



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO
CAMPUS CARAÚBAS
ENGENHARIA MECÂNICA

PEDRO VINÍCIUS FERNANDES DE ANDRADE

**MODELAGEM E ANÁLISE DE UM CONVERSOR ONDOMOTRIZ DO TIPO
ABSORVEDOR PONTUAL**

CARAÚBAS - RN
2017

PEDRO VINÍCIUS FERNANDES DE ANDRADE

**MODELAGEM E ANÁLISE DE UM CONVERSOR ONDOMOTRIZ DO TIPO
ABSORVEDOR PONTUAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, Campus Caraúbas para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. MSc. Rafael Luz Espindola –
UFERSA

CARAÚBAS - RN
2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

A553a Andrade, Pedro Vinícius Fernandes de.
m Modelagem e análise de um conversor ondomotriz
do tipo absorvedor pontua / Pedro Vinícius
Fernandes de Andrade. - 2017.
40 f. : il.

Orientador: Rafael Luz Espindola.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Mecânica, 2017.

1. Energia ondomotriz. 2. Conversor
ondomotriz. 3. Eficiência de conversão mecânica.
4. Redimensionamento por escala. 5. WEC. I.
Espindola, Rafael Luz, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

PEDRO VINÍCIUS FERNANDES DE ANDRADE

**MODELAGEM E ANÁLISE DE UM CONVERSOR ONDOMOTRIZ DO TIPO
ABSORVEDOR PONTUAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, Campus Caraúbas para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

APROVADO EM: 16/05/2017

BANCA EXAMINADORA


Prof. Msc. Rafael Luz Espindola - UFERSA
Presidente


Profª. Dra. Ítalla Medeiros Bezerra - UFERSA
Primeiro Membro


Prof. Dr. Jackson de Brito Simões - UFERSA
Segundo Membro

A **Maria Elisabete**, minha mãe, que é e sempre será minha principal fonte de incentivo e apoio, fazendo tudo para que eu atinja minhas metas.

AGRADECIMENTOS

A minha mãe Maria Elisabete, que me educou desde o começo da minha formação a ser um aluno exemplar e dedicado.

A minha noiva Yasmin, por me ajudar e motivar durante minha jornada, e tornar meus dias mais alegres, te amo.

A minha família, primos, tios e avós, que sempre estavam dispostos a me ajudar.

A Rafael Espindola, meu orientador, pelo apoio, suporte e disponibilidade, contribuindo para a realização desse trabalho.

Aos meus amigos Cleyson Gomes, Herbert Herackles e Rodrigo Nogueira, que estiveram me ajudando nessa jornada e principalmente na graduação.

Aos meus amigos do Caixa de Besteira por serem leais e estarem dispostos a participar de muitas fases da minha vida, sejam elas alegres ou de necessidades.

A Equipe Caraubaja, na qual obtive ensinamentos e habilidades que levarei pro resto da vida.

Aos companheiros de estudo durante todos esses anos.

Aos todos os professores da UFERSA, que contribuíram com minha formação através do ensino.

Aos professores de Engenharia Mecânica, que além de ótimos mestres são também amigos valiosos.

RESUMO

O presente trabalho trata da análise de um conversor do tipo absorvedor pontual em ondas de um ponto da costa do Rio Grande do Norte. Os conversores de energia ondomotriz (WEC - *Wave Energy Converter*) da atualidade se encontram classificados de duas formas: quanto ao local de instalação e quanto à característica de conversão. Para realizar a análise foi usado um conversor já existente da *Power Buoy*, e essa se resume a calcular a força que a onda provoca no WEC, a energia mecânica total que pode ser convertida pelo WEC, a energia mecânica que a onda carrega, a eficiência desse WEC nas ondas especificadas. A partir dessas informações variou-se a escala do modelo a fim de obter-se as dimensões do conversor de melhor eficiência naquele local. Dessa forma, foi gerada uma metodologia para dimensionar um absorvedor pontual para se obter a maior eficiência variando sua escala.

Palavras-Chaves: Energia ondomotriz, conversor ondomotriz, WEC, eficiência de conversão mecânica, redimensionamento por escala.

ABSTRACT

This work is an analysis of a point absorber converter in waves of a point of the coast of Rio Grande do Norte. The ondomotriz energy converters (WEC - Wave Energy Converter) are as follows. To perform the analysis has been used an existing converter, the Power Buoy, and this resumes to calculating the force that the wave causes in the WEC, the total mechanical energy that can be converted by the WEC, the mechanical energy that the wave loads, the efficiency of WEC in the specified waves. Also, alternate the scale of the model so that can be observed how the efficiency in that wave place behave. Thus, a methodology was generated to dimension a point absorber and obtain greater efficiency by varying its scale.

Key Words: *Wave energy, wave converter, WEC, mechanical conversion efficiency, scaling.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição anual aproximada de potência das ondas (kW/m de frente de onda).	12
Figura 2 – Principais parâmetros de uma onda oceânica.	15
Figura 3 – Alteração do raio no movimento das partículas em uma onda profunda.	16
Figura 4 – Alteração no raio no movimento das partículas em ondas rasas.	17
Figura 5 – Conversores classificados por característica de conversão.	20
Figura 6 – Dispositivo PB3 da <i>Power Buoy</i>.	21
Figura 7 – Corpo oscilando verticalmente.	23
Figura 8 – Corpo oscilando angularmente.	24
Figura 9 – Corpo com comprimento igual ao λ e com $3/2$ do mesmo.	25
Figura 10 – Fluxograma da metodologia utilizada	28
Figura 11 – Mapa de calor de frequência de ocorrência de ondas no local.	30
Figura 12 – Direção e altura significativa de onda no local.	31
Figura 13 – Matriz de frequência de onda no local.	31
Figura 14 – Matriz de potência mecânica do conversor original em kW.	32
Figura 15 – Matriz de energia mecânica do conversor original em kN.m.	33
Figura 16 – Potência mecânica em função da escala.	33
Figura 17 – Energia mecânica convertida em função da escala.	34
Figura 18 – Energia mecânica total contida na onda em função da escala.	34
Figura 19 – Eficiência em função da escala.	35
Figura 20 – Matriz de potência mecânica do conversor na escala 3,3 em kW.	35
Figura 21 – Matriz de energia mecânica do conversor na escala 3,3 em kN.m.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Informações adicionais do ponto analisado.....	30
Tabela 2 – Informações do WEC.	32
Tabela 3 – Informações do WEC para $\lambda = 3,3$.....	35

SUMÁRIO

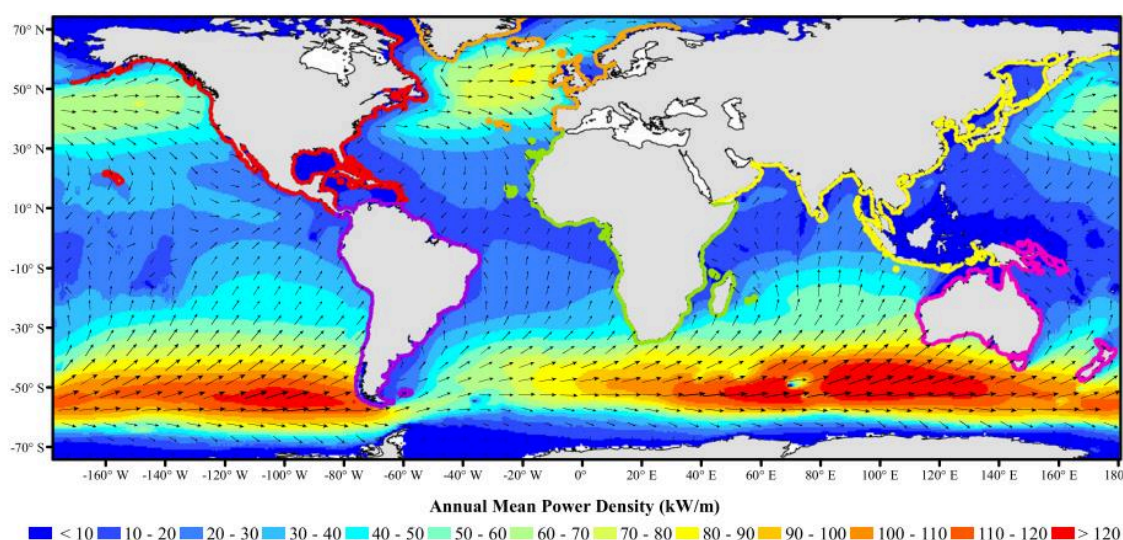
AGRADECIMENTOS	3
RESUMO.....	4
ABSTRACT.....	5
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE TABELAS	7
SUMÁRIO	8
1. INTRODUÇÃO	12
1.1. Justificativa.....	12
1.2. Objetivo Geral	13
1.3. Objetivos Específicos	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. Ondas oceânicas	15
2.1.1. Classificação das ondas oceânicas	16
a) Ondas Profundas	16
b) Ondas Rasas	17
c) Ondas Intermediárias	17
2.1.2. Ondas de Vento.....	17
2.2. Conversores ondomotriz	18
2.2.1. Classificação dos Conversores.....	18
2.2.1.1. Local de instalação.....	18
a) Dispositivo Costeiro	18
b) Dispositivos Próximos da Costa	19
c) Dispositivos Afastados da Costa.....	19
2.2.1.2. Característica de Conversão.....	19
a) Atenuador.....	20
b) Absorvedor pontual.....	21
c) Dispositivo de onda oscilante (pêndulo inverso)	22
d) Dispositivo de coluna de água oscilante (OWC)	22
e) Dispositivos de Galgamento	23
2.3. Conversão da Energia Ondomotriz de um Absorvedor Pontual	23

