



AVALIAÇÃO DE UM DISPOSITIVO CONVERSOR DE ENERGIA DE ONDAS DO MAR E O PAPEL DAS PATENTES NOS PROJETOS DE ENGENHARIA

Lucas Begni Fraga d'Egmont

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica, da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção de título de Engenheiro.

Orientadores: Prof. David Alves Castelo Branco e Prof. Eliab Ricarte Beserra.

Rio de Janeiro

Fevereiro de 2017

AVALIAÇÃO DE UM DISPOSITIVO CONVERSOR DE ENERGIA DE ONDAS DO
MAR E O PAPEL DAS PATENTES NOS PROJETOS DE ENGENHARIA

Lucas Begni Fraga d'Egmont

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE
ENGENHARIA MECÂNICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO MECÂNICO

Aprovado por:

Prof. David Alves Castelo Branco, D.Sc.
(Orientador)

Prof. Eliab Ricarte Beserra, D.Sc. (Orientador)

Prof. Daniel Onofre de Almeida Cruz, D.Sc.

Joel Sena Sales Junior, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

FEVEREIRO DE 2017

D'EGMONT, Lucas Begni Fraga.

Avaliação de um dispositivo conversor de energia de ondas do mar e o papel das patentes nos projetos de engenharia / Lucas Begni Fraga d'Egmont - Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2017.

X 76 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: David Alves Castelo Branco

Eliab Ricarte Beserra

Projeto de Graduação - UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Mecânica, 2017

Referências Bibliográficas: p. 73

1. Propriedade Industrial 2. Fontes Renováveis de Energia 3. Energia das Ondas 4. Documento de Patente 5. Testes de Laboratório 6. Modelo em Escala Reduzida 7. Documento de Patente I. David Alves Castelo Branco II. Eliab Ricarte Beserra III. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Mecânica IV. Avaliação de um dispositivo conversor de energia de ondas do mar e o papel das patentes nos projetos de engenharia.

*“Milagres acontecem quando a gente vai
à luta.”*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, Augusto Cezar e Cátia Valéria, e ao meu irmão, Enzo, que sempre me deram apoio, de todas as formas possíveis, para concluir o curso de Engenharia Mecânica. Ao resto da minha família, minhas tias/tios e primos, agradeço por todo o apoio oferecido.

Gostaria, também, de agradecer aos meus amigos, tanto de fora, quanto de dentro da UFRJ, em especial a: Rodrigo Barros, Bruno Pedote, Daniel Agnese, Fernando Dorneles, Lucas Ribeiro, Pedro Maia, Ayla Quintella, José Pedroso, Túlio Menezes, Daniela Spiller, Fabricio Vieira, Pedro Dorea, Diego Rodrigues, Bruno Pedroso, Victor Hugo e Ramon Zanow, que me deram forças para sempre conseguir seguir em frente, mesmo depois de tantos momentos difíceis na Universidade. Quando por muitas vezes pensei em desistir, foram a ponta de esperança que me fez continuar.

Um agradecimento especial aos professores Eliab Ricarte, David Castelo Branco e ao Rodrigo Klim pela oportunidade de participar de um projeto que mudou a minha vida em muitos sentidos, e também pela ajuda oferecida durante a elaboração deste trabalho de conclusão de curso.

Este projeto não teria sido nada se não fosse a ajuda do Joel Sales, um dos responsáveis pelo LOC, que realizou os testes citados no trabalho. Sendo assim, fica aqui registrado, também, um sincero obrigado. Obrigado, também, ao professor Daniel Onofre que aceitou fazer parte da banca.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

Avaliação de um dispositivo conversor de energia de ondas do mar e o papel das patentes nos projetos de engenharia

Lucas Begni Fraga d'Egmont

Fevereiro de 2017

Orientadores: David Alves Castelo Branco e Eliab Ricarte Beserra

Curso: Engenharia Mecânica

Uma máquina conversora de energia de ondas do mar do tipo ponto absorvedor envolve, em muitas das vezes, uma hidrodinâmica complexa. Isto incentiva o uso de testes de laboratório com modelos em escala reduzida para o desenvolvimento da máquina final, já que podem ser feitas simulações que permitem prever determinados comportamentos. Com a configuração do dispositivo definida, a patente é um próximo passo a ser considerado no projeto. O desenvolvimento de uma patente para um projeto de engenharia é uma tarefa que envolve áreas do saber jurídico e, por esta razão, pode ser considerada multidisciplinar. Assim, o trabalho foi idealizado com o intuito de trazer para a realidade do engenheiro um conhecimento mais amplo no campo da propriedade industrial, com foco nos testes de laboratório realizados em modelos de escala 1:40.

Palavras-chave: Propriedade Industrial, Fontes Renováveis de Energia, Energia das Ondas, Testes de Laboratório, Modelo em Escala Reduzida, Documento de Patente.

Abstract of Undergraduate Project presented to Poli/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Mechanical Engineering.

Evaluation of a wave's energy conversion machine and the role of patents in engineering projects

Lucas Begni Fraga d'Egmont

February of 2017

Advisors: David Alves Castelo Branco and Eliab Ricarte Beserra

Course: Mechanical Engineer

A sea wave's energy conversion machine of point absorber type often involves a complex hydrodynamic. Thus, laboratory tests with scaled-down models for the development of the final machine are a good solution, since some simulations can predict certain behaviors. Once there is a well-defined device configuration, a patent is an important next step in the project. The development of a patent for an engineering project is a task that involves areas of legal knowledge and, for that reason, it is possible to consider it multidisciplinary. Hence, the work intends to bring to the engineer's reality a broader knowledge in the field of industrial property, focusing on the laboratory tests performed in 1:40 scale models.

Keywords: Industrial Property, Renewable Energy Sources, Wave Energy, Laboratory Tests, Small-Scale Model, Patents.

Sumário

ROL DE ABREVIATURAS E SIGLAS	10
ROL DE CATEGORIAS	11
INTRODUÇÃO	12
CAPÍTULO 2	16
ENERGIA DAS ONDAS	16
2.1 MÁQUINAS DE WEC	16
2.1.1 <i>Histórico de Tecnologias</i>	18
2.1.2 <i>Potencial de energia das ondas</i>	27
2.2 MODELO DO PPE	29
CAPÍTULO 3	35
TESTES EM LABORATÓRIO PARA O MODELO PROPOSTO.....	35
3.1 METODOLOGIA	35
3.1.1 <i>Teoria da Semelhança</i>	37
3.1.2 <i>Números de Reynolds e de Froude</i>	38
3.2 ESTUDO DE CASO.....	40
3.2.1 <i>O Modelo de Teste</i>	41
3.2.2 <i>Montagem do Experimento</i>	44
3.2.3 <i>Resultados Obtidos</i>	48
3.2.4 <i>Simulação em Escala Real</i>	54
3.3 TRABALHOS FUTUROS	56
CAPÍTULO 4	58
PROPOSIÇÃO DE UM DOCUMENTO DE PATENTE	58
4.1 O DOCUMENTO DE PATENTE.....	60
4.1.1 <i>Relatório descritivo</i>	62
4.1.2 <i>Reivindicações</i>	67
4.1.3 <i>Desenhos</i>	69
4.1.4 <i>Resumo</i>	69

