilômetros de extensão e pesquisas indicam que possa existir um potencial de exploração de energias renováveis do mar de 114 GW com a utilização de dispositivos conversores de energia elétrica. O objetivo deste artigo é realizar uma revisão dos principais empreendimentos realizados no Brasil com a finalidade de mostrar os avanços neste tipo de geração e o quanto ainda é necessário desenvolver nesta área do conhecimento. A metodologia utilizada é a pesquisa exploratória efetuada em diversos documentos disponíveis no país. Os principais projetos são: na Região Norte a construção de uma barragem para aproveitar o ciclo da maré, na Região Nordeste um dispositivo onshore instalado no porto do Pecém e na Região Sudeste um dispositivo offshore que vai ser instalado no litoral do Rio de Janeiro. Estes projetos foram implantados para atender as características específicas do litoral brasileiro e o seu potencial de geração está de acordo com a realidade atual do desenvolvimento do setor.

Palavras-chave: Potencial de energias renováveis do mar, Projetos em ondas e marés, Conversores de energia do mar.

1. INTRODUÇÃO

Existe o interesse crescente em desenvolver dispositivos para a conversão da energia oceânica em eletricidade em diversos países do mundo. Nestes países têm sido realizado investimentos nas universidades para realizar pesquisas e desta forma aprimorar o conhecimento desta tecnologia (Bahaj, 2011).

O potencial teórico para aproveitamento da energia do oceano no mundo é estimado em 7.400 EJ/ano (IPCC, 2012). A energia marinha tem muitas formas de aproveitamento: marés, ondas, corrente marinhas, gradiente de salinidade e gradiente térmico. Alguns destes recursos são distribuídos globalmente enquanto outros estão concentrados em determinadas regiões do planeta. A energia térmica está concentrada nos trópicos, próximo ao Equador, enquanto a energia proveniente das ondas está concentrada principalmente nas latitudes 30° e 60° (IPCC, 2012).

Existem poucos empreendimentos comerciais em operação e os melhores resultados obtidos são provenientes do aproveitamento de marés. Os maiores empreendimentos desta tecnologia são a planta Sihwa na Coreia do Sul com a capacidade de 254 MW e a planta La Rance na França com a capacidade de 240 MW. Os projetos relacionados ao aproveitamento das ondas e marés são os que tem o maior número de pesquisa e desenvolvimento em diversas universidades no mundo (REN21, 2019).

O Brasil possui um litoral com 7.300 quilômetros de extensão, portanto existe a possibilidade de desenvolver diversos projetos para aproveitar o recurso energético do mar existente nesta extensa costa. Para verificar a viabilidade da instalação dos novos projetos oceanicos, deve ser realizadas avaliações específicas e desta forma conhecer o potencial teórico de acordo com as características do local escolhido. Também é necessário incentivar a realização de pesquisas e testes para desenvolver protótipos que sejam capazes de obter a melhor eficiência de acordo com as características dos recursos oceânicos brasileiros.

Foi realizado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), uma avaliação do potencial teórico de energia oceânica no Brasil. Este levantamento teve medições locais e pesquisas teóricas, na qual foi identificado que no litoral da Região Norte existe um potencial energético estimado de 27 GW em função das marés que variam de 5 a 11 metros. As ondas no litoral brasileiro possuem como característica uma altura que oscila entre 1,2 a 3 metros com um período predominante de 5 a 12 segundos. Com esta referência foi possível estimar o potencial energético das ondas no Brasil que tem 22 GW no Nordeste, 30 GW no Sudeste e 35 GW no Sul. Portanto a somatória do potencial de ondas e marés no Brasil é de aproximadamente 114 GW, conforme a distribuição demonstrada na Fig. 1 (Tolmasquim, 2016).

Para explorar os recursos oceanicos, o Brasil conta com a vantagem de possuir experiência nas tecnologias de águas profundas em função da exploração das bacias de petróleo do pré-sal. As pesquisas existentes dos campos de petróleo e gás podem ser aproveitadas para incentivar o desenvolvimento, a construção, a instalação e a manutenção de dispositivos de conversão de energia das ondas *offshore*. Alguns projetos referentes à exploração da conversão da energia do oceano para energia elétrica têm sido realizados no Brasil. Pode-se destacar o conversor hiperbárico e o projeto do absorvedor pontual desenvolvido pela UFRJ e o projeto da usina maremotriz de Bacanga desenvolvida pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA) (Estefen, 2015).