2.4.	ERA-INTERIM.....	27
3.	METODOLOGIA	28
a)	Analisar WEC existentes:	28
b)	Escolher um WEC para servir de modelo:.....	28
c)	Obter dados de frequência de onda:	29
d)	Estimar a conversão de energia do conversor:.....	29
e)	Variação da escala do modelo:	29
f)	Eficiência das escalas:	29
4.	RESULTADOS	30
4.1.	Determinação das características principais das ondas.....	30
4.2.	Determinação das características do conversor a ser analisado	32
4.3.	Análise do conversor.....	32
5.	CONCLUSÕES	37
6.	REFERÊNCIAS.....	38

1. INTRODUÇÃO

A energia das ondas nos oceanos, conhecida como energia ondomotriz é uma forma de geração de energia elétrica renovável. O recurso total atribuído à mesma, segundo Thorpe (b) (1999), é de 2 TW. A Figura 1 apresenta a distribuição dessa fonte de energia ao redor do planeta. Apesar desses dados, a maioria das pesquisas ainda não saiu da fase de protótipos, e se tem poucos exemplos de projetos já comerciais. O projeto Pelamis em Portugal está em uma fase bastante avançada e é a primeira fazenda conversora de energia das ondas do mundo.

Figura 1 – Distribuição anual aproximada de potência das ondas (kW/m de frente de onda).



Fonte: GUNN, 2012.

Dessa forma, tende-se a acreditar que a energia ondomotriz é o futuro das energias renováveis, e inovar em pesquisa e tecnologia na área é uma excelente estratégia nesta época.

Os conversores ondomotriz são elementos que transformam a energia mecânica de movimento que as ondas carregam em energia elétrica, seja por utilização de turbinas, geradores e etc. O conversor do tipo absorvedor pontual utiliza um gerador magnético linear para fazer essa transformação.

1.1. Justificativa

O Brasil é um país com um grande litoral, em torno de 7300 km de extensão (TESSLER, 2005). Logo, é interessante utilizar sua costa para fins de geração de energia proveniente de fontes alternativas. Porém, a falta de investimento e pesquisa em energia

ondomotriz causa uma deficiência da tecnologia no panorama nacional, além de desperdiçar uma ótima fonte de geração de energia elétrica.

À medida que os anos passam, a sociedade precisa de alternativas para manter o padrão de vida favorável. A entrada de energias renováveis não é novidade no mercado de geração de energia elétrica, fazendo-se necessárias pesquisas e criações de novas tecnologias nesta área. A energia ondomotriz é uma alternativa ideal para o Brasil. Pois o mesmo possui um litoral definitivamente vasto. Além disso, é um meio onde as pesquisas podem avançar rapidamente, sendo relativamente nova quando comparada as demais fontes renováveis.

Segundo Tessler (2005) no Brasil as ondas do sul e sudeste tem um período entre 10 e 16 segundos e altura de 1 a 4 metros, enquanto que as do norte e nordeste têm entre 5 e 10 segundos e 1 a 2 metros nas mesmas características. Mesmo sendo relativamente pequenas, as ondas brasileiras são constantes e predominantemente unidirecionais. Ao contrário das ondas europeias, as presentes no litoral brasileiro possuem menos energia transportada, precisando-se assim de protótipos dimensionados especificamente para estes tipos de onda.

1.2. Objetivo Geral

O Brasil é um líder mundial em relação a fontes de energias renováveis, mas ainda é muito dependente de hidrelétricas, fonte que causa um dano ambiental irreversível. Claro que um país precisa ter sua energia retirada de várias fontes, então inserir a fonte ondomotriz no país seria de grande ajuda para sua matriz energética.

Com propostas de protótipos dimensionados especificamente para as ondas brasileiras, espera-se aumentar o incentivo e investimento nessa área de geração de energia, mantendo o com alternativas para matriz energética e avançando nas pesquisas.

Assim, o objetivo geral deste trabalho é apresentar uma metodologia para dimensionamento de um WEC (*Wave Energy Converter*) para maior eficiência de conversão.

1.3. Objetivos Específicos

- Definição do conversor utilizado;
- Obtenção dos dados de onda e construção da matriz de frequência;

- Cálculo de potência, energia e eficiência, assim como as matrizes de potência e energia convertidas para o conversor na escala original;
- Análise de comportamento ao variar a escala e obtenção da escala com maior eficiência.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é realizada uma breve revisão dos conhecimentos mais relevantes para o entendimento desse trabalho.

2.1. Ondas oceânicas

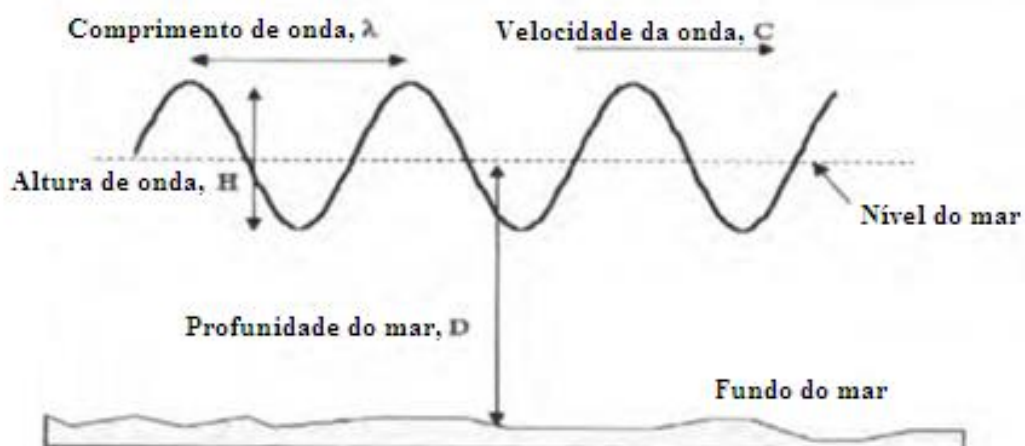
McCormick e Thiruvathukal (1981) afirmam que existem dois tipos de ondas, as ondas gravitacionais e as ondas capilares.

Ondas na superfície do mar tendem a enfraquecer e desaparecer por meio de uma força restauradora. Para ondas com comprimento menor que 1,73 cm a principal força de restauração é a tensão da água, essas são chamadas de ondas capilares. Para ondas com comprimento maior que esse, a força de restauração é a gravidade. Por isso o nome ondas gravitacionais (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981).

Os principais parâmetros de uma onda são comprimento de onda (λ), altura da onda (H), período (T) e velocidade com que ela viaja (C) como representado na Fig. 2.

O comprimento da onda pode ser encontrado numa relação simples entre a velocidade e o período, $\lambda = CT$. Já a frequência natural da mesma é o inverso do período, $f = 1/T$.

Figura 2 – Principais parâmetros de uma onda oceânica.



Fonte: Adaptado de (BROOKE, 2003).

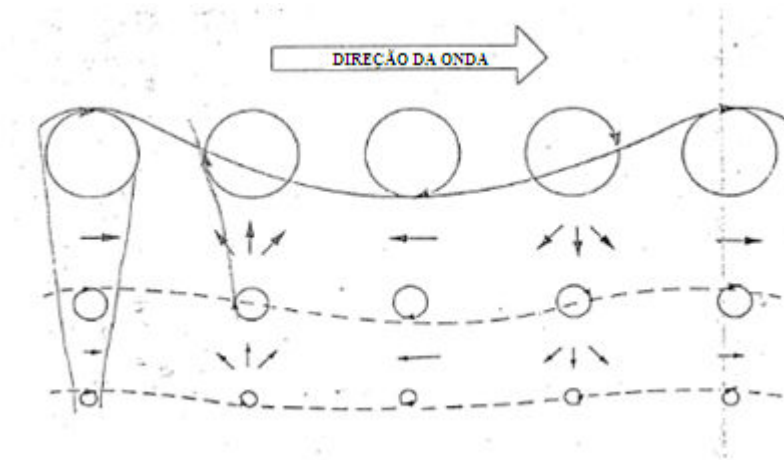
2.1.1. Classificação das ondas oceânicas

A maioria das ondas gravitacionais é gerada pelo vento, porém, elas podem também ser provocadas por terremotos submarinos, erupções vulcânicas nas profundezas, barcos e navios e a atração gravitacional da Lua e do Sol. Essas ondas gravitacionais podem ser subdivididas em três categorias em relação à razão entre a profundidade (D) na qual ela se encontra e seu comprimento (λ), (razão: D/λ): ondas rasas, intermediárias e profundas.

a) Ondas Profundas

Uma onda profunda apresenta como razão entre a profundidade e seu comprimento de onda $D/\lambda \geq 1/2$. As partículas de água associadas a ondas profundas se movem em círculos e esses vão decrescendo seu raio de acordo com o aumento da profundidade, como mostra a Fig. 3.

Figura 3 – Alteração do raio no movimento das partículas em uma onda profunda.



Fonte: Adaptado de (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981).