CAPÍTULO 5	71
CONCLUSÕES	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
ANEXO A.....	76
MONTAGEM GERAL.....	76

Rol de Abreviaturas e Siglas

USD – Dólar Americano

IEA – Agência Internacional de Energia

kW – Kilowatt

TWh – Terawatt-hora

WEC – Wave Energy Conversion

OWC – Oscillating Water Column, Coluna Oscilante de Água

OBS – Oscillating Bodies System, Sistema de Corpos Oscilantes

POL – Power Level Output

PTO – Power-take-off

P & D – Pesquisa e Desenvolvimento

PPE – Programa de Planejamento Energético/COPPE/UFRJ

INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial

INPH – Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

WIPO – World Intellectual Property Organization

Rol de Categorias

Propriedade: Direito que permite a um titular usar, gozar e dispor de certos bens, desde que o faça de modo a realizar dignidade de pessoa humana [1].

Direito da Propriedade: Direito que um indivíduo possui sobre um bem intangível ou tangível.

Propriedade Intelectual: É a propriedade dos bens intangíveis, dos que não existem fisicamente, que não são visíveis ou palpáveis, dos que se baseiam no conhecimento [2].

Propriedade Industrial: Provém da Propriedade Intelectual, que se refere aos bens intangíveis aplicáveis nas indústrias. Trata de assuntos referentes às invenções; aos desenhos industriais; às Marcas de produto ou de serviço, de certificação e coletivas; à repressão às falsas indicações geográficas e demais indicações; e à repressão à concorrência desleal [3].

Novidade: Quando o objeto de criação não tiver sido conhecido pelo público, em qualquer parte do mundo, por qualquer forma de divulgação, antes do depósito de pedido de Patente, salvaguardando o período da graça [2].

Invento: Resultado final de uma criação materializada e caracterizada, consequência das regras estabelecidas numa invenção.

Capítulo 1

Introdução

Os projetos de engenharia constituem tudo aquilo, dentro do saber físico, matemático ou químico, que se deseja criar ou modificar no intuito de solucionar determinado problema. Dentro destes projetos, em geral, podem existir muitas fases entre o anteprojeto, considerado o início, e a execução, considerada o fim.

Uma destas fases, no caso de alguns projetos que levam em conta inovações, é a fase de testes em laboratório, onde pretende-se verificar cálculos, ou até mesmo teorias, antes de expor os resultados. Assim, pode-se pensar nestes testes como sendo uma maneira de proteção, já que é levado em conta um ambiente controlado que tenta aproximar ao máximo o modelo testado da realidade.

Além disso, podem ser úteis no que tange o campo das patentes, já que determinam, em muitos dos casos, a necessidade ou não de certos elementos do projeto. Ou seja, quanto ao design de uma máquina, por exemplo, podem conferir a um determinado componente sua importância em ser patenteado.

Uma patente pode ser definida como um direito exclusivo em relação a um invento, podendo ser um produto ou um processo, que proporciona um novo modo de fazer algo, ou oferece uma nova solução técnica a um problema [2].

A denominada Convenção de Paris – oficialmente reconhecida como União de Paris para a Proteção da Propriedade Intelectual – realizada em 1883, propôs aos países

membros, incluindo o Brasil, a criação de uma legislação interna que protegesse a propriedade intelectual. Contudo, como não havia nenhuma forma de imposição, sua proteção se mostrou insuficiente. Então, durante a Rodada Uruguaia de Negociações Comerciais Multilaterais do GATT - Acordo Geral de Tarifas e Comércio, criado em 1948 para regular a atividade e cooperação econômica internacional - surge o TRIPs, Acordo sobre a Proteção da Propriedade Intelectual. Este acordo utiliza, como ponto de partida, ideias e princípios desenvolvidos durante a Convenção de Paris, tornando, entretanto, obrigatório que os países signatários protegessem a propriedade intelectual em sua legislação interna. Tal acordo determinou parâmetros mínimos para esta proteção, como: matéria patenteável, que define como patenteável toda invenção, produto ou processo tecnológico que seja novo, possua um passo inventivo e tenha aplicação industrial, respeitando-se a ordem pública e a moralidade; direitos conferidos pela patente, que confere o direito de impedir que produtos patenteados ou obtidos através de um processo patentado sejam produzidos, usados, vendidos ou importados por terceiros sem autorização; e condições para requerer patentes, que determina que os membros signatários devam exigir que a requerente da patente divulgue a invenção de maneira clara e completa, de modo que seja possível ao técnico reproduzi-la. O principal objetivo do TRIPs encontra-se expresso em seu artigo 7º, o qual determina que a proteção da propriedade intelectual visa promover a inovação tecnológica, beneficiando produtores e usuários de conhecimento tecnológico, de forma conducente ao bem-estar social e econômico [4].

Com o avanço da globalização, a cópia e falsificação de produtos e ideias por países em desenvolvimento, principalmente, cresceu bastante. Sendo assim, as patentes tiveram que se fortalecer, tendo seu alcance ampliado, no intuito de proteger os interesses de grandes grupos internacionais, e países desenvolvidos, detentores de tecnologias inovadoras. Os EUA, por exemplo, consideram vital a ampliação dos direitos de propriedade intelectual em escala mundial, uma vez que garante incentivos à inovação e serve de barreira defensiva contra imitação no exterior de tecnologias desenvolvidas nacionalmente em seus mercados.

Estes mesmos países, que lideram o processo tecnológico, desejam sistemas de propriedade intelectual fortes em nível internacional para compensar as deficiências nos regimes de apropriação dos países que estão aumentando a sua capacitação tecnológica, e para compensar, também, a taxa de difusão acelerada de novas tecnologias, o que reduz

o seu tempo de vida [5]. Para solucionar estes problemas, inicia-se, portanto, uma fase de pressões internacionais para que o sistema de patentes seja reconhecido e aceito de forma global [6].

Vale ressaltar que, no âmbito do desenvolvimento socioeconômico de uma nação, as patentes são de suma importância, uma vez que o reconhecimento do poderio econômico de uma propriedade intelectual incentiva o início e/ou continuidade de pesquisas científicas, que, por sua vez, são essenciais para o progresso tecnológico. Isto pode ser exemplificado, historicamente, pelas grandes mentes da União Soviética que, entre as décadas de 80 e 90, se juntaram ao mundo capitalista pelo simples fato de proporcionar, principalmente, maior reconhecimento para soluções trazidas do exercício criativo. Como afirma um dos maiores juristas no campo de propriedade intelectual do Brasil, João Gama Cerqueira, “a experiência tem demonstrado, de modo cabal, em todos os países, que, em vez de construir entrave ao progresso industrial, o sistema dos privilégios só tem concorrido para o desenvolvimento constante das indústrias e para o aperfeiçoamento incessante da técnica” [7].