Figura 1 - Potencial teórico brasileiro de ondas e marés.
Fonte: Adaptado Tolmasquim, 2016

Nesse sentido, o objetivo deste artigo é realizar uma revisão e análise crítica dos principais empreendimentos de conversão da energia dos oceanos em energia elétrica que foram implantados no Brasil. O intuito é mostrar os avanços neste tipo de geração e o muito que ainda é necessário pesquisar e desenvolver nesta área do conhecimento. A metodologia utilizada está baseada na pesquisa exploratória efetuada em diversos documentos disponíveis.

2. PESQUISAS DESENVOLVIDAS SOBRE ENERGIA OCEÂNICA NAS UNIVERSIDADES BRASILEIRAS

2.1 Pesquisas desenvolvidas sobre energia oceânica

No Brasil, poucas universidades têm desenvolvido projetos de pesquisas relativos a energia do mar, sendo elas a Universidade Federal do Rio de Janeiro, a Universidade Federal do Maranhão e a Universidade Federal de Itajubá (Estefen, 2015). Os principais projetos de pesquisas desenvolvidas para o aproveitamento de energias oceânicas na geração de eletricidade no Brasil são:

Energias das marés

A UFRJ e a UFMA, desenvolveram pelo CNPq, uma pesquisa referente à barragem para aproveitar a energia maremotriz no estuário de Bacanga, este projeto foi realizado no período de 2008 a 2012.

Existe um novo projeto de pesquisa no CNPq, cujo título é “Instituto nacional de ciência e tecnologia de energias oceânicas e fluviais”. Dentre as diversas linhas de pesquisa existe a que vai analisar a revitalização e a instalação de uma usina piloto de aproveitamento maremotriz na barragem do rio Bacanga em São Luiz. A vigência desta pesquisa é de 25/11/2016 a 30/11/2022, ela está sendo conduzida pela UFMA.

Energias das ondas

Em 2001 foi estabelecido o grupo de pesquisa de energia renovável oceânica no Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) na UFRJ. Este grupo é responsável pelo desenvolvimento de diversas linhas de pesquisas referente a conversores de energia *onshore*, *nearshore* e *offshore*.

Experimentos de um conversor de ondas *onshore*, foi realizado em parceria com a Eletrobras, Eletrosul e a Aneel. Esta pesquisa aconteceu no período de 2004 a 2007;

Avaliação experimental de um conversor de ondas *offshore*, foi realizado em parceria com a Petrobras. Esta pesquisa aconteceu no período de 2008 a 2009;

Foi desenvolvido um protótipo *onshore* de energia das ondas em parceria com a *Tractebel Energia* e a *Aneel*. Esta pesquisa foi realizada no período de 2010 a 2014.

Foi desenvolvido um protótipo *nearshore* de energia das ondas em parceria com a *Seahorse Wave Energy*, Furnas e a *Aneel*. Esta pesquisa foi realizada no período de 2013 a 2017.

Diversas dissertações de mestrado e teses de doutorado referente à energia do Mar foram desenvolvidas na universidade federal do Rio de Janeiro.

2.2 Laboratórios para o desenvolvimento da energia oceânica COPPE/UFRJ

O Programa de Engenharia Oceânica da Universidade Federal do Rio de Janeiro foi criado em 1967, desde esta época são realizadas diversas pesquisas de mestrado e doutorado neste programa. Para desenvolver os protótipos e realizar os testes, existem diversos laboratórios onde é possível simular as características do ambiente marinho. Os principais laboratórios que realizam o desenvolvimento de projetos de conversores relativos a energia do mar são: o Laboratório de Tecnologia Submarina e o Laboratório de Energia Oceânica (COPPE, 2019).

Laboratório de Tecnologia Submarina - LTS

Este laboratório foi criado em 1989, sendo vinculado ao programa de Engenharia Naval e Oceânica. Ele atua no desenvolvimento de estudos e tecnologias para a exploração dos recursos do mar, principalmente nas tecnologias para águas profundas. Uma das linhas de pesquisa deste laboratório é referente a energias renováveis, o que proporcionou o desenvolvimento de dois projetos relacionados a conversores de energia das ondas. O LTS conta com três câmaras hiperbárica, as quais foram utilizadas para desenvolver o conversor hiperbárico de energia das ondas, instaladas no Pecém (COPPE, 2019). A câmara hiperbárica vertical pode ser observada na Fig. 2.