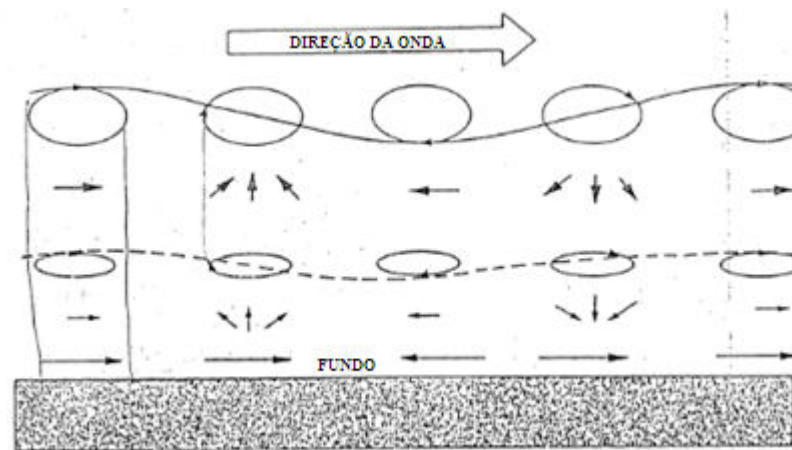
As ondas profundas se deslocam com a velocidade $C = \sqrt{g\lambda/2\pi}$ e $\lambda = CT$. Assim, substituindo o comprimento de onda na expressão de velocidade, têm-se que $C^2 = gCT/2\pi$, logo $C = gT/2\pi$. Portanto, a velocidade depende apenas do comprimento da onda. A Equação 1 nos mostra o comprimento de onda em função do período.

$$\lambda = gT^2/2\pi \quad (1)$$

b) Ondas Rasas

Uma onda rasa, por sua vez, tem como razão $D/\lambda \leq 1/25$ (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981). Nas ondas rasas as partículas descrevem um movimento elíptico à medida que a onda passa por elas, acelerando assim as partículas na parte horizontal da elipse. Os raios horizontais mantêm-se constante, até a onda encontrar o fundo do mar, onde as partículas descrevem somente um movimento horizontal, com a mesma intensidade que a velocidade no sentido horizontal da elipse, como mostra a Fig. 4.

Figura 4 – Alteração no raio no movimento das partículas em ondas rasas.



Fonte: adaptado de (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981).

A velocidade das ondas rasas não depende do comprimento da onda, mas sim da profundidade em que a mesma se encontra, sendo $C = \sqrt{gD}$, onde g é a aceleração da gravidade na terra.

c) Ondas Intermediárias

Qualquer razão D/λ entre esses dois tipos é considerada uma onda intermediária.

Os termos “rasa” e “profunda” não condizem com seu sentido de profundidade, pois, por exemplo, um tsunami de 150km de comprimento, se deslocando em águas com profundidade menor igual a 6 km se comporta como uma onda rasa ($6/150 = 1/25$).

2.1.2. Ondas de Vento

Ondas de vento são ondas geradas pela força de arrasto que o vento causa ao percorrer a superfície do mar. Essas ondas crescem à medida que o vento sopra e costumam desaparecer

quando o vento para, porém, se o ele for veloz o suficiente - cerca de 3,7 km/h, (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981) - as ondas de vento irão se tornar mais estáveis e irão formar ondas gravitacionais, as quais irão percorrer grandes distâncias sem depender mais do impulso do vento.

A razão pela qual as ondas se movem em direção à praia é porque quando uma onda profunda chega a um ponto onde seu comprimento é o dobro da profundidade, ela começa a “arrastar” no fundo do mar e desacelerar, enquanto as outras partes da onda continuam a mover-se como se estivessem em águas profundas, então, por esse motivo, as ondas ficam quase paralelas à costa. Essas ondas com pouca velocidade e perdendo força devido ao contato com o fundo do mar carregam menos energia que as ondas mais velozes no alto mar, mas ainda tem um considerável potencial energético.

2.2. Conversores ondomotriz

O princípio da energia ondomotriz é aproveitar a energia cinética e/ou potencial proveniente nas ondas e, com um conversor adequado, transformá-la em energia mecânica.

2.2.1. Classificação dos Conversores

Existem mais de 1500 patentes registradas de conversores da energia das ondas (WEC) segundo Costa (2004), e eles são classificados de duas formas: em relação ao local de instalação, e em relação à característica de conversão.

2.2.1.1. Local de instalação

Em relação ao local de instalação, segundo Cruz (2004), eles se dividem em costeiros, próximos da costa ou afastados da costa.

a) Dispositivo Costeiro

Os dispositivos costeiros (*onshore* ou *shoreline*, em inglês) são fixos nas orlas, e apresentam vantagens em relação à instalação e à manutenção, pois não exige que trabalhadores passem dias em alto mar para a construção do mesmo. Além disso, o desgaste em relação à erosão marítima é relativamente menor, comparado aos dispositivos mais afastados da costa, que são constantemente erodidos com ventos fortes, ondas maiores e uma

concentração de sal que provoque mais corrosão. Porém, por estarem em locais onde a água tem baixa profundidade, terão baixo rendimento, pois as ondas que carregam uma maior quantidade de energia se encontram em alto mar.

b) Dispositivos Próximos da Costa

Os dispositivos próximos da costa (*nearshore*), instalados em profundidades de cerca de 20 metros, são situados próximos a molhes e quebra-mares. Estes, por sua vez, já necessitam de gastos adicionais com especialistas. Mesmo que funcionem instalados na distância da orla onde são situados quebra-mares, a erosão é sem dúvida maior que a presente na costa e sua manutenção é dificultada pela distância e o difícil acesso.

c) Dispositivos Afastados da Costa

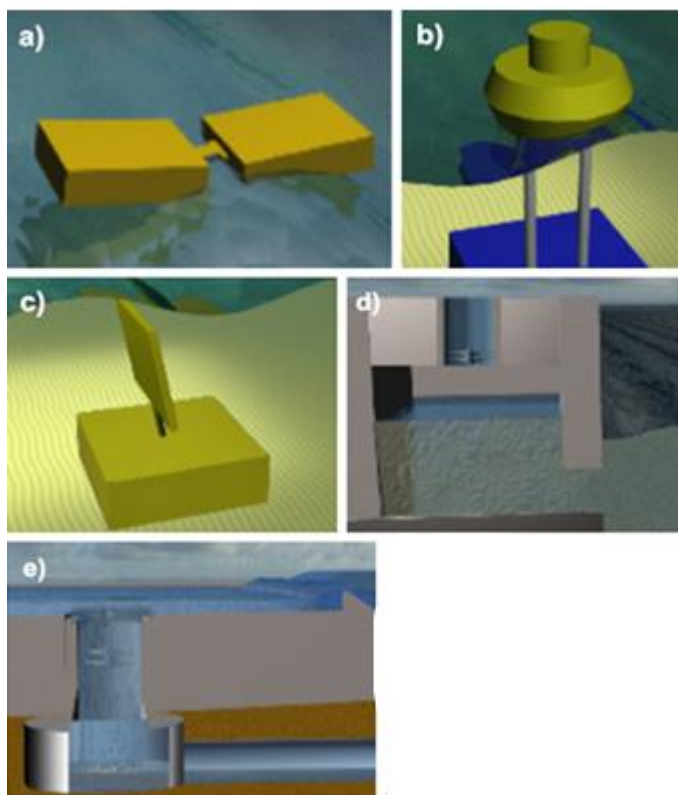
Os afastados da costa (*offshore*) exploram ondas potentes e são instalados em locais com 40 a 50 metros de profundidade. Estes são os mais caros entre os 3 tipos, pois a instalação e manutenção do mesmo é difícil. Além disso, as ondas que serão convertidas por esses aparelhos possuem mais energia e o desgaste com o vento e o sal do mar vai fazer o equipamento precisar de um reforço robusto e resistente. Tudo isso aumenta o preço desses dispositivos, tendo como sua única vantagem trabalhar com ondas que carregam bem mais energia e são bem mais potentes que as ondas que se aproximam da costa.

Os conversores que serão categorizados nesse tipo são principalmente os atenuadores e a maioria dos dispositivos de galgamento.

2.2.1.2. Característica de Conversão

Já em relação à característica de conversão, segundo Lagoun (2010), pode-se ter os seguintes dispositivos: atenuadores, absorvedores pontuais, pêndulo inverso, dispositivo de coluna oscilante e dispositivos de galgamento. Ainda sobre característica de conversão, Rodrigues (2005) apresenta alguns outros tipos, que também podem ser classificados por Lagoun (2010) por semelhança de características. A Fig. 5 apresenta os variados tipos de conversores apresentados.

Figura 5 – Conversores classificados por característica de conversão.



(a: atenuador; b: absorvedor pontual; c: pendulo invertido; d: dispositivo de onda oscilante; e: dispositivo de galgamento). Fonte: LAGOUN, 2010.

Na teoria, todas as subdivisões de Lagoun (2010) podem ser encaixadas nas três divisões de Cruz (2004) descritas no tópico anterior, sendo alguns absorvedores pontuais, a maioria dos pêndulos inversos e quase todos os dispositivos de coluna oscilante, considerados dispositivos costeiros, pois todos eles se encontram em baixa profundidade, por exemplo.

a) Atenuador

Um atenuador (Fig. 5a) é um dispositivo que flutua sobre as ondas e que trabalha paralelo à direção delas. Movimentos ao longo do seu comprimento podem ser selecionados e convertidos em energia. (LAGOUN, 2010).

