

# **ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DO PÊNDULO DUPLO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ESTUDO DA ENERGIA MAREMOTRIZ**

André Martinez Araujo dos Santos – andre.ma@uol.com.br

Carlos Henrique Bonitatibus – kahe.bonitatibus@gmail.com

Fabio Khouri Arnoldi – fabioarnoldi@gmail.com

Pror. Dr. José Ignacio Hernandez Lopes -

## **RESUMO**

O presente estudo tem o objetivo de dissertar de forma clara e sucinta acerca da concepção e aplicação do sistema de energia maremotriz. O estudo tem início com a dissertação acerca da aplicação do conceito de energia, das formas de geração e da importância histórica da energia para a sociedade como um todo. Em seguida, há a explanação acerca das fontes de geração de energia, separadas em renováveis e não renováveis, apontando vantagens e desvantagens de cada uma, introduzindo ao assunto central do estudo, que é a energia maremotriz, trazendo a sua funcionalidade, formas de esquematização, e trazendo um apanhado histórico da sua concepção, possibilitando um comparativo entre o modelo com os outros existentes, mostrando a viabilidade do mesmo em projetos de diversos países, com ênfase no projeto de Pecém, no Ceará.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia; Maremotriz; Marés; Renovável.

## **ABSTRACT**

The aim of this study is to present a clear and succinct dissertation about the design and application of the tidal power system. The study begins with the dissertation about the application of the concept of energy, the forms of generation and the historical importance of energy for society as a whole. Next, there is the explanation about the sources of energy generation, separated in renewable and nonrenewable, pointing out advantages and disadvantages of each one, introducing to the central subject of the study, that is the tidal power, bringing its functionality, forms of schematization, and bringing a historical overview of its design, allowing a comparison between the model and the other existing ones, showing the feasibility of the same in projects of several countries, with emphasis on the Pecém project in Ceará.

## 1 INTRODUÇÃO

A busca por formas de energia mais limpas e que não agridam o meio ambiente, como a extração da água para os sistemas hidrelétricos, faz necessária a geração de energia por outras fontes. No Brasil, outras usinas de geração de energia são consideradas sujas e de maior custo resultando em um impacto ambiental maior, onde um desses casos é a produção de energia pela ação das marés, chamada de energia maremotriz

Assim como para essa metodologia, o desenvolvimento de fontes alternativas de geração de energia elétrica é importante e instalação de geradores eólicos é uma das formas sustentáveis de geração de energia elétrica, ela é capaz de receber a energia cinética dos ventos convertendo em energia elétrica. O uso da energia dos ventos para a realização de trabalho e produção de energia elétrica é uma excelente alternativa por ser um recurso natural inesgotável, que além de não poluente é totalmente sustentável.

### 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Apesar de nesse período ter ocorrido uma mudança nos combustíveis fósseis utilizados, exemplo do carvão mineral pelo gás natural, ainda predomina a utilização de combustíveis fósseis contribuindo para a degradação do meio ambiente, qual a possibilidade do uso da energia maremotriz como sendo uma fonte de energia alternativa à tradicional?

### 1.2 OBJETIVOS

#### 1.2.1 Objetivo geral

Analisar por meio de revisão de literatura a aplicação da energia maremotriz como fonte de energia alternativa, visando avaliar vários aspectos envolvidos, quais os custos envolvidos, benefícios para a sociedade, rendimento energético dentre outros.

#### 1.2.2 Objetivos específicos

Apresentar os conceitos da preocupação com o descarte de resíduos e uso de combustíveis fósseis, e de que forma o sistema de energia maremotriz auxilia na matriz energética.

- Realizar uma revisão de literatura sobre os conceitos de energias limpas e renováveis;
- Analisar funcionamento, vantagens, desvantagens e aplicabilidade de geração de energia por meio das ondas marítimas.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

A energia maremotriz mostra-se como uma grande oportunidade de melhoria pois apresenta baixo impacto ambiental e tem se mostrado viável técnica e economicamente, ela atende precisamente às diretrizes de desenvolvimento sustentável, cada vez mais valorizadas pelas sociedades evoluídas. Além disso, é a fonte energética que tem apresentado uma alta taxa de crescimento de capacidade geradora. Com base nessas informações fica mais clara a ideia que se deve primar pela preservação da água em nossos reservatórios para o consumo humano e implementar meios sustentáveis de

**Comentado [AP1]:** Para título numerado das seções secundárias use fonte TNR, tamanho 12, letras maiúsculas, alinhamento à esquerda.

**Comentado [AP2]:** Para título numerado das seções terciárias use fonte TNR, tamanho 12, negrito, letras maiúsculas, alinhamento à esquerda.

geração de energia elétrica para que o meio ambiente não sofra as consequências causada por nós seres humanos.

O Brasil possui todas as características necessárias para potencializar o uso desta energia desencadeando uma série de benefícios a sociedade e ao meio ambiente como fonte de energia limpa e sustentável gerando empregos, porém é um meio de energia ainda pouco explorado e que demanda maior atenção pela capacidade que apresenta e pela disponibilidade de tecnologia nela embarcada.