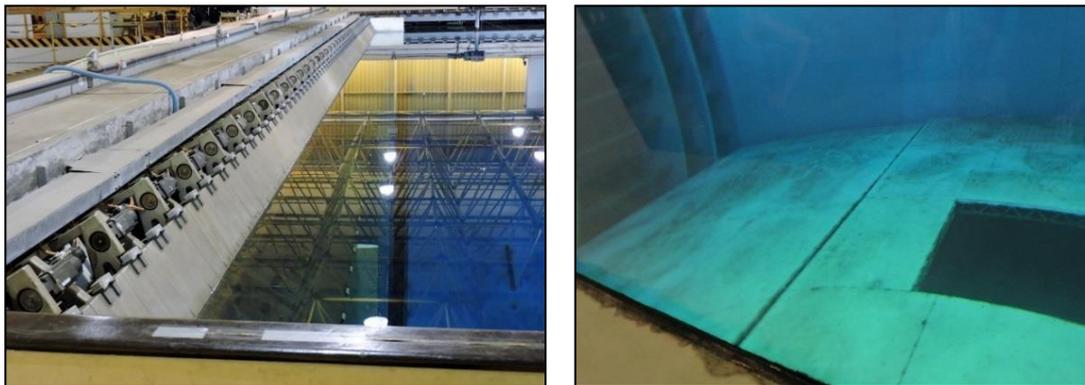
Figura 2 – Câmara hiperbárica vertical.
Fonte: COPPE, 2019

Laboratório de Energia Oceânica - LabOceano

No laboratório de tecnologia oceânica é possível realizar ensaios com modelos de escala reduzida, ele é vinculado ao programa de Engenharia Naval e Oceânica. Este laboratório é utilizado para a realização de pesquisas referentes à indústria de petróleo *offshore*, aproveitamento da energia das ondas e da energia térmica dos oceanos. O tanque tem dimensões de 30 metros por 40 metros e possui uma profundidade de 15 metros, com um poço central com 10 metros adicionais. O poço central e as plataformas são utilizados para ajustar as condições de modelagem oceânica referente à profundidade necessária para a realização dos testes com os protótipos (COPPE, 2019).

O laboratório possui equipamentos geradores de ondas multidirecionais que permitem simular as principais características oceânicas, o que proporciona a realização de testes de protótipos de dispositivos conversores de energia oceânica de acordo com as características do litoral brasileiro (COPPE, 2019). Nas Fig. 3 e Fig. 4 podem ser verificados

os dispositivos geradores das ondas e correntes do laboratório LABOceano.



Figuras 3 e 4 – dispositivos geradores de ondas e correntes.
Fonte: Própria, 2018

3. PROJETOS REALIZADOS COM CONVERSORES DE ENERGIA DAS ONDAS NO BRASIL

3.1 Conversor hiperbárico de energia das ondas – COPPE/UFRJ

A UFRJ desenvolveu um dispositivo de conversão das ondas *onshore* que foi instalado no litoral do Ceará no Porto do Pecém. A capacidade instalada deste sistema é de 100 KW (Tolmasquin, 2016). Este dispositivo pode ser verificado na Fig. 5.



Figura 5 - Dispositivo *onshore* no Pecém– COOPE/UFRJ
Fonte: Estefen, 2015

A primeira etapa do processo de implantação foi verificar as características das ondas no local de instalação, para isso foi realizada uma análise do histórico de 5 anos de medição. A predominância das ondas registradas no porto do Pecém foi de uma altura entre 1 a 1,75 metros, com períodos entre 5 a 7 segundos (Estefen, 2014).

Este conversor de energia das ondas é composto por: módulos de bombeamento, um acumulador hidropneumático de dois estágios, uma câmara hiperbárica, uma turbina Pelton e um gerador elétrico. Neste sistema cada dispositivo flutuante está ligado a uma bomba hidráulica por um braço articulado (Estefen, 2014).

O funcionamento baseia-se na transferência da energia da oscilação das ondas para o flutuador que está acoplado ao braço articulado, que em forma de alavanca aciona a bomba hidráulica. Esta bomba aspira e envia a água para o acumulador hidropneumático que está interligado com a câmara hiperbárica. O acumulador hidropneumático de dois estágios separa o gás da água pressurizada, sendo que o gás é acumulado na câmara hiperbárica. O acumulador trabalha em conjunto com a câmara hiperbárica, sendo este sistema responsável pelo armazenamento de energia. A água pressurizada é utilizada para acionar uma turbina Pelton que está conectada a um gerador para produzir energia elétrica (Martínez, 2012). Este sistema pode ser verificado na Fig. 6.

A máxima extração de energia vai ocorrer quando o flutuador estiver em ressonância com a frequência da onda. O volume do acumulador hidropneumático e da câmara hiperbárica é um fator importante para a redução da oscilação da pressão. Porém o tamanho destes equipamentos, que são responsáveis pelo controle da pressão está diretamente ligado ao custo do empreendimento. Uma forma de reduzir o investimento é incluir uma válvula de controle de fluxo na turbina, com este equipamento é possível conseguir um melhor controle na potência gerada (Estefen, 2014). Este sistema de controle pode ser verificado na Fig. 7.