O projeto Pelamis, em Portugal, é um exemplo atual em funcionamento desse tipo de conversor, e é a primeira estação de energia ondomotriz do mundo. Ele é um grande dispositivo em formato de cobra com vários cilindros articulados entre si. Esses cilindros tem um diâmetro de 3,5 metros e são feitos de 700 toneladas de aço-carbono. O movimento nas

articulações entre os cilindros faz com que os êmbolos presentes sejam comprimidos e tracionados. Estes êmbolos irão pressurizar um fluido que irá passar por um motor hidráulico presente em um dos cilindros. O motor está acoplado a um gerador que produzirá a eletricidade.

b) Absorvedor pontual

Também chamados de boias (Fig. 5b), são dispositivos pequenos quando comparados aos demais conversores. Eles apresentam geralmente formato cilíndrico, o que pode variar de acordo com o fabricante e são ancorados ao fundo do mar. Se estiverem em alta profundidade são ancorados por meio de cabos condutores. Em baixa profundidade eles são muitas vezes fixos. Apresentam um movimento oscilatório de subida e descida, e captam energia de todas as direções por terem diâmetro consideravelmente menor que o comprimento de onda que passará por eles.

Um exemplo de absorvedor pontual é o *Power Buoy*. Nesse projeto são usadas enormes estruturas, geralmente em grandes profundidades, atuando como boias (Fig. 6). As ondas se movimentam entre essas estruturas e fazem com que os dispositivos se movam pra cima e para baixo, gerando assim energia mecânica, que pode ser transformada em energia elétrica, e enviada para a costa por meio de cabos de transmissão no fundo do mar. As boias têm geralmente 40 kW de potência, com diâmetros de 4 m e um comprimento de 16 m, devem ser instaladas a aproximadamente 8 km da costa, em profundidades de 40 a 60 m.

Figura 6 – Dispositivo PB3 da *Power Buoy*.



Fonte: OCEAN POWER TECHNOLOGIES, 2017.

Existem inúmeras vantagens e desvantagens, na utilização do conversor submerso ou na superfície. Estar submerso pode impedir em parte uma corrosão acentuada (pois estará menos exposto a ação do sol e do vento, fatores que catalisam a corrosão), mas exigirá um maior cuidado com a elevação da pressão com a profundidade, e ainda têm-se uma dificuldade na manutenção. Já na superfície temos uma maior facilidade de manutenção, mas pode prejudicar visualmente a paisagem do local (RODRIGUES, 2005).

c) Dispositivo de onda oscilante (pêndulo inverso)

O pêndulo (Fig. 5c) pode funcionar na costa, onde as ondas irão empurrar um pêndulo transversalmente fazendo com que este mova um êmbolo hidráulico para produzir energia através de turbinas. E também próximo à costa, aonde ele irá pressionar um embolo hidráulico de acordo com a diferença de pressão que ondas causam no fundo do mar sempre fazendo um movimento angular que irá propulsionar a conversão de energia.

O princípio de usar o pêndulo como barreira para as ondas é para extrair tanto as oscilações como o movimento das partículas, em forma de energia, das ondas que esbarram transversalmente no dispositivo. (LAGOUN, 2010).

d) Dispositivo de coluna de água oscilante (OWC)

O OWC (*Oscillating Wave Column*) (Fig. 5d), é um aparelho parcialmente submerso, onde existe uma abertura para que a coluna de água seja empurrada pelas ondas. Quando essa coluna sobe, o ar dentro da câmara é forçado a sair por uma abertura na parte superior, onde está instalada uma turbina. Esse ar pressurizado é ejetado da câmara, fazendo a turbina girar e produzir energia mecânica. Quando a coluna de água baixa após a passagem da onda, a diferença de pressão existente irá fazer com que o ar que foi expulso volte para a câmara e possa ser utilizado pela turbina novamente para extração de energia.

Apesar do princípio desse dispositivo funcionar também longe da costa, a maioria dos projetos que utilizam essa ideia, incluindo os já operacionais, preferem a costa, onde a conversão pode ser realizada sem os problemas e dificuldades do alto mar. No entanto, a instalação na costa causa um impacto ambiental de grande proporção, já que será preciso instalar uma fundação em uma rocha na orla. A poluição visual e sonora que este dispositivo provoca também é um problema considerável, principalmente quando instalado na costa, onde pode prejudicar a paisagem da região.

e) Dispositivos de Galgamento

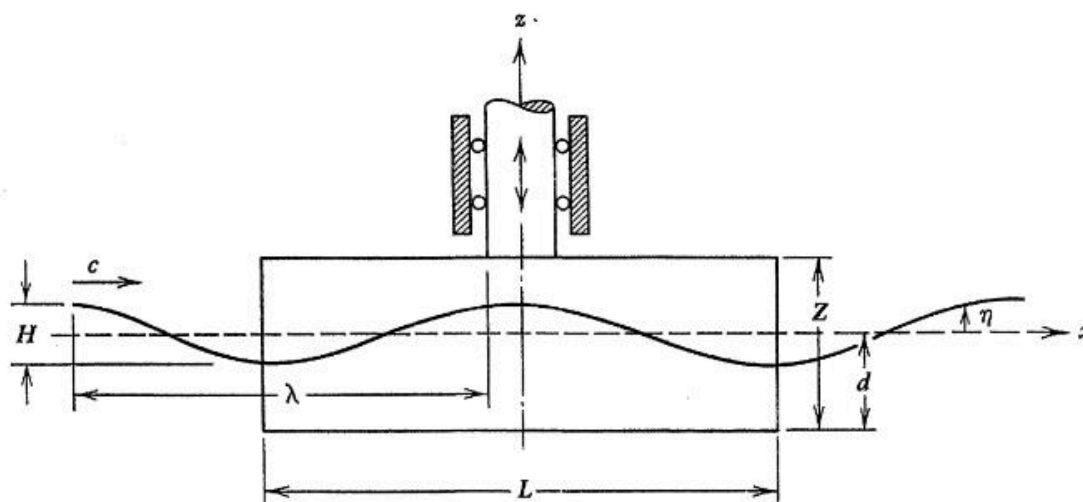
Esse dispositivo (Fig. 5e) usa o princípio de acumular água quando as ondas se encontrarem com sua borda, fazendo com que certa quantidade de água se acumule em um reservatório. Quando quantidade suficiente de água é acumulada, é liberada a vazão dessa água de volta para o oceano. A água escoá pela ação da gravidade e passa por turbinas. Assim como numa hidrelétrica, a energia potencial da água acumulada será transformada em energia mecânica pelas turbinas. A borda com angulação para acúmulo de água deve estar sempre direcionada de encontro ao do movimento das ondas.

2.3. Conversão da Energia Ondomotriz de um Absorvedor Pontual

As equações e formulas foram descritas e configuradas por McCormick (2013).

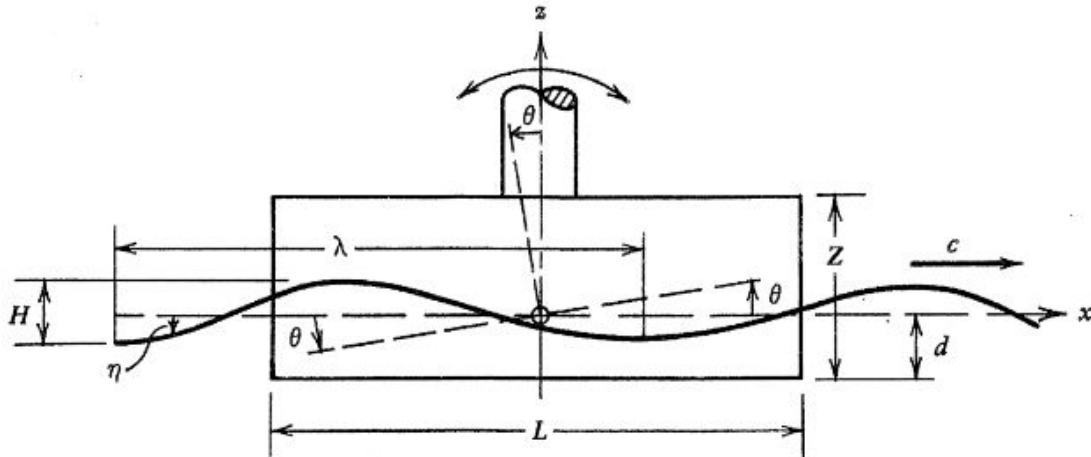
Na conversão para energia mecânica, uma onda que passa por um corpo de comprimento L pode fazer ele oscilar verticalmente junto com a onda se o comprimento dela for igual ao do corpo, ou balançar angularmente se o comprimento da onda for maior ou menor que o do corpo como é mostrado nas Figs. 7 e 8.

Figura 7 – Corpo oscilando verticalmente.



Fonte: MCCORMICK, 2013.

Figura 8 – Corpo oscilando angularmente.



Fonte: MCCORMICK, 2013.