No Brasil, é de conhecimento público a Lei 9.279/96 da Propriedade Industrial (LPI). Esta assegura ao inventor, em seu artigo 6º, a patente sobre o invento, garantindo-lhe a propriedade. Para que um invento seja patenteável a lei impõe três requisitos obrigatórios, que estão listados no artigo 8º: novidade, atividade inventiva e aplicação industrial. Mas ela também enumera inovações que não são patenteáveis em seu artigo 18 tais como as contrárias à moral, à ordem pública, à segurança e à saúde pública, e aquelas originadas de substâncias e processos resultantes de modificação do núcleo atômico de seres vivos naturais, no todo ou em parte, além dos materiais biológicos encontrados na natureza. A lei também determina que a patente seja concedida ao inventor, seus herdeiros ou sucessores ou terceiros que a lei ou contrato especifique como titular do direito. O direito é reconhecido para um sujeito de direito individual, excluindo sujeitos de direitos coletivos. É necessário fazer uma distinção entre inventor e descobridor [4].

A lei também define o órgão responsável pela gestão do sistema de patentes, o INPI, que tem como finalidade executar as normas que regulam a propriedade industrial no Brasil, de acordo com sua função social, econômica, jurídica e técnica. O artigo 33 da Lei 9.279/96 estabelece que o exame de um pedido de patente deverá ser requerido pelo

depositante ou por qualquer interessado no prazo de 36 meses contados da data de depósito. De acordo com o INPI, o *backlog* seria o termo utilizado para designar o tempo decorrido entre o pedido de exame de um pedido de patente, que ocorreria, em média, dois anos e meio após o depósito, e a primeira ação substantiva de exame [8].

Apresentados alguns fatos sobre testes de laboratório e patentes, o presente trabalho tem como intuito o estudo da aplicação de testes à um modelo em escala reduzida de uma máquina conversora de energia de ondas do mar para verificar a necessidade ou não da aplicação de um determinado elemento estrutural para criação de uma patente. Serão apontados os estudos realizados para a criação do aparato, alguns modelos existentes e o formato e os cuidados necessários ao se gerar um documento de patente adequado para apresentação ao INPI.

Capítulo 2

Energia das Ondas

O assunto *Geração de Energia* sempre foi, e ainda é, tema de muitos estudos ao redor do planeta, já que a demanda por energia acompanha o crescimento da taxa de natalidade e dos avanços tecnológicos da sociedade [9]. A partir da década de 70, com o significativo aumento do preço da gasolina durante a Crise do Petróleo, muitas empresas e centros de pesquisa começaram a investir em meios alternativos de geração de energia, de modo a tentar abandonar, ainda que discretamente, a forte dependência por combustíveis fósseis. Na década de 80, mesmo com o preço do barril de petróleo caindo, a vontade de criar novas tecnologias para extração energética não diminuiu, e na década de 90, então, ganhou ainda mais força quando estudos relacionados a alterações climáticas e meio ambiente, em escala global, concluíram que as emissões de gases poluentes deveriam diminuir o mais rápido possível. A partir disto, o termo *Fonte Renovável de Energia* tomou conta do mercado verde e inspirou a criação de inúmeras patentes relacionadas a obtenção, acúmulo e distribuição de energia.

2.1 Máquinas de WEC

Uma fonte renovável descreve aquelas fontes de energia que são disponibilizadas na natureza de forma cíclica, e seu percentual na matriz elétrica mundial é de 21%, sendo 16% de origem hidrelétrica, e mais 5% abrangendo fontes de energia ainda consideradas

alternativas, tais como energia solar fotovoltaica, eólica, de marés e geotérmica. Possui vantagens nos âmbitos político, social e econômico de qualquer país que tenha condições de implementá-la. Há uma diminuição na vulnerabilidade da economia de um país não-produtor de petróleo, por exemplo, e uma redução da competitividade em empresas do mesmo setor em países produtores. Além disso, áreas remotas não alimentadas por redes centrais de eletricidade podem se beneficiar da exploração de fontes de energia alternativas, como a solar, eólica e das ondas. Vale ressaltar, também, que os países produtores de petróleo, que são uma minoria, exercem determinada influência política sobre aqueles que compram o combustível, ou seja, uma diversificação na oferta de energia – e uma possível autossuficiência energética – poderia ajudar a acabar com esta pressão política e melhorar a questão de segurança a nível mundial [10].

Algumas fontes renováveis são: eólica, solar, nuclear, oceânica e biomassa. Neste trabalho, o foco é voltado especificamente para uma delas: a dos oceanos. A energia das ondas, também chamada de energia azul, constitui uma fonte energética substancialmente inexplorada para obtenção de energia.

A extração de energia das ondas do mar através de centrais elétricas de ondas é o método que possui maior potencial em comparação com outros, como os baseados nas diferenças de maré, diferenças de temperatura ou pressão osmótica. As ondas contêm de 15 a 20 vezes mais energia por metro quadrado que o vento e sol e, de acordo com a IEA (International Energy Agency), a energia total teórica disponível das ondas está entre 8.000 e 80.000 TWh/ano [11], quando o consumo global, registrado em 2015, foi de 160.000 TWh [12]. Utilizando uma pequena parte da energia das ondas potencialmente disponível, a mudança da produção atual de energia, baseada em combustíveis fósseis, para uma produção de energia elétrica renovável baseada na energia das ondas passaria a ser possível.

Os problemas que devem ser levados em conta na concepção de uma estação de energia de onda incluem desgaste ou danos que podem ocorrer devido à água corrente e o ambiente corrosivo, ou até mesmo devido a colisão com navios e embarcações. Mesmo que as consequências ambientais de uma estação de energia de onda sejam consideradas pequenas, devem ser igualmente apontados possíveis efeitos negativos nos ecossistemas marinhos. Além disto, o alto custo de investimento também é uma preocupação: um

estudo recente, realizado na Inglaterra, indica que, atualmente, a implementação de um sítio de energia de onda *offshore* de 10MW custa em torno de 67.000.000 USD [13].

2.1.1 HISTÓRICO DE TECNOLOGIAS

A nova fase ecologicamente correta dos anos 90 coincide com um aumento global no número de pedidos de patentes, principalmente para métodos alternativos de coleta de energia, onde cada método está diretamente relacionado com a geografia, o investimento e o apoio do país onde foi dada a entrada [10]. Nestas patentes estão incluídas muitas criações relacionadas a WEC (Wave Energy Converter) e inúmeras formas de se obter energia elétrica a partir da energia disponibilizada pelas ondas dos oceanos, tais como: OWC (Oscillating Water Column), OBS (Oscillating Bodies System) e Overtopping. Sabe-se que, até meados de 1980, mais de 1000 (mil) patentes de WEC foram registradas [14].