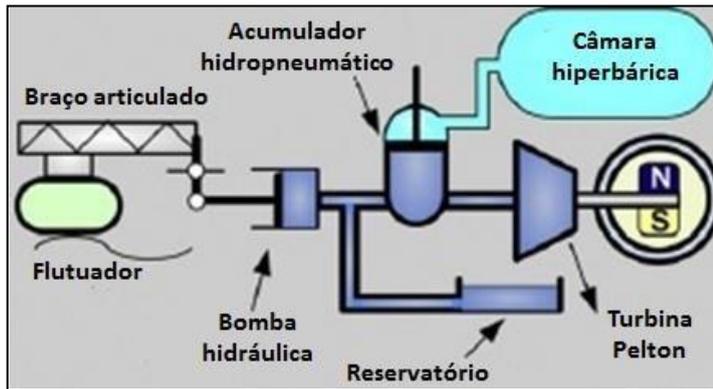


Figura 6 - Dispositivo hiperbárico – COOPE/UFRJ
 Fonte: Adaptado de Martínez, 2012.

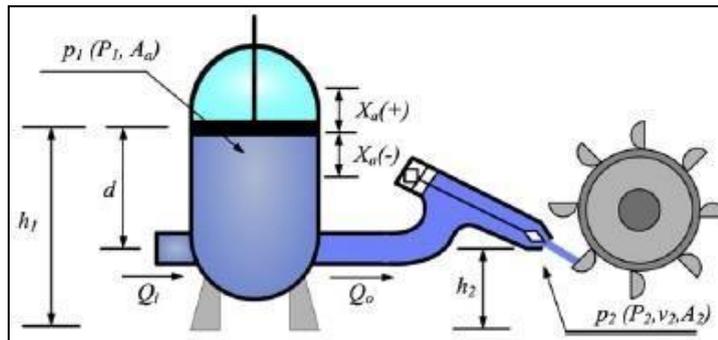


Figura 7- Sistema de controle de vazão para a turbina – COOPE/UFRJ
 Fonte: Martínez, 2012.

3.2 Protótipo de um conversor absorvedor pontual flutuante – COPPE/UFRJ

Pesquisadores da UFRJ estão envolvidos em um projeto para desenvolver a instalação de um protótipo *offshore* no litoral do Rio de Janeiro em uma profundidade de aproximadamente 45 m. Este dispositivo que está em fase de testes, vai ter uma potência de 50 KW (Estefen, 2015). A tecnologia de conversores de energia das ondas está na fase pré-comercial e o conceito mais viável disponível atualmente, consiste no modelo denominado absorvedor pontual (AP). Este projeto consiste em uma boia cujas dimensões de comprimento e diâmetro são otimizadas para absorver a máxima potência em função da frequência e da altura das ondas predominantes no local de instalação (Shadman, 2018).

A primeira etapa do processo foi determinar as características das ondas no litoral do Rio de Janeiro, no local onde o dispositivo será instalado. Dados estatísticos são frequentemente utilizados para demonstrar a probabilidade referente à altura e o período das ondas que ocorrem em determinada época do ano. Com a referência da altura e do período das ondas é possível determinar os prováveis recursos existentes em determinado local. No litoral do Rio de Janeiro, as ondas têm menos de 2 metros de altura. Pode-se verificar na Fig. 8 que a maioria das ondas têm um período que varia entre 7 a 12 segundos (Shadman, 2015).

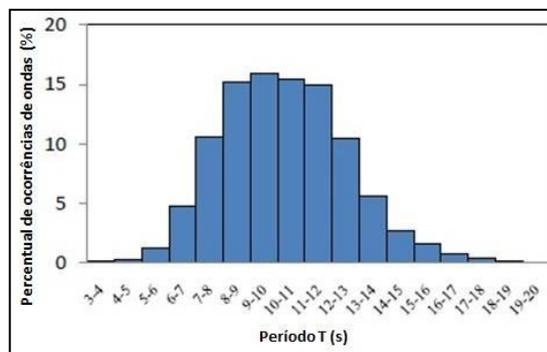


Figura 8- Distribuição das ondas no litoral do Rio de Janeiro
 Fonte: Adaptado de Shadman, 2015

Estas informações foram obtidas por medições locais e com a utilização de modelagem matemática obteve-se o resultado de uma altura média de 1,33 metros com um período médio de 9,7 segundos. O local escolhido onde o dispositivo vai ser instalado tem uma profundidade entre 20 a 70 metros. Com a utilização destes dados foi possível calcular a potência por frente de ondas que é de aproximadamente 8,5 KW/m (Shadman, 2018).