Como derivado por McCormick (1973), a frequência natural de oscilação vertical de um corpo flutuante é dada pela Eq. 2.

$$f_z = \frac{1}{T_z} = \frac{\omega_z}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho g A_{wp}}{m + m_w}} \quad (2)$$

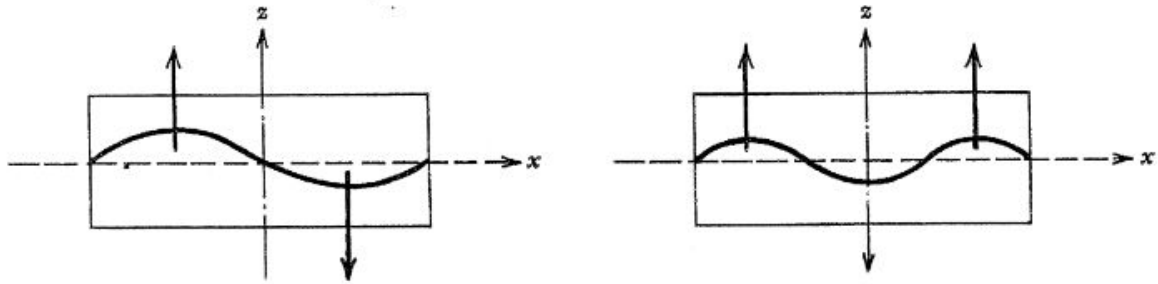
onde T_z é período natural de oscilação vertical, ω_z é frequência natural de oscilação vertical, ρ é a massa específica da água do mar (1030 kg/m^3), A_{wp} é a área planar do flutuador, m é a massa do sistema de flutuação e m_w é a massa adicional, isto é, a massa de água excitada pelo movimento de oscilação vertical.

Para que um corpo oscile verticalmente é necessário que o comprimento do mesmo seja no mínimo a metade do comprimento de onda, onde N pode ser 1, 3, 5, ... (Eq. 3):

$$L = \frac{N\lambda}{2} \quad (3)$$

Caso o corpo tenha o mesmo comprimento que o comprimento de onda teremos forças induzidas pela onda que se anulam. Já num corpo com $3/2$ do comprimento de onda, uma força resultante será produzida pelas forças induzidas pela onda (Fig. 9), fazendo com que o corpo oscile.

Figura 9 – Corpo com comprimento igual ao λ e com 3/2 do mesmo.



Fonte: MCCORMICK, 2013.

A massa adicional que é excitada pelo movimento de oscilação vertical de um corpo cilíndrico pode ser encontrada a partir da Eq. 4:

$$m_w = \frac{\rho D^3}{6} \quad (4)$$

onde D é o diâmetro do flutuador.

De acordo com McCormick (2013), a posição de um corpo durante a oscilação pode ser determinada pela Eq. 5.

$$z = \frac{\left(\frac{F_0}{\rho g A_{wp}}\right) \cos(\omega t + \gamma - \sigma_z)}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_z^2}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta_z \omega}{\omega_z}\right)^2}} = Z_0 \cos(\omega t + \gamma - \sigma_z) \quad (5)$$

onde F_0 é a amplitude da força da onda, Z_0 é a amplitude do movimento e é uma simplificação de todo o termo que multiplica o cosseno presente na equação, ω é a frequência circular da onda, t é o tempo em segundos, γ é o ângulo de fase que depende dos componentes da força da onda, e σ é o ângulo de fase que depende do sistema de amortecimento Δ_z , este último encontrado a partir de gráficos.

A partir da Eq. (5) pode-se achar a velocidade e a aceleração do corpo flutuante, respectivamente Eq. 6 e Eq. 7:

$$v_z = \frac{dz}{dt} = -\omega Z_0 \sin(\omega t + \gamma - \sigma_z) \quad (6)$$

$$\frac{d^2z}{dt^2} = -\omega^2 Z_0 \cos(\omega t + \gamma - \sigma_z) = -\omega^2 z \quad (7)$$

Determinadas as Eq. 5 e 6, podem ser obtidas a expressão da energia cinética (Eq. 8):

$$E_{CZ} = \frac{1}{2}(m + m_w) \left(\frac{dz}{dt}\right)^2 = \frac{1}{2}(m + m_w) \omega^2 Z_0^2 \sin^2(\omega t + \gamma - \sigma_z) \quad (8)$$

E a energia potencial (Eq.9):

$$E_{PZ} = \frac{1}{2} \rho g A_{wp} z^2 = \frac{1}{2} \rho g A_{wp} Z_0^2 \cos^2(\omega t + \gamma - \sigma_z) \quad (9)$$

Assim, a energia total do sistema flutuante é dada pela Eq. 10:

$$E_Z = E_{CZ} + E_{PZ} = \frac{1}{2} [(m + m_w) \omega^2 + \rho g A_{wp}] Z_0^2 \quad (10)$$

Essa equação fornece a energia total dos sistema para um corpo flutuando em águas marinhas, o que pode ser muito bem tratado como o sistema de um conversor de energia ondomotriz flutuante.

Já a energia total presente, em uma onda de altura H e comprimento de crista B, que se iguala ao diametro do conversor, é representada pela Eq 11:

$$E = \frac{\rho g H^2 \lambda B}{8} \quad (11)$$

A força induzida pela onda em um corpo oscilando pode ser calculada através da Eq. 12.

$$F_{zR} = \frac{\rho g H \pi R^2}{4} \left(1 - \frac{\pi^2 R^2}{2 \lambda^2}\right) \left(e^{-\frac{2 \pi d}{\lambda}} + 1\right) \cos(\omega t) \quad (12)$$

A expressão pra força na Eq. 12 pode ser simplificada pela Eq. 13 se considerarmos que o conversor oscila com a amplitude da força que a onda provoca no mesmo.

$$F_z = F_0 \cos(\omega t) \quad (13)$$

onde F_0 é a força de amplitude.

A potência mecânica de um corpo flutuante (Eq. 14) é o produto da força induzida pela onda em um corpo cilindrico (Eq. 12) e a velocidade de oscilação vertical (Eq. 6).

$$P_z = F_z \frac{dz}{dt} \quad (14)$$

A potencia média desse corpo ao longo do período de uma onda é dada pela Eq. 15:

$$\hat{P}_z = \frac{F_0 \omega Z_0}{2} \quad (15)$$

A eficiência do corpo oscilante (Eq. 16) pode ser encontrada pela razão entre a energia mecânica que o corpo aproveita (Eq. 10) e a energia que a onda carrega (Eq. 11).

$$\epsilon_z = \frac{E_z}{E} \quad (16)$$

2.4. ERA-INTERIM

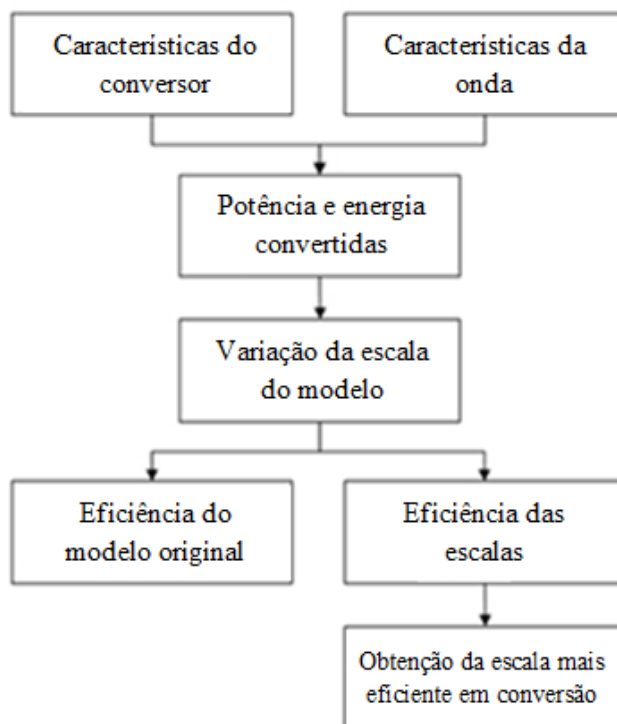
ERA-Interim é a mais recente reanálise atmosférica global anual produzida pelo ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*). Sua cobertura começa em 1979 e continua até a data atual. Os produtos são dados em grade que incluem uma grande variedade de parâmetros de superfície com uma resolução de 3 horas, descrevendo tanto o clima e as ondas do mar e a superfície terrestre. Eles também incluem parâmetros de ar com uma resolução de 6 h, cobrindo a troposfera e a atmosfera (DEE, 2011).

O modelo de onda utilizado para produzir alguns dos dados baseia-se no modelo WAM de onda espectral de 3ª geração e inclui uma série de melhorias em aspectos físicos e numéricos em comparação com o desenho anterior ERA-40. Entre as melhorias realizadas, a mais significativa para as aplicações climáticas é a introdução de uma solução para os efeitos batimétricos não resolvidos e melhorar o termo da fonte de dissipação (Dee et al., 2011). O modelo tem uma resolução espacial de $1^\circ \times 1^\circ$, o que equivale à distância máxima horizontal de 110 km.

3. METODOLOGIA

A Fig. 10 apresenta um fluxograma representando a sequência seguida no trabalho.

Figura 10 – Fluxograma da metodologia utilizada.



Fonte: O autor.