A primeira patente de WEC registrada, de que se tem conhecimento, foi em 1799 pela família Girard, na França – curiosamente, período em que o registro de patentes ainda era algo muito superficial. Entretanto, é reconhecido como “pai” das tecnologias modernas de energia de onda o cientista japonês Yoshio Masuda (1925-2009). Desde os anos 40, o inventor já estudava a possibilidade de converter a energia potencial das ondas em energia elétrica e, em 1965, começaram a ser comercializadas no Japão as primeiras boias de navegação cuja energia elétrica do sinalizador (geralmente, uma luz vermelha no topo da boia) era gerada pela energia das ondas por meio de uma turbina padrão de ar, representadas na Figura 2.1. O dispositivo funcionava de maneira que a coluna d’água dentro de um tubo interno à boia, que variava de acordo com a energia potencial da onda, provocasse uma oscilação na coluna de ar acima dela, abrindo e fechando um sistema de válvulas que permitia a entrada de ar comprimido na turbina. Esta turbina, conectada a um gerador, mantinha constantemente acesa a lâmpada de topo. Posteriormente, tal sistema foi denominado OWC. Em 1976, com o alastramento da crise do Petróleo, o mesmo inventor colocou em prática a construção de uma balsa, chamada pelo próprio de Kaimei, de 80m x 12m formada por uma grande quantidade de OWCs para gerar energia elétrica. Todavia, devido a limitações no cenário tecnológico da época, os POLs (Power Level Output) alcançados foram insatisfatórios e a nova tecnologia posposta – vale

ressaltar que, no âmbito político, outros países ainda eram cautelosos com relação ao Japão no período pós Segunda Guerra Mundial, o que tornava ainda mais difícil o investimento externo em tecnologias japonesas. Isto foi apenas a abertura de um novo caminho para outros pensadores [14].

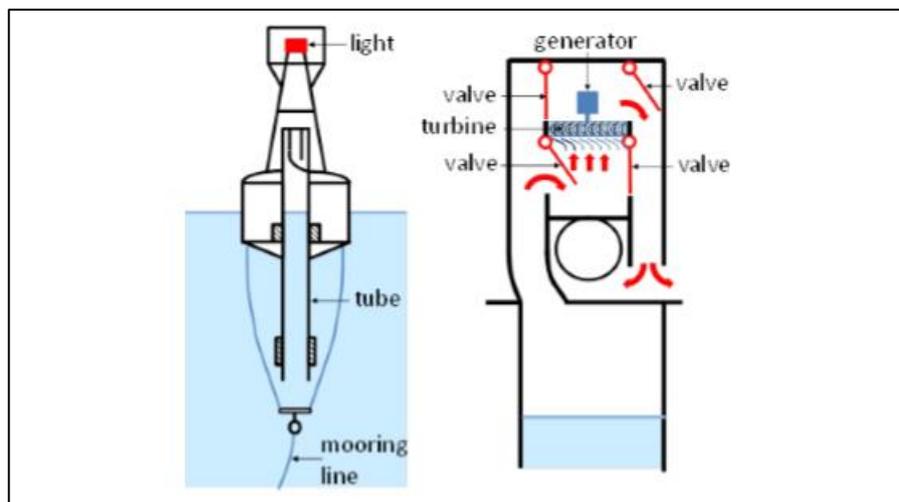


Figura 2.1: Boia de navegação com tecnologia OWC, criada por Yoshio Masuda [15].

A absorção de energia das ondas é um processo hidrodinâmico de considerável dificuldade teórica, em que ocorrem fenômenos de difração e de radiação de ondas relativamente complexos. Isto explica por que uma grande parte do trabalho sobre a energia das ondas publicado na segunda metade dos anos 70 e início dos anos 80 foi sobre a hidrodinâmica teórica, na qual muitos matemáticos aplicados assumiram papéis principais, com especial relevância para Johannes Falnes, na Noruega, e David V. Evans, no Reino Unido. No desenvolvimento e concepção de um conversor de energia das ondas, a absorção de energia pode ser estudada teoricamente/numericamente, ou testada a partir de um modelo físico em um tanque de ondas ou em um canal de ondas. As técnicas a serem aplicadas não são muito diferentes daquelas da hidrodinâmica de navios nos oceanos. A modelagem numérica deve ser aplicada nos estágios do projeto da planta, isto é, na maioria dos casos, baseado na teoria linear das ondas, cujas principais limitações são o fato de não ser capaz de explicar as perdas na água devido a efeitos de fluidos reais,

como os visco-turbulentos, e não ser capaz de modelar com precisão as amplitudes de oscilação da água (ondas não-lineares). Tais efeitos são de suma importância e também ocorrem na engenharia naval e em estruturas offshore, onde correções, mais ou menos empíricas, são atualmente aplicadas. Por estas razões, testes de modelo, geralmente em escalas 1:40 a 1:10, são realizados em tanques de ondas quando a geometria final da planta já está bem estabelecida. Stephen Salter, na Figura 2.2, é amplamente conhecido como o pioneiro no teste de modelos de conversores de energia de ondas [14].

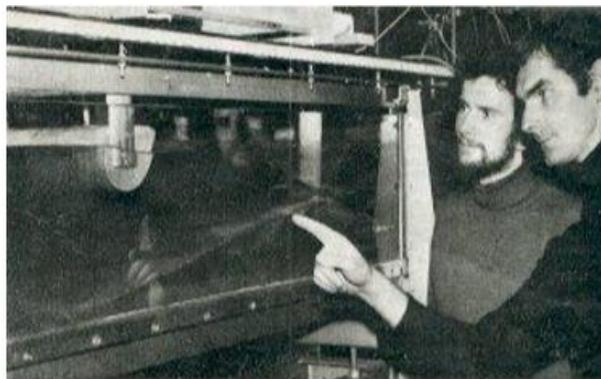


Figura 2.2: Stephen Salter, à direita, em 1974 na Universidade de Edimburgo [14].