O dispositivo absorvedor pontual flutuante é constituído por duas partes: a boia flutuante e o suporte. Os principais parâmetros geométricos utilizados para a confecção deste dispositivo podem ser observados na Fig. 9.

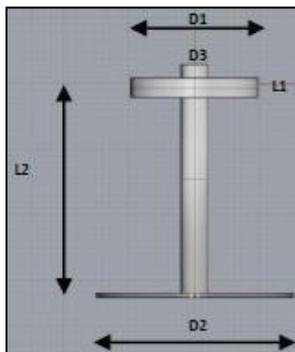


Figura 9 - Principais fatores geométricos de um dispositivo AP.

Fonte: Shadman, 2015

Considerando as características do local de instalação do dispositivo foram realizadas uma série de análises estatísticas para determinar o melhor modelo. Com objetivo de otimizar este modelo foi utilizado um método inovador denominado *Design of Experiments (DOE)*. Com a utilização deste recurso foi possível considerar o efeito da ressonância e do amortecimento do dispositivo e desta forma determinar a maior absorção de energia. A geometria das boias foi modelada com a utilização do *software AQWA-Design Modeler* e para as análises das frequências dominantes foram utilizados o *software AQWA/ANSYS*. Nos ensaios realizados, o modelo da Tab. 1 foi o que apresentou o melhor desempenho, com a possibilidade de uma maior potência na conversão de energia. Nestas dimensões o dispositivo manteve a oscilação dentro das frequências predominantes, conforme as características naturais da região de instalação no litoral do Rio de Janeiro (Shadman, 2015).

Tabela 1 – Dimensões ótimas do absorvedor pontual flutuante

Fonte: Shadman, 2015

	D1 (m)	D2 (m)	D3 (m)	L1 (m)	L2 (m)
FPA	14	18	3	4	30

O sistema *Power take-off (PTO)* está integrado com o dispositivo e tem como objetivo converter a energia cinética em energia elétrica. Ele consiste em um sistema mecânico de engrenagens que retifica o fluxo oscilatório vertical do flutuador em um movimento rotativo unidirecional para ser acoplado ao eixo do gerador de energia elétrica (Shadman, 2015).

4. PROJETOS REALIZADOS COM CONVERSORES DE ENERGIA DAS MARÉS NO BRASIL

4.1 Usina maremotriz de Bacanga no Maranhão

Na década de 1970, foi construída uma barragem no estuário de Bacanga para interligar o Porto de Itaqui com a cidade de São Luiz do Maranhão. Desde aquela época, tem sido amplamente discutido a possibilidade de instalar a primeira usina maremotriz brasileira para aproveitar o potencial das marés existente neste local. Os principais benefícios deste projeto seriam: gerar eletricidade, desenvolver uma planta piloto maremotriz, melhorar a qualidade ambiental do reservatório e revitalizar a área transformando-a em uma atração turística (Ferreira, 2009).

O primeiro projeto proposto para a usina maremotriz aproveitaria a barragem existente e o sistema de eclusa para controlar o fluxo d'água e desta maneira criar um reservatório. A capacidade desta usina estaria relacionada à diferença entre as alturas das marés, a área do reservatório e o período das marés. O volume total foi calculado com a ajuda de um *software*, que considerou a profundidade do leito e a área do reservatório.

A medição da área escolhida entre a instalação da barragem e o estuário é de aproximadamente 6,4 Km². Para estimar o volume disponível do reservatório foram utilizados os registros históricos da maré, que tem uma variação de altura entre 2,4 a 6,2 metros. (Ferreira, 2009). Este projeto está representado na Fig. 11.

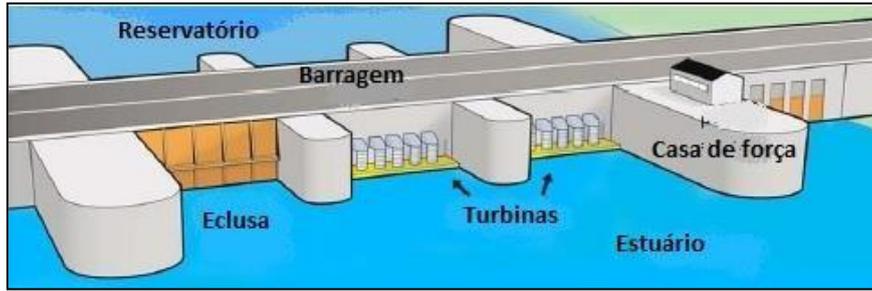


Figura 11 – Design da usina maremotriz de Bacanga.
 Fonte: Adaptado de Ferreira, 2009

Para o cálculo da potência foi considerado o volume do reservatório em função da variação da altura das marés. Para não prejudicar a pesca local, foi considerada uma altura mínima de 3,2 metros no reservatório. A altura máxima foi definida de forma que a água não ultrapasse as fronteiras do estuário inundando as regiões adjacentes. O potencial teórico de eletricidade gerada neste empreendimento considerando o pleno funcionamento pode alcançar 14.000 MWh/ano (Ferreira, 2009). A variação do ciclo das marés em relação ao reservatório pode ser observada na Fig. 12.