## **2 ENERGIA**

### **2.1 CONCEITO DE ENERGIA**

A energia é fundamental à sociedade humana (ENGEL, 1972). Nos tempos modernos, é basicamente impossível imaginar um processo de evolução e desenvolvimento sem o determinado aporte de energia de acordo com a demanda de crescimento observado. Dessa forma, muitos países vem desenvolvendo estratégias para garantir a suficiente quantificação de energia para que a sua economia mantenha-se girando, com todos os processos produtivo e de gerenciamento, em diversas esferas, sobretudo a longo prazo, como é o caso da China, uma das economias mais emergentes do cenário mundial, buscando assim que não haja o esgotamento prematuro das reservas de carvão, por conta da expansão industrial num curto espaço de tempo, observado pelo grande aumento de produtos vendidos e comercializados pelo país.

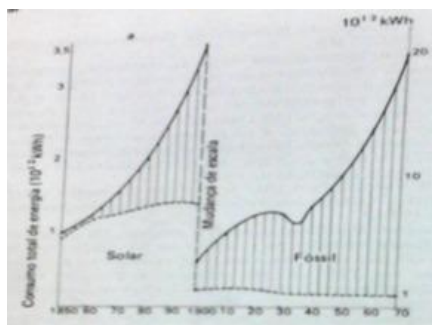
Conforme descrição no dicionário Aurélio, tem-se a definição de energia como sendo: Faculdade que possui um sistema de corpos para fornecer trabalho mecânico ou seu equivalente; força, potência: energia elétrica. / Fig. Firmeza, rigor, determinação: agir com energia. / Vigor, força física ou moral. // Energia cinética, a que possui um corpo em virtude de sua velocidade. // Energia potencial, a que possui um corpo em função de sua posição. // Fontes de energia, o carvão e a linhita, a eletricidade, o petróleo e o gás natural, e as que são fornecidas pelas marés e pelo átomo. Além da energia mecânica, que pode apresentar duas formas, a energia potencial (peso erguido, mola distendida, gás comprimido) e a energia cinética (massa em movimento), podem-se mencionar a energia calorífica, a energia elétrica, a energia radiante, a energia química, a energia nuclear. A energia total de um sistema isolado permanece constante, quaisquer que sejam as transformações que ele sofra (conservação da energia). Mas o calor é uma forma degradada de energia.

### **2.2 AS PRINCIPAIS FONTES/FORMAS DE ENERGIA UTILIZADAS PELO HOMEM**

Conforme descrição de Cruz e Sarmiento (2004), entre duzentos e trezentos anos atrás, os homens utilizavam-se de recursos provenientes somente derivados do sol, e o uso de combustíveis fósseis era insignificante, uma vez que a madeira era usada ao aquecimento e os animais para o transporte, seja de carga ou de pessoas. Embora fossem conhecidos desde a antiguidade, esses combustíveis fósseis eram pouco utilizados, com registros de uso somente dos povos babilônios que

os utilizavam para iluminação e para a construção na forma de asfalto. Já o carvão, por sua vez, era utilizado para produzir ferro fundido, vidro e tijolos.

Palz (2012) explica que a substituição da energia predominantemente solar pela fóssil teve seu ápice em meados do século XIX, cujo marco foi uma descoberta “acidental” de petróleo, descoberto após perfuração de solo durante processos fabris na Pensilvânia no ano de 1859. Esse uso passou a ser então mais difundido por conta do desenvolvimento de motores de combustão interna, como forma de substituição da mão de obra humana, pelo aumento produtivo e pela larga escala em menor tempo. Através da Figura 1, é possível analisar a evolução do consumo de energia nos Estados Unidos no período entre 1850 (início do processo de implementação das energias fósseis) e 1970 (início das buscas por alternativas para o combustível fóssil devido à sua capacidade de poluição e esgotamento de reservas energéticas).



**Figura 1** – Gráfico de variação do consumo das energias solar e fóssil nos EUA entre 1850 e 1970

Fonte: Turekian (1988)

### 2.3 DEMANDA DE ENERGIA DO HOMEM E BUSCA POR OUTRAS FONTES

É possível observar por meio de alguns estudos a busca pela mudança da matriz energética mundial, além da evolução de reservas de petróleo em todo mundo, sobretudo sob os domínios dos países que pertencem à OPEP. Assim, é possível observar conforme descrição de Palz (2012), uma necessidade de variação e diversificação da matriz energética global.

Antes de sua exploração, estima-se que existiam reservas de 2,3 trilhões de barris de petróleo. As atuais reservas comprovadas do mundo somam 1,137 trilhões de barris, 78% dos quais no subsolo dos países do cartel da OPEP. Essas reservas permitem suprir a demanda mundial por 40 anos, mantido o atual nível de consumo. (...) Cotejando-se com o crescimento da demanda, variável entre 1,5 e 1,9% a. a., dependendo do cenário adotado, resulta que, abstraindo-se as alterações na matriz energética, o ocaso da era do petróleo está contratado para meados do presente século. Existe uma enorme dependência energética do mundo, tanto em petróleo quanto em gás, em relação a uma

concentração geográfica (Oriente Médio) e em relação ao cartel dos países exportadores (OPEP), que dominam 78% das reservas mundiais. Este fato, aliado à finitude das reservas e à concentração da matriz em petróleo, carvão e gás, impõe a busca de alternativas rumo a uma transição segura para um ambiente de oferta energética sustentável.