A utilização da energia das ondas envolve uma cadeia de processos de conversão de energia, cada um dos quais é caracterizado pela sua eficiência, bem como as restrições que introduz, e deve ser controlado. Particularmente relevante é o processo hidrodinâmico de absorção de energia das ondas. Os primeiros estudos teóricos sobre os conversores de corpo oscilante e OWC revelaram que, se o dispositivo é um absorvedor eficiente, sua própria frequência de oscilação deve coincidir com a frequência das ondas de entrada, isto é, deve operar em condições de quase ressonância. A ignorância desta regra por parte dos inventores que consideraram tais sistemas como quase estáticos – isto é, simplesmente seguem o movimento da superfície da onda – ao invés de dinâmicos, está por trás de grande parte dos fracassos dos primeiros protótipos. Na prática, a correspondência de frequências encontra-se com sérias dificuldades: primeiramente, na maioria dos casos, sua própria frequência de oscilação é muito alta quando comparada com frequências típicas de ondas oceânicas, a não ser que o corpo, ou OWC, seja

consideravelmente grande, isto é, maior do que 10 (dez) metros; depois, as ondas reais não são de frequência única. Assim, a atuação no sistema PTO para alcançar a ressonância foi denominada controle de fase. Várias estratégias de controle de fase foram propostas, inclusive para dispositivos em ondas irregulares reais. Um método de controle que evita a inversão do fluxo de energia foi proposto por Budal e Falnes, e consiste em bloquear o dispositivo em uma posição fixa durante certos intervalos do ciclo de onda, de modo a se obter um controle ótico aproximado da fase. Além dos pioneiros Falnes e Budal, o controle de fase, incluindo a trava, foi objeto de estudos teóricos de outros pesquisadores, nomeadamente Naito e Nakamura, que estabeleceram a relação entre a causalidade e o controle ótimo dos conversores de energia das ondas. Entretanto, o controle de fase ideal em ondas aleatórias reais e sua implementação prática em conversores de energia de ondas permanecem um problema aberto.

Como citado anteriormente, existem 3 (três) principais tipos de WEC atualmente. A Figura 2.3 mostra quais são eles e suas variações dentro de cada categoria. O foco do trabalho, no entanto, é voltado para um destes: o OBS flutuante. O OBS flutuante mais simples que existe é do tipo translacional, ou *heave*, e consiste em uma boia de elevação que reage contra um quadro fixo de referência, como o fundo do mar ou uma estrutura inferior fixa. Na maioria dos casos, tais sistemas são concebidos como ponto absorvedores, isto é, as suas dimensões horizontais são muito menores do que o comprimento de onda.

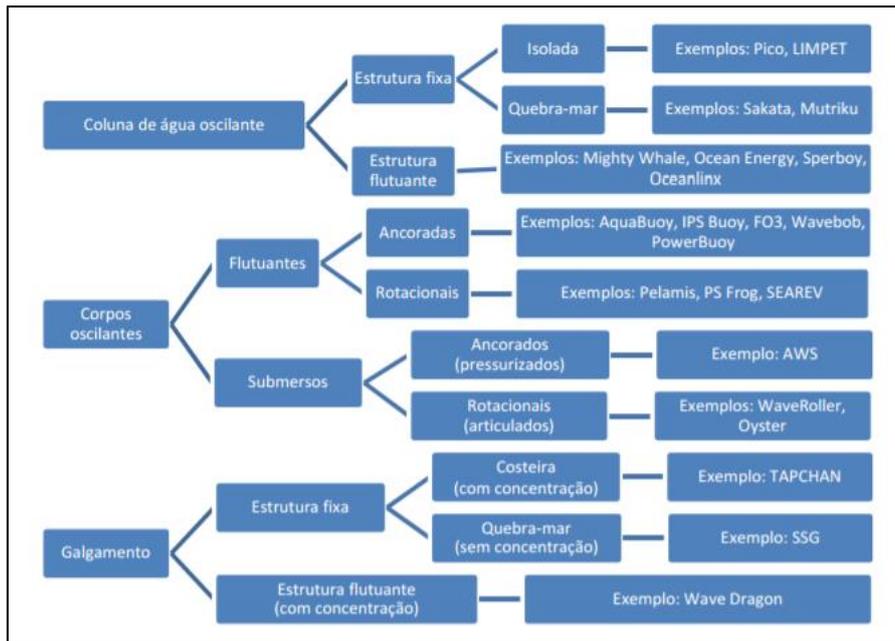


Figura 2.3: Principais tipos de tecnologias WEC e suas variações [16].

Uma primeira tentativa foi um dispositivo chamado G-1T, consistindo de uma boia em forma de casca esférica em uma plataforma retangular, com $1,8\text{ m} \times 1,21\text{ m}$ a nível da linha de água e $1,2\text{ m}$ de calado¹, cujo movimento vertical foi guiado por uma estrutura de aço fixada a um quebra-mar. O PTO usado é um exemplo precoce de um cilindro hidráulico em um circuito que inclui um motor hidráulico e um acumulador de gás. Outro exemplo é a boia norueguesa, mostrado na Figura 2.4. Tal aparato consiste de um flutuador esférico que poderia executar as oscilações de sustentação relativas a um suporte, conectado a uma âncora no fundo do mar, por meio de uma junta universal. A boia podia ser controlada, por fase, por até 17 trancas e estava equipada com uma turbina de ar. Um modelo, com diâmetro de boia de 1 (um) metro , no qual a turbina de ar foi simulada por um orifício, foi testado, com controle de trava, no Trondheim Fjord, em 1983 [14].

¹ Calado é a profundidade na qual se encontra o ponto mais baixo da quilha de uma embarcação em relação à linha d'água.



Figura 2.4: Boia norueguesa no Trondheim Fjord, em 1983 [14].

Uma concepção alternativa é uma boia ligada a uma estrutura inferior fixa por um cabo que é mantido apertado por uma mola, ou dispositivo similar. O movimento relativo entre o flutuador acionado por ondas na superfície do mar e a estrutura do fundo do mar ativa um sistema PTO. Em um dispositivo alternativo, mas que levava em conta o mesmo conceito, testado na Dinamarca no início dos anos 90, o PTO, alojado em uma estrutura fixa inferior, consistia em uma bomba de pistão que fornecia água em alta pressão para uma turbina hidráulica.

Um outro dispositivo com este conceito de boia amarrada, mostrado na Figura 2.5, foi desenvolvido na Universidade de Uppsala, na Suécia, e usa um gerador elétrico linear, em vez de uma bomba de pistão, colocado no fundo do mar. Uma linha, a partir do topo do gerador, é conectada a uma boia localizada na superfície do oceano, agindo como PTO. As molas ligadas ao transator do gerador armazenam energia durante um ciclo de meia onda e atuam simultaneamente como uma força de restabelecimento nos vales das ondas [14].

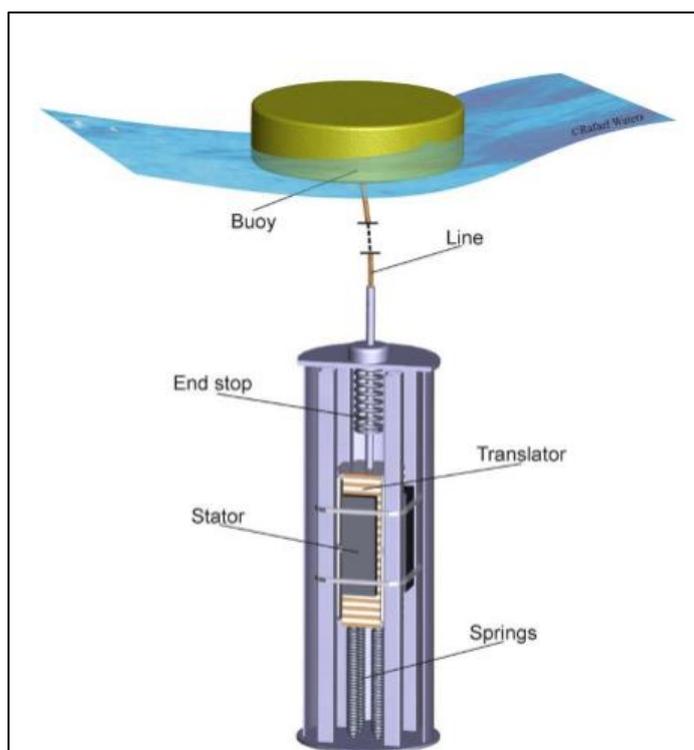


Figura 2.5: Boia desenvolvida na Suécia com gerador elétrico linear [14].