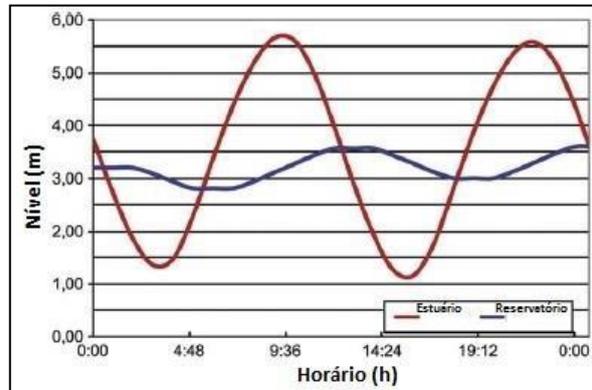


Figura 12 – Variação dos ciclos de maré em relação ao reservatório.
 Fonte: Adaptado de Ferreira, 2009.

A usina maremotriz proposta, aproveita a barragem existente com a adição de turbinas para a geração de energia com duplo efeito. Neste projeto foram consideradas as restrições referente à ocupação das margens do estuário pela população, o assoreamento e a deterioração da barragem. A proposta é que sejam adicionadas turbinas fixas que vão ser acionadas quando o fluxo estiver na direção do reservatório para o mar. E quando estiver no sentido oposto, do mar para o reservatório vão funcionar as turbinas que estão instaladas em dispositivos móveis. No funcionamento da usina maremotriz está previsto que ocorram 4 estágios de operação, conforme está demonstrado na Fig. 13 (Ferreira, 2009).

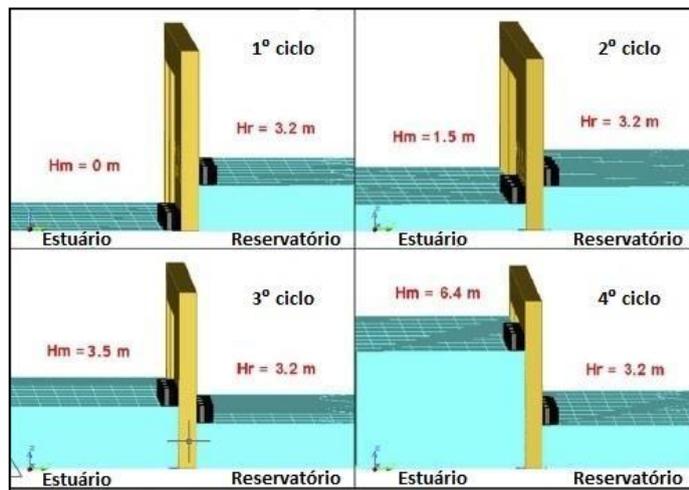


Figura 13 – Esquema operacional da usina maremotriz de Bacanga.
 Fonte: Adaptado de Ferreira, 2009.

No primeiro ciclo a maré está baixa e a geração ocorre nas turbinas fixas no sentido reservatório para o mar. Quando inicia a maré alta acontecem as seguintes situações: no segundo ciclo não existe geração devido ao pequeno diferencial de nível, a partir do terceiro ciclo inicia a geração com as turbinas móveis no sentido mar para o reservatório, até o quarto ciclo onde ocorre a máxima elevação da maré. A partir deste momento ocorre a repetição no sentido contrário (Ferreira, 2009).

Em 2012 foi realizada uma atualização na proposta deste projeto de utilização do estuário de Bacanga para a geração de energia elétrica. A nova configuração levou em consideração a produção de energia a partir de diferentes arranjos de turbinas. Com a utilização de um *software* foi possível determinar qual seria a configuração que teria a melhor eficiência de acordo com as características do site. Foram realizadas diversas simulações de operação da planta, sendo que a quantidade de turbinas influencia no nível do reservatório e que de certa forma está diretamente relacionada ao tempo de operação das mesmas. Na Fig. 14 pode ser observada a influência da quantidade de turbinas no nível do reservatório (Saavedra, 2015).