## **2.4 FONTES DE ENERGIA**

### **2.4.1 ENERGIA DE FONTES NÃO RENOVÁVEIS**

As fontes de energia derivadas de meios não renováveis são caracterizadas pelas reservas energéticas se encontrarem em quantidades limitadas, onde o próprio consumo leva ao esgotamento dessas reservas. Isto porque a formação de novas reservas tem um ritmo muito mais lento do que o avassalador consumo realizado pelas atividades humanas (RATTNER, 2014). Podem ser consideradas como fontes não renováveis os combustíveis de origem fóssil, caracterizados pelo carvão, petróleo bruto e gás natural.

Essas fontes de energia são ainda consideradas como sujas, onde a sua utilização causa danos significativos ao meio ambiente (JOHN, 2012). Geralmente, essas fontes de energia são denominadas como convencionais por apresentar um uso abrangente, existindo uma grande dependência, principalmente econômica dos países não produtores.

O carvão é o tipo de combustível fóssil mais empregado na indústria, extraído de explorações minerais na concepção de rochas orgânicas, composta em sua maioria por carbono. Pela capacidade energética, foi o primeiro tipo de combustível empregado em larga escala, sobretudo em processos industriais, sendo o primeiro modo de conversão de energia elétrica (LEMOS, 2014). O carvão comparado aos outros combustíveis fósseis, aquele que se estima ter maiores reservas, em torno de duzentos anos. Em contrapartida, é o que acarreta os maiores impactos ambientais, relacionados à poluição e alterações de clima (JOHN, 2012).

O petróleo é um óleo mineral escuro e de forte odor, constituído por diversos compostos, sendo principalmente composto por hidrocarbonetos (JOHN, 2012). O petróleo é utilizado em grande escala para a concepção dos transportes, estando presente nos maiores graus de poluição atmosférica, sendo motivo de disputas e de conflitos armados por conta da sua capacidade de geração de energia e seu valor monetário, cuja reserva presente em todo planeta possui estudo de duração entre 35 a 40 anos baseado no consumo atual (LEMOS, 2014).

O petróleo é um combustível nocivo para o ambiente em todas as fases de geração e consumo. Desde o momento da extração, em que há a possibilidade de derramamento até o momento de combustão, onde acontece a emissão de gases nocivos, provenientes da queima (RATTNER, 2014). O gás natural, por sua vez, possui origem semelhante à do petróleo, cuja formação se deu num processo de milhões de anos, sendo compostos a partir da sedimentação de animais e plantas, depositados em jazidas abaixo da terra (RATTNER, 2014). A grande diferença entre os dois modelos

de combustíveis é que o gás pode ser utilizado sem o processo intermediário de refino, diferentemente do petróleo, que não pode ser utilizado na forma bruta na qual é encontrado. Embora seja de grande valia sua implementação, o consumo na escala do século XXI prevê uma duração de cerca de 60 anos de utilização (LEMOS, 2014).

Já o urânio é um elemento químico existente na Terra, constituindo a base do combustível nuclear, através da separação nuclear. Possui um poder calorífico muito superior a qualquer outra fonte fóssil (JOHN, 2012). Atualmente essa fonte de energia ainda está em fase de experimentos, já que a tecnologia disponível atualmente ainda não foi capaz de criar reatores de fusão completamente seguros assim como formas seguras de tratamento dos resíduos resultantes da atividade

#### 2.4.1 ENERGIA DE FONTES NÃO RENOVÁVEIS

São consideradas como fontes de energia inesgotáveis aquelas que apresentam reposição a curto ou médio prazo, seja de forma natural ou então por intervenção do homem metodologias de energia ecológica são as que desempenham papel fundamental em uma idealização de desenvolvimento sustentável por estarem enquadradas e serem participantes de uma política de eficiência energética (AMARANTE, 2001).

Essas fontes são caracterizadas por não contribuírem para o agravamento do efeito de estufa, apresentando menores impactos quando comparados às energias geradas de outras formas, como os de origem fóssil ou nuclear, promovendo o desenvolvimento de zonas até então pouco utilizáveis, por meio da criação de empregos e oferta de investimentos para avanço da área energética limpa (FADIGAS, 2011)

São energias renováveis:

- Energia Hidráulica: pode ser obtida a partir do curso de água, utilizando-se de quedas d'água e desníveis (SANTOS, 2013).

- Energia eólica: A energia eólica provém do vento (AMARANTE, 2001). Seu emprego é datado desde a antiguidade para a navegação ou para fazer os moinhos, sendo uma das grandes apostas para expandir a produção de energia por essa vertente.

- Energia Solar: A energia solar é proveniente da luz do sol, que depois de captada, pode ser utilizada de forma ativa ou passiva (ROSA, 2014). Uma utilização ativa passa pela transformação dos raios solares em energia térmica ou eléctrica. A utilização passiva pressupõe o aproveitamento da energia para o aquecimento de edifícios ou prédios, a partir de concepções e estratégias que passam pela construção.