Este trabalho foi desenvolvido seguindo a sequência de passos descritas:

a) Analisar WEC existentes:

Os WEC foram classificados seja por distância da costa (profundidade do mar), ou por tipo de conversão. A Seção 2 descreve a classificação dos diversos tipos de conversores.

b) Escolher um WEC para servir de modelo:

O WEC escolhido para servir de modelo no trabalho foi o tipo absorvedor pontual, por ser um modelo que não é especializado em nenhum tipo de onda (tanto para ondas grandes e potentes como ondas pequenas e fracas), e poder ser instalado em praticamente qualquer localidade próximo e distante da costa.

c) Obter dados de frequência de onda:

Utilizando os dados de onda fornecidos pelo projeto ERA-INTERIM, foi obtida uma matriz de condição de mar, sendo isto a frequência com que ondas apresentando determinadas alturas e períodos se apresentam em um determinado ponto do oceano, nesse caso o ponto escolhido foi um local aleatório da costa do RN.

d) Estimar a conversão de energia do conversor:

A conversão de energia mecânica, além da potência mecânica do conversor em questão serão calculadas utilizando as formulações de McCormick (2013), sendo aplicados os dados de frequência de onda de um ponto da costa do RN, obtidos a partir do ERA-INTERIM. Dessa forma pode-se obter a matriz de potência extraída pelo conversor (Eq. 15) e a matriz de potência total que a onda contém (Eq. 11). Com esses valores pode-se encontrar a eficiência do conversor (Eq. 16).

e) Variação da escala do modelo:

Novos modelos são gerados a partir da variação do diâmetro e da altura do conversor original, obtendo-se um novo dispositivo. A massa do mesmo pode ser encontrada com o produto entre o novo volume e a massa específica geral do conversor.

f) Eficiência das escalas:

Para cada escala deve-se obter os dados de potência extraída e potência total da onda para que se possa obter a eficiência de conversão.

4. RESULTADOS

Neste tópico serão descritos os resultados obtidos durante esse trabalho.

4.1. Determinação das características principais das ondas

Usando os dados do projeto ERA-INTERIM pôde-se obter as principais características de onda para o local escolhido (na costa do RN), como mostra a Tabela 1.

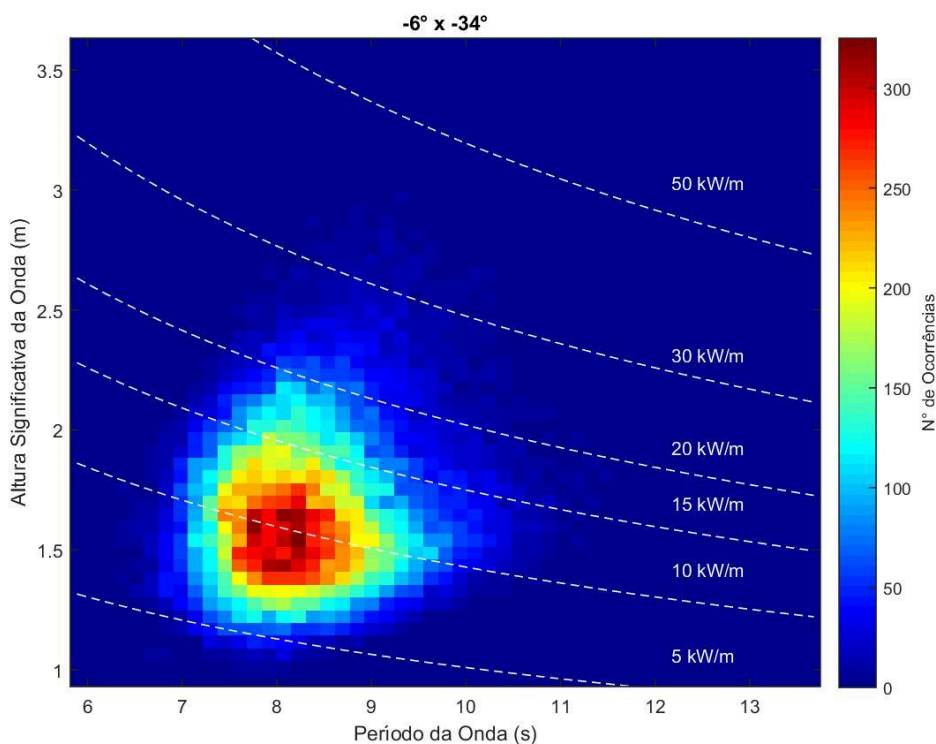
Tabela 1 – Informações adicionais do ponto analisado.

Coordenadas	H	T	λ	ω	E
	(m)	(s)	(m)	(rad/s)	(kN.m)
6° S	1,81	8,08	102,0	0,78	6,591
34° W					

Fonte: ERA-INTERIM.

As Fig. 11 e 12 apresentam algumas outras características das ondas do local. A Fig. 11 mostra a distribuição de frequência de ocorrência dos estados de mar caracterizados por H e T.

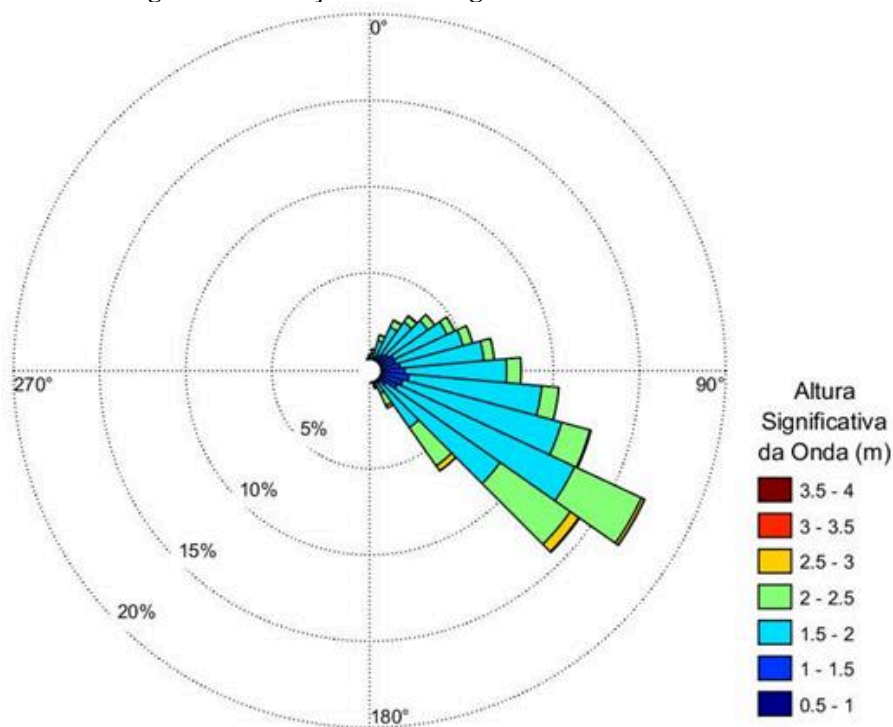
Figura 11 – Mapa de calor de frequência de ocorrência de ondas no local.



Fonte: ERA-INTERIM.

Já a Fig. 12 mostra a distribuição de frequência da direção de incidência da onda e a frequência de ocorrência de altura da onda para cada uma dela.

Figura 12 – Direção e altura significativa de onda no local.



Fonte: ERA-INTERIM.

Com os dados apresentados na Fig. 11 pode-se montar a matriz de frequência de ondas em porcentagem que ocorrem no determinado ponto, como apresentada na Fig. 13.

Figura 13 – Matriz de frequência de onda no local.

3,5 m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 m	-	-	-	-	-	-	0,03	0,10	0,07	0,03	-	-	-	-	-
2,5 m	-	-	-	-	-	0,09	0,62	0,76	0,22	0,04	-	-	-	-	-
2 m	-	-	-	-	0,09	3,49	7,03	3,12	0,58	0,18	0,03	-	-	-	-
1,5 m	-	-	-	-	1,42	17,42	21,02	8,79	1,92	0,36	0,04	-	-	-	-
1 m	-	-	-	-	1,13	11,43	13,96	5,42	0,56	0,03	-	-	-	-	-
0,5 m	-	-	-	-	0,01	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0 m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1 s	2 s	3 s	4 s	5 s	6 s	7 s	8 s	9 s	10 s	11 s	12 s	13 s	14 s	15 s

Dados em valores percentuais (%). Fonte: ERA-INTERIM.

4.2. Determinação das características do conversor a ser analisado

Dos conversores existentes na literatura, o absorvedor pontual se adapta a várias condições impostas, por isso que é um dos poucos que pode ser utilizado nas três categorias com relação a profundidade. Tendo em vista isto, ele foi escolhido para ser o objeto de análise nesse trabalho.

O *Power Buoy* PB40 foi escolhido por estar em fase experimental e seus primeiros produtos terem sido instalados no ano de 2015.

O dispositivo *Power Buoy* escolhido foi o PB40, de massa, altura e diâmetro fornecidos pela descrição do fabricante. A partir das informações encontradas do *Power Buoy* foi estimada a massa adicional que o corpo provoca e o afundamento que o corpo sofre. Esses resultados encontram-se na Tab. 2.

Tabela 2 – Informações do WEC.

Conversor	D (m)	H (m)	m (kg)	m _w (kg)
PB40	7,2	33,8	114.220	64074,24

Fonte: O autor.

4.3. Análise do conversor

A análise é feita seguindo a metodologia, onde pôde-se montar as matrizes de potência e energia do conversor em sua escala original. As matrizes foram montadas para conter a faixa de frequência das ondas do local escolhido.

As Fig. 14 e 15 mostram o resultados das matrizes de potência e energia mecânica, respectivamente, com o fator de amortecimento $\Delta_z = 0,5$ para o conversor na sua escala original.

Figura 14 – Matriz de potência mecânica do conversor original em kW.

3,5 m	0	0	59	156	438	556	551	509	462	419	381	350	322	299	278	260
3 m	0	0	43	113	320	408	405	374	339	308	280	257	237	220	204	191
2,5 m	0	0	30	79	223	284	281	260	236	214	195	178	164	152	142	133
2 m	0	0	19	50	142	181	180	166	151	137	125	114	105	98	91	85
1,5 m	0	0	11	29	80	102	101	93	85	77	70	64	59	55	51	48
1 m	0	0	5	13	36	45	45	42	38	34	31	29	26	24	23	21
0,5 m	0	0	1	3	9	11	11	10	9	9	8	7	7	6	6	5
0 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0 s	1 s	2 s	3 s	4 s	5 s	6 s	7 s	8 s	9 s	10 s	11 s	12 s	13 s	14 s	15 s

Fonte: O autor.