Saindo um pouco da linha de OBS Flutuante do tipo translacional, existem, também, aparatos que se baseiam na rotação relativa para converter a energia das ondas. Estes se enquadram na categoria de OBS Flutuante do tipo rotacional, ou “pitching”. Aquele criado por Stephen H. Salter, da Universidade de Edimburgo, conhecido como Duck de cabeça inclinada, provavelmente é considerado o melhor dispositivo offshore entre os que apareceram na década de 1970 e início de 1980, e a partir do qual inúmeras versões foram desenvolvidas. Basicamente, é um flutuador em forma de came que oscila em passo. As primeiras versões consistiam em uma sequência de Ducks montados em uma extensa espinha, alinhada com a direção da crista de onda (Fig. 2.6), com um sistema PTO hidráulico-elétrico. Salter propôs, posteriormente, o Duck solo, onde o quadro de referência contra o qual o Duck de cabeça inclinada reagia era fornecido por um giroscópio, como mostra a Figura 2.7. Embora o conceito de Duck tenha sido objeto de extensos esforços de P & D, incluindo testes de modelo em várias escalas, nunca chegou ao estágio de protótipo de larga escala em mares reais.

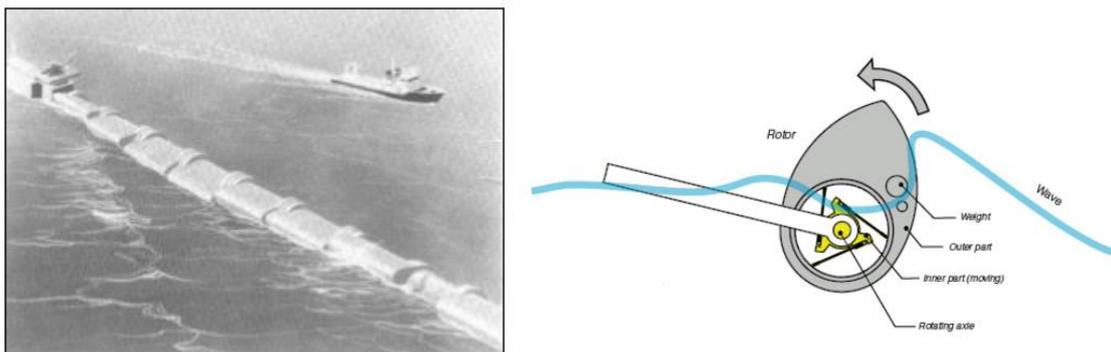


Figura 2.6: À esquerda, uma foto da espinha de Ducks em funcionamento no final dos anos 70. À direita, o princípio de funcionamento do Duck [14].

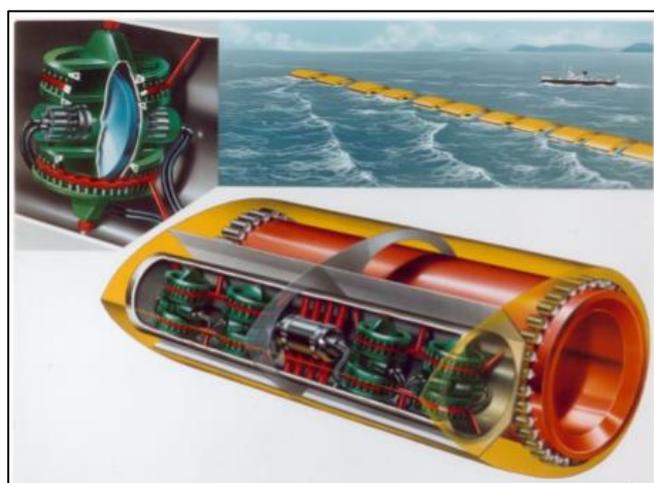


Figura 2.7: Versão de 1979 do Duck equipado com giroscópio [14].

Como citado anteriormente e mostrado na Figura 2.3, existe ainda um terceiro tipo de WEC, denominado Overtopping. Uma forma diferente de converter a energia das ondas é por meio de transformar sua energia cinética em potencial. O processo consiste em encaminhar a água que está perto da crista da onda para um reservatório, onde é armazenada a um nível mais elevado que o nível médio da superfície livre do mar. A energia potencial da água é convertida em energia útil através de turbinas hidráulicas convencionais. Entretanto, a hidrodinâmica dos dispositivos Overtopping é fortemente não-linear e, ao contrário dos casos de OBS e OWC, não pode ser abordada pela teoria linear das ondas.

Um exemplo deste tipo de WEC é o Tapchan, um dispositivo desenvolvido na Noruega nos anos 80. Um protótipo com potência nominal de 350 kW foi construído em 1985 em Toftestallen e operado por vários anos. Tal aparato compreende um coletor, um conversor, um reservatório de água e uma turbina de baixa pressão. O coletor em forma de chifre serve para concentrar as ondas antes de entrarem no conversor. As ondas entram na extremidade larga do canal e, à medida que se propagam pelo canal de estreitamento, a altura da onda é ampliada até que as cristas de onda se espalhem sobre as paredes e preencham o reservatório. Como resultado, a energia cinética é gradualmente transformada em energia potencial no reservatório e, desta forma, a turbina de fluxo axial, geralmente tipo Kaplan convencional, é alimentada.

Em outros conversores Overtopping, as ondas incidentes sobrepõem uma parede inclinada ou rampa e enchem um reservatório onde a água é armazenada a um nível mais alto que o mar circundante, como mostra a Figura 2.8. É o caso do Wave Dragon, um conversor offshore desenvolvido na Dinamarca, cuja estrutura de flutuação amarrada é constituída por dois refletores de onda que focam as ondas de entrada para uma rampa duplamente curvada, um reservatório e um conjunto de turbinas hidráulicas de baixa pressão [14].