- Energia Geotérmica: com origem do aquecimento no interior da Terra, a aproveita o calor que emana das camadas interiores do planeta para gerar eletricidade e calor. Nas centrais de energia geotérmica, o calor é aproveitado para gerar vapor, que aciona as turbinas, que vão produzir energia (ROSA, 2014).

- Energia das marés: A Energia das Marés é obtida do movimento de subida e descida do nível da água o mar e pelas ondas, o potencial deste tipo de energia aguarda por avanços técnicos e tecnológicos que permitam uma maior aplicação (ROSA, 2014).

- Biomassa: trata-se basicamente do aproveitamento energético proveniente de matérias orgânicas, podendo essas matérias serem originadas em limpezas de florestas, resíduos da agropecuária, indústria de alimentos ou dos tratamentos de efluentes, domésticos e industriais, cuja energia pode ser obtida através da direta ou por meio de transformações (químicas ou biológicas) para o aproveitamento das formas mais variadas, como o biogás e os biocombustíveis (SANTOS, 2013).

- Etanol: é o mais comum dos biocombustíveis alcoois. Caracteriza-se por ser um composto orgânico, incolor, volátil, inflamável, solúvel em água e com cheiro e sabor característicos. É produzido a partir da fermentação de hidratos de carbono com origem em culturas como a cana de açúcar ou por processos sintéticos (ROSA, 2014).

## 2.5 A ENERGIA MAREMOTRIZ

De acordo com a descrição de Engel (1972), a energia interna das ondas marítimas está estimada em cerca de 10 Terawatts, o que equivale à todo consumo de eletricidade do planeta. Se considerar as restrições à aplicação e uso de grandes áreas oceânicas por conta de rotas de navegação e outras atividades, é possível ter como balanço realista o uso de cerca de 10% dessa capacidade, o que gira em torno de 1000 Gigawatts de incremento na matriz energética total.

## 2.6 AS CARACTERÍSTICAS DA ENERGIA MAREMOTRIZ

A energia das marés possui caracterização própria, que varia de acordo com projetos e condições ambientais, como o local de exploração, a sazonalidade e as influências climáticas que incidem no local a ser explorado (CRU; SARMENTO, 2004).

### 2.6.1 O POTENCIAL DE ENERGIA

As ondas possuem características específicas e altamente relevantes à explanação acerca da geração de potencial energético. Conforme Tardioli (2011), a energia contida numa onda é maior quanto mais longe da costa a onda está. Além disso, ela mostra-se menos intensa quanto menor é a profundidade, por conta da interação entre a onda e o leito de mar, porém, a energia que está contida nas águas mais profundas pode ser entre três e sete vezes maior que as águas que estão localizadas próximas à costa. Essas ondas são determinadas de acordo com a profundidade da lâmina d'água da posição ao qual ocupa, sendo denominadas de: *nearshore*, para regiões que variem entre oito e vinte metros; e *offshore*, para profundidades superiores a vinte metros, conforme ilustrado pela Figura 2:

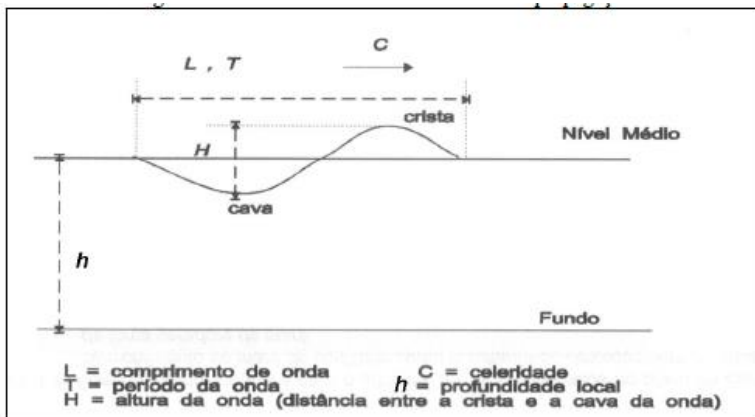


Figura 2 - Caracterização da propagação das ondas  
 Fonte: Tardioli (2011)

Assim, é possível caracterizar a medição da energia envolvida no processo por meio da equação  $P = 0,49.H^2T$ , sendo P a energia (em kW/h), H a amplitude da onda e T o seu período.

#### 2.7.2 AS PRINCIPAIS VANTAGENS E DESVANTAGENS NA APLICAÇÃO DESSE MODELO DE ENERGIA

Como toda e qualquer fonte de energia, a energia das marés apresenta vantagens e desvantagens específicas (PALZ, 2012). Como sendo uma fonte de energia renovável, possui vantagens como: sua capacidade de não ser poluente ou nociva ao meio ambiente; caracteriza-se como uma fonte renovável, além de não haver sofisticação necessária para implementar no processo; como desvantagens, apresenta um baixo rendimento, mostra-se como um fornecimento não contínuo e dispendioso, gera destruição de habitats naturais aliado à impossibilidade de navegação e fornecimento durante somente uma parcela do dia de cerca de dez horas, além da necessidade de amplitudes superiores a 5 metros para que seja rentável a aplicação desse tipo de sistema energético. Algumas outras vantagens podem ser apresentadas como: a capacidade de estimativa de potencial; a não-geração de custos para desapropriação de terras; uma fonte de energia abundante e com produção pontual, podendo atender localidades mais distantes pelas ramificações do sistema de geração; desempenho de função de proteção da costa por conta da dissipação de poder das ondas; além da capacidade de funcionamento como recife artificial, facilitando assim o desenvolvimento da vida marinha do local (PALZ, 2012).