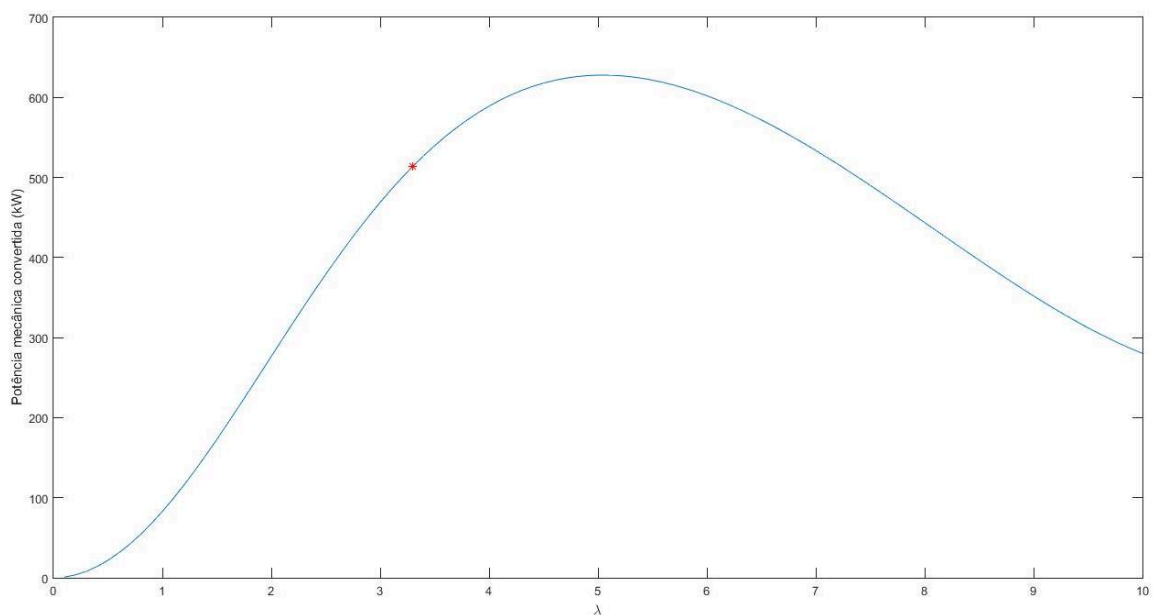
Figura 15 – Matriz de energia mecânica do conversor original em kN.m.

3,5 m	0	0	26	132	557	840	894	867	829	794	766	744	727	713	702	693
3 m	0	0	19	97	409	617	657	637	609	583	563	547	534	524	516	509
2,5 m	0	0	13	67	284	429	456	443	423	405	391	380	371	364	358	353
2 m	0	0	8	43	182	274	292	283	271	259	250	243	237	233	229	226
1,5 m	0	0	5	24	102	154	164	159	152	146	141	137	134	131	129	127
1 m	0	0	2	11	45	69	73	71	68	65	63	61	59	58	57	57
0,5 m	0	0	1	3	11	17	18	18	17	16	16	15	15	15	14	14
0 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0 s	1 s	2 s	3 s	4 s	5 s	6 s	7 s	8 s	9 s	10 s	11 s	12 s	13 s	14 s	15 s

Fonte: O autor.

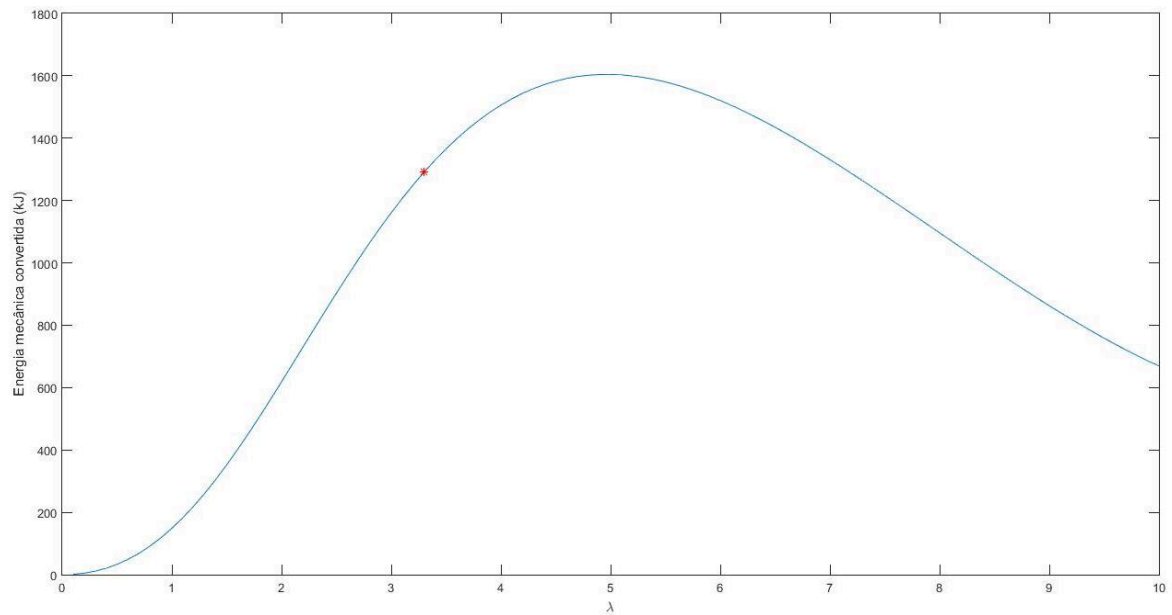
Multiplicando-se a matriz de potência (Fig 14) pela matriz de distribuição de frequência (Fig. 13), e somando-se os resultados obteve-se uma potência de conversão igual a 82,89 kW. Realizando operação semelhante, a energia mecânica convertida foi de 182,73 kN.m. Considerando que a energia da onda que passa pelo WEC foi de 2000 kN.m, a eficiência de conversão do WEC na escala original foi de 7,45%.

Seguindo a metodologia, foi variada a escala do modelo de 10% em 10% para que se pudesse determinar a escala de maior eficiência de conversão. As Figs. 16 e 17 apresentam, respectivamente, a variação da potência mecânica e da energia mecânica convertida desde uma escala de 10% do valor original ($\lambda = 0,1$) até uma escala de 1000% ($\lambda = 10$).

Figura 16 – Potência mecânica em função da escala.

O ponto em destaque é o da escala 3,3, onde foi apresentada a maior eficiência. Fonte: O autor.

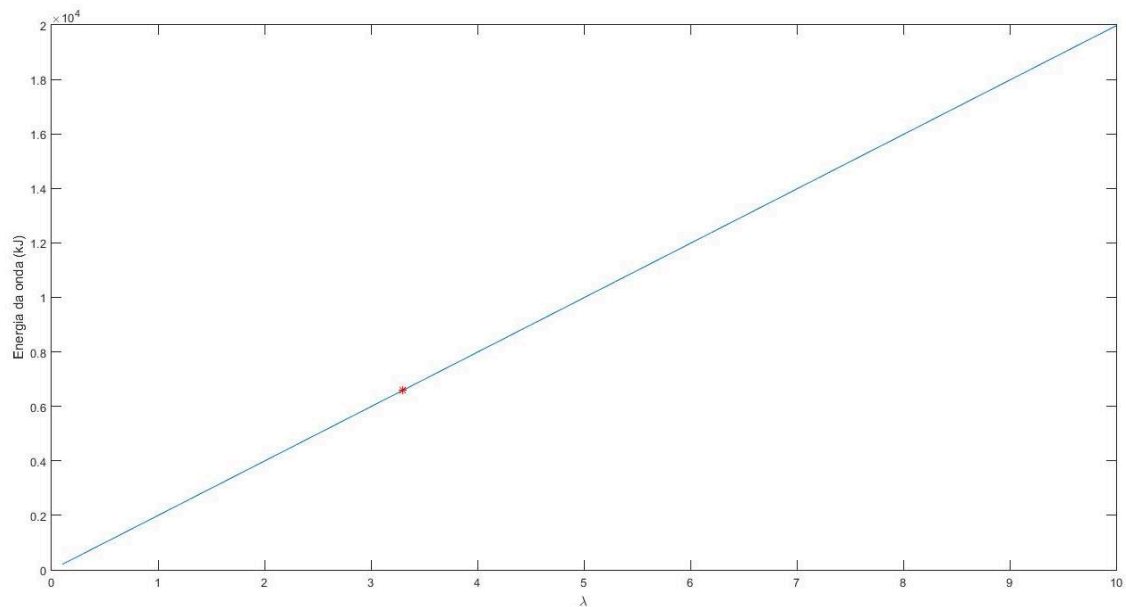
Figura 17 – Energia mecânica convertida em função da escala.



O ponto em destaque é o da escala 3,3, onde foi apresentada a maior eficiência. Fonte: O autor.