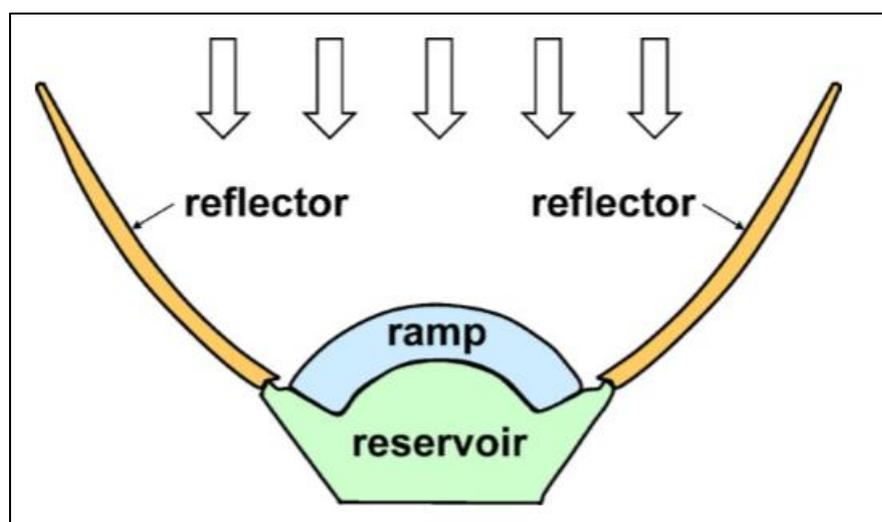


Figura 2.8: O princípio de funcionamento de alguns dispositivos Overtopping [14].

2.1.2 POTENCIAL DE ENERGIA DAS ONDAS

A energia proveniente das ondas é um assunto de alta complexidade no campo matemático, já que a hidrodinâmica envolvida considera inúmeros fatores que variam bastante de acordo com sítios escolhidos, épocas do ano e até mesmo fenômenos naturais imprevisíveis.

Entretanto, é imprescindível o cálculo da quantidade de energia e da potência gerada por qualquer dispositivo implementado no oceano, de modo que seja feita a análise da viabilidade econômica do projeto. Assim, por meio da literatura, é possível calcular a quantidade de energia por metro quadrado presente nas ondas por meio da fórmula [17]:

$$E = \frac{\rho g H_s^2}{16} = \rho g \int_0^{\infty} S(f) df$$

Onde:

- $\rho = 1030 \text{ kg/m}^3$
- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- $H_s =$ altura significativa de onda em metros (para uma onda senoidal, por exemplo, $H_s = H\sqrt{2}$, onde H é a altura real da onda)
- $S(f) =$ espectro de onda, em m^2/Hz , que descreve quantitativamente como as diferentes frequências de onda contribuem pra energia do mar em questão.

Para análise em dispositivos WEC, utiliza-se o espectro semi-empírico de Pierson-Moskowitz (PM) [17]:

$$S(f) = \left(\frac{A}{f^5}\right) e^{-\left(\frac{B}{f^4}\right)}$$

Onde:

- f = frequência em Hz
- $A = BH_s/4$
- $B = 1.25f_p^4$, onde $f_p = 1/T_p$ é a frequência de pico e T_p é o período de pico

Entretanto, a energia das ondas é, com maior frequência, representada com unidade de energia por metro linear de frente de onda e, com algumas simplificações, pode ser expressa por [16]:

$$E = \frac{\rho g H_s^2 \lambda}{8}$$

Onde:

- λ = comprimento de onda = $gT^2/2\pi$

Assim, o potencial de geração de energia por largura de onda pode ser expresso por [16]:

$$Pot = \frac{3600 \times E \times \eta}{T}$$

Onde:

- η é a eficiência do gerador utilizado

Como referência, pode-se utilizar o mapa de potencial de energia de ondas que mostra a Figura 2.9.

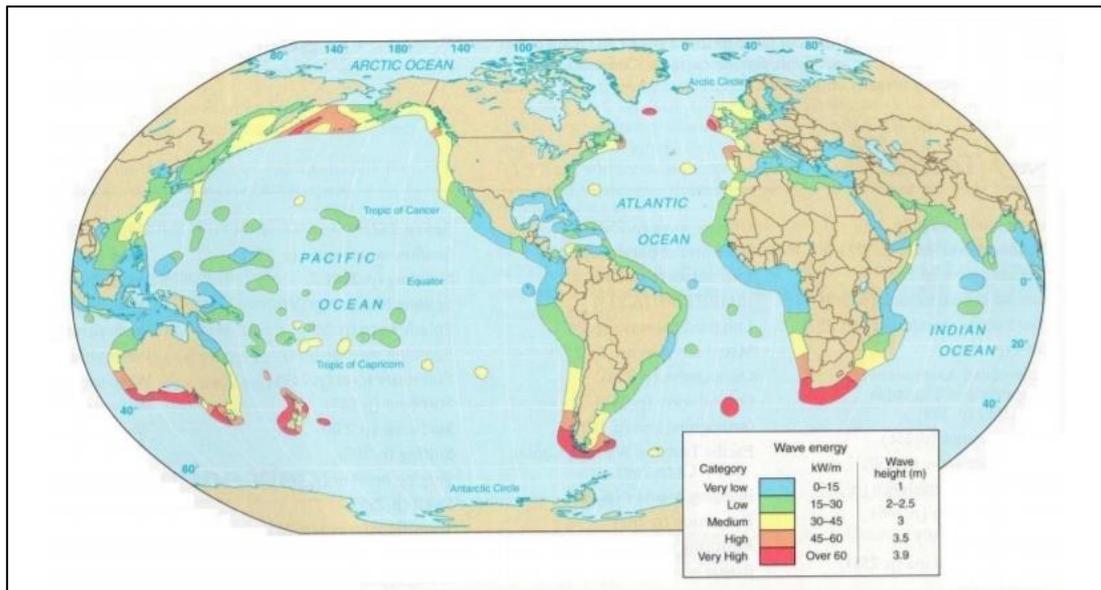


Figura 2.9: Mapa de potencial de energia das ondas pelo mundo [18]

2.2 Modelo do PPE

O projeto em andamento, realizado no PPE (Programa de Planejamento Energético) pelo professor Eliab Ricarte Beserra e sua equipe, tem como finalidade a elaboração de uma máquina de WEC inovadora. Devido à soberania do Reino Unido no “mercado azul”, grande parte dos equipamentos existentes são de uso *offshore*. Isto porque, geograficamente falando, o Mar do Norte é o mais utilizado pelos britânicos para desenvolvimento e instalação de aparatos de WEC e a costa da região, em seus quase 15.000 km, é praticamente toda formada por *cliffs* (penhascos), ou seja, a região *offshore* é a que prevalece. Entretanto, para países que possuem regiões *onshore* e *nearshore* bem definidas, há um grande problema em relação à instalação e manutenção destes aparatos em região *offshore*, uma vez que a distância para a costa é bem maior e o comportamento das ondas é totalmente diferente.