De forma específica, conforme descrito por Cruz e Sarmiento (2004), tem-se como vantagem a modularidade dessa geração, pois há a capacidade de ampliação, interligação e separação de sistemas de geração de forma simplista. Porém, embora mostre essa capacidade, essa modularidade é aplicável somente na aplicação das energias nearshore e offshore uma vez que, para aplicação junto a energia das marés, necessita-se de locais e condições específicas para mostra-se viável.



## 2.8 PRINCIPAIS PROJETOS PARA USO DE ENERGIA MAREMOTRIZ NO MUNDO

Por conta da grande necessidade em realizar alterações nas proporções da matriz energética, muitos projetos vêm sendo implementados para o uso da energia maremotriz. Inicialmente, este subcapítulo tratará especificamente dos projetos desenvolvidos ao redor do mundo, e posteriormente apresentado o projeto em andamento no Brasil, traçando a sua condição de viabilidade econômica.

### 2.8.1 PROJETO LA RANCE (FRANÇA)

Como documentado inicialmente, este é o primeiro modelo de sistema maremotriz que se tem notícia, sendo inaugurado em meados de 1966 e atualmente pela Eletricité de France, principal companhia de energia do país. O projeto conta com 24 turbinas, onde cada uma delas possui altura de cerca de cinco metros de comprimento e com capacidade de geração de 240 MW e produção anual de mais de 600GWh.

Conforme descrito por Palz (2012), o investimento para a construção da barragem e da usina em si retornou em pouco mais de duzentos e quarente meses, que foi de cerca de 100 milhões de euros., englobando uma área total de 22,5 km<sup>2</sup>, auxiliado por uma diferença de marés que pode chegar a treze metros em situações de pico, mantendo média de cerca de oito metros em condições normais.

### 2.8.2 PROJETO DE AÇORES (PORTUGAL)

Já neste caso, ocorre o projeto de Água Circulante, situado no arquipélago de Açores, cujo projeto é chamado de Central de Ondas de Pico, que passou a operar no fim da década de 1990, com um conjunto que atinge potência de instalação de cerca de 400 Kw (PALZ, 2012). Operou cerca de 2500 horas até o de energia nesse período. Essa usina faz uso da tecnologia de água oscilante, com a aplicação de uma turbina do tipo Wells, ligada à distribuição.

Esse modelo de turbina possui seu rotor girando sempre na mesma direção e sentido, condição essa que não dependerá da influência do fluxo de ar que o atravessa, porém, caracteriza-se como um sistema de baixo rendimento, necessitado de motores auxiliares para propulsionar a geração energética (PALZ, 2012). Esse modelo possui alguns impactos relacionados à instalação por conta do risco de contaminação das águas no momento de retorno.

### 2.8.3 PROJETO DE MIGHTY WALE (JAPÃO)

Esse projeto, na verdade um protótipo, teve sua operação entre 1998 e 2003, sendo produzido para operar ao longo da costa e com aplicação voltada à pisciculturas, instaladas em locais com menos agitação de águas, destinando-se também à purificação de água do mar e atividades recreativas (CRUZ; SARMENTO, 2004). Um dos motivos pelos quais o projeto não teve andamento foi pelo baixo rendimento por conta da baixa densidade da energia contida nas ondas do local.

### 2.8.4 PROJETO WAVE DRAGON (DINAMARCA)

Conforme descrito por Cruz e Sarmiento (2004), esse projeto foi resultado de um consórcio de empresas da Dinamarca, Reino Unido, Irlanda, Suécia e Alemanha, sendo composto por refletores

que direcionam ondas incidentes à uma espécie de rampa. Junto a essa rampa, há um reservatório que armazena essa água num conjunto de turbinas com queda reduzida, gerando energia através da passagem de água, funcionando de forma similar a uma usina hidrelétrica.

Por conta da sua localização, ela apresenta uma característica diferentes dos demais modelos, uma vez que, dependendo do clima das ondas, a sua oscilação pode variar quase 200%, ficando entre 4 e 11 MW. Em andamento desde 1998, o projeto ainda está em estudo, sem liberação formal para agregar à matriz energética do sistema em questão. Isso porque, de acordo com Palz (2012), estão agregados alguns impactos ambientais relativos à construção, como por exemplo a perturbação de alguns habitats, impactos visuais e auditivos à região, além do aumento do tráfego no local, ocasionando problemas a algumas espécies; além de impactos relativos à manutenção dos equipamentos, como alteração em regimes de ondas, aumento de ruídos, influência na erosão da costa, entre outros.