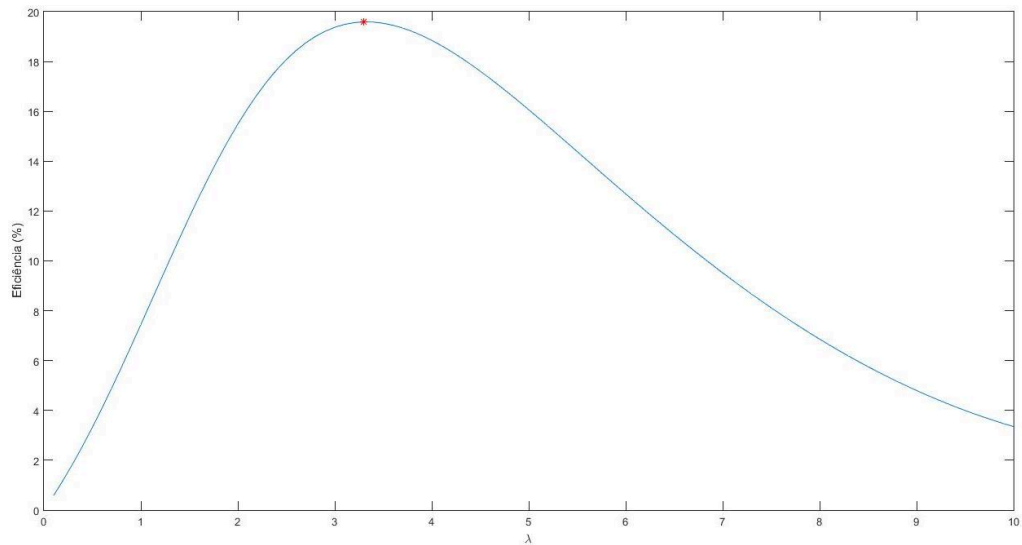
A Fig. 18, por sua vez, apresenta a variação da energia da onda que atinge o WEC em função da variação da escala.

Figura 18 – Energia mecânica total contida na onda em função da escala.



O ponto em destaque é o da escala 3,3, onde foi apresentada a maior eficiência. Fonte: O autor.

Utilizando os dados de energia mecânica convertida e da energia mecânica contida na onda foi calculada a eficiência para as diversas escalas, como mostra a Fig. 19.

Figura 19 – Eficiência em função da escala.

O ponto em destaque é o da escala 3,3, onde foi apresentada a maior eficiência. Fonte: O autor.

A escala que apresentou a maior eficiência foi a 3,3. A Tab. 3 apresenta os dados do modelo nessa escala.

Tabela 3 – Informações do WEC para $\lambda = 3,3$.

Conversor	D (m)	H (m)	M (kg)	m_w (kg)
Escala 3,3	23,76	111,54	4.104.724,14	2.235.568,90

Fonte: O autor.

Para a escala de 3,3, obteve-se uma potência de conversão igual a 513,91 kW. A energia mecânica convertida foi de 1291 kN.m. A energia da onda que passa pelo WEC foi de 6591 kN.m, e a eficiência de conversão do WEC na escala otimizada foi de 19,59%.

As Fig. 20 e 21 mostram o resultado para as matrizes de potência e energia mecânica com um fator de amortecimento de $\Delta_z = 0,5$ para a escala de 3,3.

Figura 20 – Matriz de potência mecânica do conversor na escala 3,3 em kW.

3,5 m	0	0	0	0	25	890	2421	3594	4196	4334	4210	3974	3710	3452	3214	3000
3 m	0	0	0	0	19	654	1779	2641	3083	3184	3093	2920	2726	2536	2361	2204
2,5 m	0	0	0	0	13	454	1235	1834	2141	2211	2148	2028	1893	1761	1640	1530
2 m	0	0	0	0	8	291	791	1174	1370	1415	1375	1298	1211	1127	1049	979
1,5 m	0	0	0	0	5	163	445	660	771	796	773	730	681	634	590	551
1 m	0	0	0	0	2	73	198	293	343	354	344	324	303	282	262	245
0,5 m	0	0	0	0	1	18	49	73	86	88	86	81	76	70	66	61
0 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0s	1s	2s	3s	4s	5s	6s	7s	8s	9s	10s	11s	12s	13s	14s	15s

Fonte: O autor.

Figura 21 – Matriz de energia mecânica do conversor na escala 3,3 em kN.m.

3,5 m	0	0	0	0	23	1182	4333	7961	10618	11837	12035	11737	11266	10773	10317	9916
3 m	0	0	0	0	17	868	3183	5849	7801	8697	8842	8623	8277	7915	7580	7285
2,5 m	0	0	0	0	12	603	2211	4062	5417	6039	6140	5988	5748	5497	5264	5059
2 m	0	0	0	0	8	386	1415	2600	3467	3865	3930	3832	3679	3518	3369	3238
1,5 m	0	0	0	0	4	217	796	1462	1950	2174	2211	2156	2069	1979	1895	1821
1 m	0	0	0	0	2	96	354	650	867	966	982	958	920	879	842	809
0,5 m	0	0	0	0	0	24	88	162	217	242	246	240	230	220	211	202
0 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0 s	1 s	2 s	3 s	4 s	5 s	6 s	7 s	8 s	9 s	10 s	11 s	12 s	13 s	14 s	15 s

Fonte: O autor.

5. CONCLUSÕES

Ao final desse trabalho foi possível montar uma metodologia capaz de encontrar um fator de escala para qualquer absorvedor pontual em qualquer estado de mar, adquirindo assim valores de energia mecânica convertida e eficiência para cada escala.

Essa análise ajuda a afirmar que o litoral brasileiro pode sim ser uma fonte de energia, principalmente pelas ondas, que tem um enorme potencial, se estudos e investimentos forem direcionados as mesmas. Com os resultados apresentados (eficiência de 7,45% para o conversor no seu estado original e 19,59% na escala 3,3) pode-se notar qual o dimensionamento adequado para que os WEC do tipo absorvedor pontual possam atuar nas ondas brasileiras.

Apesar disso, o modelo apresentado na escala 3,3 pode-se tornar menos rentável que o original, devido ao seu grande tamanho e peso, o mesmo pode apresentar dificuldades e gastos em questões de transporte e manutenção.

Contudo o trabalho demonstra-se abrangente, e fatores como a escolha de um outro conversor ou um outro local de onda influenciará nos resultados a fim de que possa ser escolhida outra escala para uma melhor eficiência ou uma melhor rentabilidade com relação a custos e dificuldades. Como foi citado, seguindo essa metodologia pode-se redimensionar qualquer WEC do tipo absorvedor pontual para qualquer estado de mar que apresentem as mais variadas características de onda.

6. REFERÊNCIAS

BP ORGANIZATION. **BP Statistical review of world energy june 2014**. 63. ed. Londres: BP p.l.c., 2014.

BROOKE, John. **Wave energy conversion**. Elsevier, 2003.

CERQUEIRA, W. **Zonas litorâneas do Brasil**. Disponível em: <<http://www.mundoeducacao.com/geografia/zonas-litoraneas-brasil.htm>>. Acesso em: 10 out. 2014.

COPPE/UFRJ. **Balanço do mar se transforma em energia elétrica no litoral do Ceará**. Disponível em: <<http://www.coppenario20.coppe.ufrj.br/?p=805>> . Acesso em: 10 out. 2014.

COSTA, Paulo. **Energia das ondas do mar para geração de eletricidade** [Dissertação]. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2004.

CRUZ, João M.; SARMENTO, António J. **Energia das ondas**, introdução aos aspectos tecnológicos, econômicos e ambientais. Portugal: Instituto do Ambiente, 2004.

DEE. 2011. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 137, n. 656, Part A, pp. 553-597.

DREW, B. et al. **A review of wave energy converter technology**. Reino Unido, 2009.

ECMWF. **ERA-Interim**. Disponível em: <<http://www.ecmwf.int/en/research/climate-reanalysis/era-interim>> . Acesso em: 25 jan. 2015.

GUNN, Kester; STOCK-WILLIAMS, Clym. Quantifying the global wave power resource. **Renewable Energy**, v. 44, p. 296-304, 2012.

LAGOUN, M. S. **Ocean Wave Converters: State of the Art and Current Status**. Barém, 2010.

MCCORMICK, Michael E. **Ocean Wave Energy Conversion**. Nova Iorque: Courier Corporation, 2013. Cap. 4. p. 45-59.

MCCORMICK, J. M.; THIRUVATHUKAL, J. V. **Elements of Oceanography**. 2^a. ed. Orlando: Saunders College Publishing, 1981. 448 p.

OCEAN POWER TECHNOLOGIES, INC. **PB40**. Disponível em: <<http://www.oceanpowertechnologies.com/pb40>>. Acesso em: 24 jan. 2017.

PELAMIS WAVE POWER. **Development History**. Disponível em: <<http://www.pelamiswave.com/development-history>>. Acesso em: 10 out. 2014.

RODRIGUES, L. **Wave power conversion systems for electrical energy production**. Portugal, 2005.

SORENSEN, Bent. **Renewable Energy**, Its physics, engineering, use, environmental impacts, economy and planning aspects. 3. ed. Dinamarca: Energy & Environment Group, 2005.

TESSLER, M.; GOYA, S. **Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro**. Revista do Departamento de Geografia, 2005.

THORPE, T. W (a). **A brief review of wave energy**, Technical report, Energy Technology Support Unit (ETSU), Reino Unido, 1999.

THORPE, T. W (b). **An Overview of Wave Energy Technology: Status, Performance and Costs**, Proceedings of a Conference on Wave Power: Moving towards Commercial Viability, 30 November 1999, Institute of Mechanical Engineers, London.