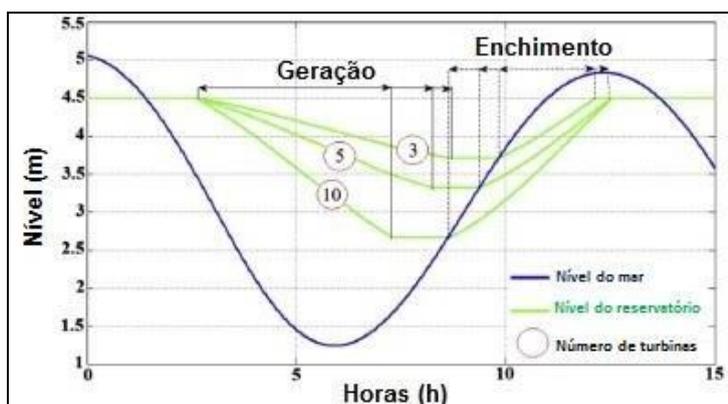


Figura 14 – Efeito do número de turbinas no nível do reservatório.

Fonte: adaptado de Saavedra, 2015

Devido à ocupação populacional irregular em torno do estuário, o nível do reservatório agora deve oscilar entre 2,5 a 4,6 m para não causar inundações nas áreas ocupadas. A variação do nível do mar, do nível do reservatório e da potência gerada nesta configuração podem ser acompanhadas na Fig. 15 (Saavedra, 2015).

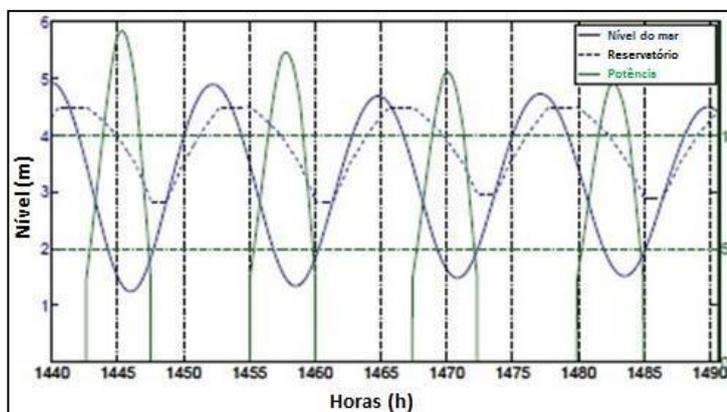


Figura 15 – Variação do nível do mar, do nível do reservatório e da potência gerada.

Fonte: Saavedra, 2015

Com as modificações na proposta operacional, agora o projeto prevê a utilização de 11 turbinas Kaplan que serão utilizadas apenas com efeito simples, ou seja, quando ocorrer o fluxo no sentido do reservatório para o mar, na maré vazante. Os dados operacionais referentes a esta nova proposta estão demonstrados na Tab. 2.

Tabela 2 – Indicadores da operação da usina.

Fonte: Adaptado de Saavedra, 2015.

Número de turbinas	11
Produção de energia (GWh/a)	41,038
Potência máxima (MW)	27,03
Potência média (MW)	4,68

Agora o projeto está atualizado de acordo com as novas exigências da legislação ambiental que propõe a preservação das florestas inundadas. Mesmo com as restrições impostas pela ocupação irregular das áreas em torno do estuário, ainda é viável a utilização do reservatório de Bacanga. Na Fig. 16 pode ser verificado como a barragem estaria integrada a cidade (Saavedra, 2015).



Figura 16 – Projeto da usina no estuário de Bacanga.
Fonte: Saavedra, 2015.

5. DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como mostra o caso do laboratório oceânico da UFRJ, uma das estratégias para ocorrer o desenvolvimento de projetos de conversão da energia oceânica é a realização de pesquisas nas universidades. Também é necessário construir laboratórios específicos para a realização de testes com protótipos em escala reduzida. Nestes laboratórios oceânicos podem ser validados os modelos teóricos e desta forma facilitar o desenvolvimento de novos dispositivos e ferramentas. Estes testes identificam antecipadamente as interferências que podem acontecer na operação real do conversor de acordo com as condições marítimas do local (Bahaj, 2011).

No desenvolvimento do conversor hiperbárico de energia das ondas da UFRJ, foi fundamental a correlação entre as simulações numéricas com os resultados experimentais do protótipo para validar a potência absorvida pelo corpo flutuante. Os modelos foram reproduzidos em uma escala proporcional de 1:10 com quatro módulos de bombeamento. Este protótipo pode ser verificado na Fig. 17. Nos testes realizados no laboratório Oceano foram reproduzidas as mesmas condições de altura e períodos predominantes no porto do Pecém no Ceará (Estefen, 2014).



Figura 17 – Protótipo *onshore* UFRJ.
Fonte: Estefen, 2014.