#### 2.8.5 PROJETO DO PORTE DE PECÉM (CEARÁ)

O referido projeto está instalado à 60 km da capital Fortaleza, cujo desenvolvimento foi feito pelo COPPE . Esse sistema, conforme descrito por Palz (2012), funciona com mecanismo seguindo o princípio de armazenamento sob alta pressão (câmara hiperbárica), cuja obtenção ocorre através da ação das ondas nos flutuadores instalados ao redor da câmara.

Essa câmara libera jatos d'água com pressão e vazão controladas remotamente, acionando um sistema de turbina que, acoplada a um gerador, produz a eletricidade, onde cada unidade de geração produz em média 50KW, onde as saídas são ligadas às unidades de bombeamento ao sistema hiperbárico e, em conjunto com uma válvula reguladora, direcionam os jatos de água à entrada da turbina, chegando a igualar a pressão de um sistema hidrelétrico de quatrocentos metros. Daí vem uma das suas principais vantagens, que é a simulação de grandes quedas d'água sem a necessidade de se utilizar de uma grande extensão territorial.

O local de instalação foi escolhido por conta da grande capacidade maremotriz por se tratar de uma área offshore, com uma profundidade de cerca de 18 metros, e com ondas médias de 1,4 metros em períodos de 7,6 segundos, estando localizada no quebra-mar do terminal portuário de Pecém, possuindo somente duas unidades mas com capacidade de ampliação, por ser um sistema modular.

Pautando as características construtivas e de operação desse projeto, é possível afirmar, conforme elucidado Tardioli (2011), que os impactos gerados pela sua presença são relativos à sua construção, pois exige, por se tratar de uma estrutura offshore, que seja mais robusta e atenda à demanda necessária para o correto funcionamento. Apesar disso, os riscos e impactos ambientais são mínimos, uma vez que somente os equipamentos flutuadores estarão em contato com o oceano.

## 2.9 PROJETO DO PORTE DE PECÉM (CEARÁ)

O sistema instalado no território brasileiro possui um potencial de cerca de 18kW por metro linear das ondas utilizadas. Sendo assim, partindo desses parâmetros, seria necessário que se aproveitasse quase 68 km de costa oceânica para que pudesse atingir os custos de produção semelhantes ao processo eólico, também muito presente no Nordeste, sendo o Rio Grande do Norte um dos principais polos de produção de energia eólica nacional. A partir dessas informações, Palz (2012) explanou, os potenciais mundiais de geração por sistema maremotriz, conforme segue.

O litoral brasileiro possui um dos menores potenciais médios, por conta de diversos fatores: aproximação continental, variações de temperatura e ventos na região. Desse modo, a viabilidade de implantação no território nacional só seria possível por meio de um estudo detalhado, realizando mapeamento e definição dos devidos pontos a serem utilizados para isso, uma vez que, o maior valor registrado na costa brasileira é de 25 kW/h, enquanto que em pontos da região norte americana, há valores de mais de 100 kW/h. Além disso, as ondas com altitude mais elevadas (aproximadamente dois metros) possuem períodos de cerca de 7 a 10 segundos, normalmente excedendo os 50 kW de frente de onda. Assim, as amplitudes de onda observadas em Pecém estão abaixo deste nível, enquanto o período está muito próximo ao nível mais baixo, fazendo-se necessário cálculo relativo à viabilidade por conta dos custos em detrimento da capacidade de geração.

## 3 METODOLOGIA

Utilizamos como metodologia a elaboração de um pêndulo que é movimentado pelo movimento oscilatório gerado pelas ondas artificialmente reproduzidas por um êmbolo. O modelo em escala foi construído com seguintes componentes.

### 3.1 TANQUE DE ÁGUA

Feito de vidro para fácil visualização dos componentes possui as dimensões de 1.000 mm por 500 mm por 400mm. O volume total deste tanque é de 200 litros. O mesmo foi dividido em 2 câmaras. Uma para o uso do embolo que movimento o fluido (água) e outras para a simulação de mar e uma encosta (feita de MDF). O volume total de água utilizado é de 100 litros de água somadas as duas câmaras.

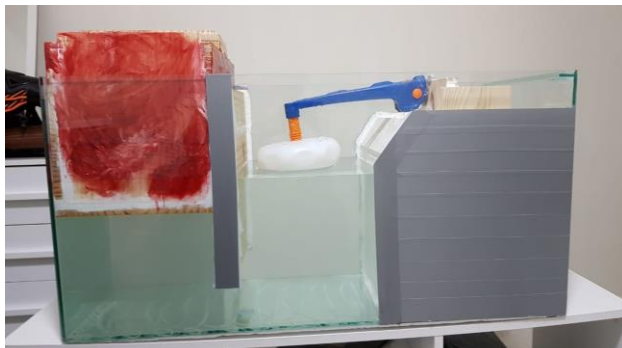


Figura 3 – Tanque de água dividido em 2 câmaras

### 3.2 ÊMBOLO

Feito de MDF possui as dimensões de 383 mm por 333 mm por 293 mm. O volume total é de 37,37 litros e essa também é sua capacidade de deslocamento.