Além disso, o governo pode realizar investimentos para avaliar os recursos disponíveis no litoral do país e disponibilizar estes dados para serem utilizados como referência por pesquisadores, empreendedores e para a elaboração de atlas. Também é necessário fomentar o desenvolvimento de pesquisas acadêmicas e dos setores industriais para a produção de equipamentos deste setor. Muitos países europeus criaram um modelo diferenciado para valorizar a energia produzida com energia renovável, que tem um valor maior no MWh. Seria importante que as empresas pudessem contar com financiamento subsidiado pelo governo para incentivar o desenvolvimento de projetos neste setor (Bahaj, 2011).

Utilizar as fontes de energia oceânica para suprir a crescente demanda por eletricidade pode ser uma maneira de

conseguir um desenvolvimento sustentável para o futuro. Porém estas tecnologias ainda estão em um estágio inicial de desenvolvimento e vai ser necessário realizar grandes investimentos em pesquisas para que cada país encontre a melhor solução para o aproveitamento do potencial energético dos oceanos.

Agradecimentos

Às equipes do Laboratório de Tecnologia Submarina (LTS) e do Laboratório de Tecnologia Oceânica (LABOCEANO) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), pela oportunidade da realização da visita técnica e a dedicação em explicar o funcionamento dos equipamentos, sistemas e projetos desenvolvidos na universidade.

REFERÊNCIAS

- Bahaj, A. S., 2011. Generating electricity from the oceans, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 3399-3416.
- COPPE. Laboratórios da engenharia Oceânica. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://www.coppe.ufrj.br/pt-br/programas/engenharia-oceanica> . Acesso em: 15/10/2019.
- Estefen, S. F., 2015. Ocean Energy Development in Brazil, Rio de Janeiro – RJ, EU-Brazil Atlantic Ocean Research Cooperation.
- Estefen, S. F.; Garcia-Rosa, P. B.; Cunha, J. P. V. S; Lizarralde, F.; Machado, I. R.; Watanabe, E. H., 2014. Wave to wire model end energy storage analysis of an ocean wave energy hyperbaric converter, *IEEE journal of oceanic engineering*, vol. 39, pp. 386-397.
- Ferreira, R. M.; Estefen, S. F., 2009. Alternative concept for tidal power plant with reservoir restrictions, *Renewable Energy*, vol. 34, pp. 1151-1157.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. New York: Cambridge University Press, 2012.
- Martinez, M.; Molina, M. G.; Machado, I. R.; Mercado, P. E.; Watanabe E. H., 2012. Modelling and simulation of wave energy hyperbaric converter (WEHC) for applications in distributed generation, *International journal of hydrogen energy*, vol. 37, pp. 14945-14950.
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21). *Renewables 2019 Global Status Report*. Paris: REN21, 2019. Disponível em: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf Acesso em: 14/10/2019.
- Shadman, M.; Estefen, S. F.; Rodriguez, C. A.; Nogueira, I. C. M., 2018. A geometrical optimization method applied to a heaving point absorber wave energy converter, *Renewable Energy*, vol. 115, pp. 533-546.
- Shadman, M.; Estefen, S. F.; Castilho C. A. R.; Lourenço, M. I., 2015. Preliminary design of floating point absorber offshore Rio de Janeiro, St. John's – Canada, *Proceedings of the ASME 2015 34th International conference on Ocean, offshore and arctic engineering – OMAE2015*.
- Saavedra, O. R.; Leite Neto, P. B.; Ribeiro, L. A. S., 2015. Optimization of electricity generation of a tidal power plant with reservoir constraints, *Renewable Energy* vol. 81, pp. 11-20.
- Tolmasquim, M. T., 2016. *Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica*, EPE: Rio de Janeiro.

RESEARCH AND PROJECTS DEVELOPED IN BRAZIL FOR THE USE OF POTENTIAL OF GENERATION WITH WAVES AND TIDES

Abstract. Brazil has a coastline of 7,300 kilometers and research indicates that there may be a potential of exploitation of 114 GW with the use of power converting devices. The aim of this article is to conduct a review of the main projects undertaken in Brazil in order to show the advances in this type of generation and how much is still necessary to develop in this area of knowledge. The methodology used is exploratory research carried out in various documents available in Brazil. The main Brazilian projects are in the North Region the construction of a dam to take advantage of the tide cycle, in the Northeast Region an onshore device installed at the port of Pecém and in the Southeast Region an offshore device that will be installed on the coast of Rio de Janeiro. These projects were implemented to meet the specific characteristics of the Brazilian coast and their generation potential is in line with the current reality of the sector's development.

Key words: Sea Renewable Energy Potential, Wave and Tidal Projects, Sea Energy Converters.