Figura 4 – Êmbolo feito em MDF

### 3.3 BRAÇO DE ARTICULAÇÃO

Feito de polipropileno possui a dimensão de 330 mm. Ele está conectado a uma base fixa a encosta com o auxílio de um pino de articulação.



Figura 5 – Braço articulado

### 3.4 FLUTUADOR

Feito de polipropileno possui o diâmetro de 290 mm e volume total de 0,26 m<sup>3</sup>. Ele está ligado ao braço através de um pino rosqueado tanto na extremidade o braço quanto no centro do flutuador, sendo possível dessa forma, ajustar sua altura.



Figura 6 – Flutuador

### 3.5 GRAXA

Para auxílio no deslizamento do êmbolo utilizamos uma graxa Molykote BR – 2 Plus.

Características da Graxa de lítio Molykote BR-2 Plus: Molykote BR 2 Plus é uma graxa de sabão de lítio de alta qualidade a qual contém um percentual ótimo de lubrificantes sólidos, incluindo MoS<sub>2</sub>, em combinação com outros aditivos de extrema pressão. Seu desempenho é igualmente bom mesmo sob altas cargas e velocidades ou sob movimentos alternados e baixas velocidades.

Vantagens da graxa Molykote BR 2 Plus:

- Redução do desgaste.
- Lubrificação de emergência.
- Maior confiabilidade operacional.
- Ampliação dos intervalos de lubrificação mesmo sob altas cargas e condições de difícil lubrificação.
- Faixa de temperatura de trabalho: – 30 a + 130° C.

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Através deste trabalho pudemos verificar a importância de diversas formas de geração de energia para sociedade. Formas estas através de esgotamento de recursos minerais até a necessidade de adequação de novas tecnologias que agridam menos o meio ambiente.

Utilizamos como foco do estudo o aproveitamento da energia vinda das marés como fonte energia renovável em oposição as opções de consume de combustíveis minerais e fósseis utilizados hoje. Por meio de nossa discussão, foi possível verificar que o uso do sistema de pêndulo deve levar em conta a carga energética proveniente das ondas da região. Como no caso da instalação de Pecém no Ceará que devido a baixa carga térmica, mostrou-se uma opção sim de poucos impactos ambientais, mas custo/benefício ruim uma vez que não justifica o investimento na construção.

Em países de grandes extensões costeiras como o Brasil, onde nem sempre o acesso às redes de energia é algo simples ou barato, ter um polo de aproveitamento de energia localizado como o discutido neste estudo é de grande importância.

Na sequência evidenciamos que a utilização de modelos físicos em escala é importante em situações como a estudada. Isso ocorre, pois, a experimentação em ambiente e tamanhos reais pode inviabilizar todo o custo e tempo de desenvolvimento e, por vezes, ser até tecnicamente e ambientalmente incabíveis. Para conseguir analisar o comportamento de grandezas físicas como temperaturas, deslocamentos, resistências, tensões etc. uma alternativa são os modelos em escala.

Certamente uma alternativa seria o uso dos modelos matemáticos, mas é através do modelo em escala que podemos verificar condições e comportamentos adversos. Podemos também fragmentar o estudo para apenas uma parte do sistema completo e dessa forma ter a representação parcial dele. Isso é muito válido em sistemas muito complexos onde apenas um erro em ponto específico pode afetar e até colapsar o todo.

Para ser um modelo fiel ao objeto de estudo, as condições devem se aproximar ao máximo das reais e as que não conseguirem, serem consideradas. Dessa forma seguimos o conceito de similaridade. Devemos ter a similaridade das dimensões onde ao adotar uma escala, todas as dimensões devem invariavelmente seguir esta mesma escala. Também devemos ter a similaridade dos fluídos, temperaturas e condições como incidência de radiações e ventos por exemplo.

Através do modelo em escala podemos também verificar a integridade do conjunto, diante de observação do comportamento mecânico e físico dos materiais, bem como dos seus elementos estruturais, diante de um determinado tipo de solicitação contínua ou alternada.

Concluimos que o modelo em escala é imprescindível e é uma etapa anterior à aplicação em escala real. Uma vez provada a eficácia do modelo em escala do ponto de vista de eficácia, o conseqüente se torna mais assertivo. O objetivo do modelo em escala é antecipar qualquer erro de forma que a utopia é construir o modelo em escala real sem quaisquer problemas uma vez que todos foram antecipados no modelo em escala reduzida.

Ao discutir nosso tema sobre energias, elaboramos a tese de uso da energia vindas das ondas do mar para geração de energia elétrica. Para tal seria necessária a discussão de aspectos de energia mecânica, térmica e elétrica. Neste estudo resumiremos ao estudo da energia mecânica proveniente dos movimentos das ondas. Como metodologia de trabalho desenvolvemos um modelo em escala de operação manual, com objetivo de simular as condições de ondulações do mar e de uma instalação em uma encosta ou margem rochosa.

O intuito do modelo foi verificar a capacidade que o flutuador tem de acompanhar o movimento das ondas a assim criar um movimento cíclico que possa ser aproveitado em outros sistemas mecânicos como dínamos e compressores. Entendemos que vivemos em um país de vasto perímetro costeiro sujeito a muitas variações de altura das ondas do mar, fontes de energia mecânica inesgotável e gratuita. O impacto a natureza em uma instalação como a nesta tese discutida é entendido como a da instalação em solo costeiro, mas não ao mar uma vez que não despejado nenhum rejeito ao mar sob forma de poluição.

Pudemos confirmar que as movimentações geradas por nossa câmara com embolo chegaram à encosta em forma de ondas reproduzindo um ambiente de regiões costeiras. A amplitude delas pôde ser alterada de acordo com o deslocamento do êmbolo. Dada a verificação de veracidade das condições de mar e costa, instalamos o conjunto de pêndulo composto pelo braço e flutuador na encosta de forma a representar a instalação real.

Em nova movimentação simulada como a posterior, verificamos o acompanhamento das ondas feito pelo pêndulo. Este segue por grande amplitude de movimento chegando ao limite de seu curso por diversas vezes.

Concluimos assim que a importância de outras formas de geração de energia para a sociedade, tanto pelo esgotamento dos recursos minerais como pela necessidade de inserção de métodos de energia que agredam menos o meio ambiente, é essencial em um momento de discussão de novas matrizes energéticas. O uso da energia vinda das ondas é uma alternativa interessante para regiões que estão geograficamente isoladas de redes de distribuição ou que, por estudo econômico, seja mais interessante que levar a rede energia a essas regiões.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nosso estudo foi limitado à discussão das formas de energia e a exemplificação de um modelo em escala do aproveitamento da energia proveniente das ondas do mar. Tivemos a confirmação de que é sim possível utilizar este como recurso de forma inesgotável uma vez que não é retirado nada da natureza.

O próximo passo em nossa discussão é projetar o mecanismo de forma precisa (e não apenas didática) de forma a termos um modelo físico em escala que possa ser reproduzido em um ambiente natural. Além disso, é importante projetar os sistemas consequentes da instalação como a forma de geração de energia através do movimento do pêndulo. Entendemos que este é uma abordagem que pode ser utilizada de diferentes formas como através de dínamos ou câmaras de compressão.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3ª Edição. Brasília: ANEEL, 2013.

BARROS, A. J. S.; LEHFELD, N. A. S. **Fundamentos de Metodologia: Um Guia para a Iniciação Científica**. 2 Ed. São Paulo: Makron Books, 2000.

BARROS, B.F. et al. **Eficiência Energética – Técnicas de Aproveitamento, Gestão de Recursos e Fundamentos**. São Paulo: Érica, 2015

BEUREN, I.M. **Metodologia de Pesquisa aplicável às ciências sociais**. São Paulo: Ática, 2003

CARNEIRO LEÃO, M.B. **Direito Internacional do Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Atlas, 2013

CHIZZOTTI, A. **Pesquisa qualitativa em ciências humanas e sociais**. São Paulo: Editora Vozes, 2000

CRUZ, J. M. B. P., SARMENTO, A. J. N. A. **Energias das ondas: introdução aos aspectos tecnológicos, econômicos e ambientais**. Alfragide: Instituto do Ambiente, 2004.

ENGEL, L. **O mar**. Rio de Janeiro: J. Olympio, 1972. 201 p.



HINRICHES, R. A. **Energia e meio ambiente**. São Paulo: Cengage Learnig, 2014.

JOHN, L.H. **Ecologia – de indivíduos a ecossistemas**. São Paulo: ARTMED, 2012

LEMOS, P. F. I. **Resíduos sólidos e Responsabilidade Civil pós-consumo**. 3 ed. São Paulo: RT, 2014

MARCONI, M.A; LAKATOS, M.E. **Metodologia do trabalho científico**. 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

NETO, J.A. **Sustentabilidade e Produção – Teoria e Prática para uma Gestão Sustentável**. São Paulo: Atlas, 2011

ONU. **Relatório sobre riscos climáticos e impactos ambientais**. 2014

PALZ, W. **A energia das marés e fontes alternativas**. São Paulo: Hemus, 1995

RATTNER, H. **Uma ponte para a sociedade sustentável**. São Paulo: SENAC São Paulo, 2014

RIBEIRO, K. D. K. F. "Classificação dos ambientes marinhos"; *Brasil Escola*. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/biologia/classificacao-dos-ambientes-marinhos.htm>>. Acesso em 28 de abril de 2019.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 1999.

RODRIGUES, R.M. **Pesquisa Acadêmica: Como Facilitar o processo de preparação de suas etapas**. São Paulo: Atlas, 2007.

ROSA, A. **Processos de energias renováveis**. São Paulo: Campus, 2014

SANTOS, M.A. **Fontes de Energia Nova e Renovável**. São Paulo: LTC, 2013

TARDIOLI, P. W. **Termodinâmica para Engenharia. Um curso introdutório**. São Carlos: UFSCar, 2011. 214 p.

TUREKIAN, K. K. **Oceanos. Série de textos básicos de Geociência**. São Paulo: Edgard Blücher, 1988. 152 p.

YIN, R. K. **Estudo de caso – planejamento e métodos**. (2Ed.). Porto Alegre: Bookman. 2001