As ondas são formadas a milhares de quilômetros da costa por meio dos ventos, que transferem energia à superfície dos oceanos nas Zonas de Tempestade. Elas se deslocam sem grandes perdas de energia, até que encontram a região *nearshore*. Já que, em uma onda de águas profundas, sua altura de influência na energia potencial vale, aproximadamente, metade do comprimento de onda, ao se depararem com uma zona onde

há menos espaço de deslocamento vertical, as ondas passam a ter esta forma de energia reduzida. Entretanto, a parcela de energia potencial “perdida” no momento de encontro com a região de águas intermediárias é, na verdade, transformada em energia cinética. O orbital da onda, que possuía um equilíbrio quantitativo de energia potencial e energia cinética em ambiente *offshore*, é, então, deformado, passando a possuir mais energia cinética que potencial, gradativamente, até conter apenas energia cinética após a arrebentação, como ilustra a Figura 2.10.

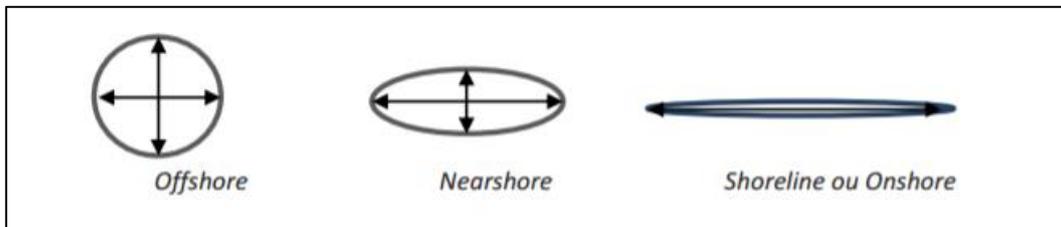


Figura 2.10: Energia das ondas em seus orbitais, com relação à zona de atuação. As setas verticais representam a energia potencial, enquanto as horizontais representam a cinética [19].

A ideia do projeto do PPE é que o mecanismo seja implementado em região *onshore* ou *nearshore*. Contudo, como mostra a Figura 2.11, as ondas nestas regiões possuem, no geral, menos energia que em região *offshore*, o que dificulta, em teoria, a obtenção de maiores eficiências para WECs mais próximas à costa. Então, deve-se pensar em uma maneira de melhorar um dispositivo de WEC para águas rasas e intermediárias, de modo que ele tenha um potencial de geração de energia o mais próximo possível daquele de um aparato que funciona *offshore*.

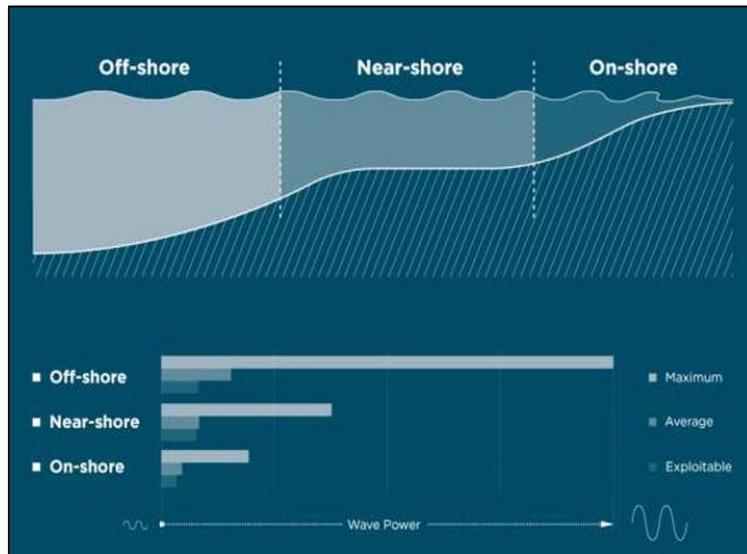


Figura 2.11: Regiões Oceânicas e comportamento das ondas em cada uma delas [20].

Baseado nisto, e partindo-se da ideia de desenvolver um aparato do tipo ponto absorvedor, surge um conceito de aproveitamento de ambas as energias potencial e cinética das ondas. Após algum esforço, pensou-se nos refletores dos sistemas de Overtopping – que, aqui, serão chamados de parábolas –, cuja função é capturar uma maior frente de onda para que a energia cinética seja otimizada. Logo, ao juntar um aparato OBS com as parábolas de um Overtopping, em tese, presume-se que a captura da frente de onda some uma parcela de energia ao corpo oscilante e, assim, faça com que ele suba no mesmo nível, ou além, da amplitude de onda.

A geometria do flutuador, antes cotada para ser apenas uma pirâmide invertida com o eixo principal localizado no centro da base, então, passou a ser pensada com a adição das parábolas e, desta forma, desenvolveu-se um primeiro protótipo para testes laboratoriais, em escala 1:40.

Assim, baseado nos conceitos aqui apresentados, tem início a fase de anteprojeto, onde são pensados e projetados todos os componentes que possibilitam o funcionamento ótimo da máquina em questão. Os conjuntos primordiais para a performance do aparato se resumem a: *Torre, Base, Parábolas Externas, Flutuador, Sistema de Deslizamento e*

Casa de Máquinas. Ainda dentro destes conjuntos há subconjuntos e elementos de máquinas.

Entretanto, vale ressaltar que os estudos deste trabalho são voltados para a elaboração de um documento de patentes referentes à uma nova tecnologia de conversão de energia de ondas em outras formas de energia. Dito isto, é preciso diferenciar as partes da máquina em projeto que são imprescindíveis para a criação deste documento.

A começar pela *Torre*, esta tem duas funções principais. A primeira delas é a de atuar como guia para restringir o movimento do flutuador a somente um grau de liberdade. A outra é pura e simplesmente estrutural, e se baseia na sustentação da casa de máquinas, que fica na parte superior da máquina – tendo em vista uma maior facilidade para manutenção – e como suporte para as parábolas externas. Desta forma, ela foi projetada, por meio de softwares de simulação, com o intuito de não sofrer grandes tipos de deformação devido à flexão que as correntes marinhas e ondas possam vir a causar, ou devido a flambagem que a casa de máquinas possa vir a exercer, de modo que o flutuador oscile o mais uniformemente possível.

Já o *Sistema de Deslizamento* é composto por um par de roletes – que formam um determinado ângulo entre si, dependendo de diversos fatores, como o diâmetro dos elementos estruturais que compõem a Torre e dimensões dos roletes. O sistema de deslizamento é localizado em cada vértice do flutuador, nas partes superior e inferior. Cada um dos roletes tangencia a circunferência externa de um dos 4 elementos estruturais verticais que formam a torre. Desta maneira, tenta-se garantir ao máximo a estabilidade do sistema e, com os materiais certos, diminuir o atrito entre roletes e tubulação.

Ainda nesta linha, o *Flutuador* pode ser considerado como elemento principal do projeto. Isto porque é a partir dele que o movimento provocado pela energia das ondas pode ser convertido em energia elétrica. Um elemento de transmissão, que possibilita a união de um eixo, na vertical, para exercer movimento alternado, é fixado ao flutuador. A ideia é que este objeto flutuante seja, em primeira análise, feito de HDPE – Polietileno de Alta Densidade – e que sua geometria seja tal que haja uma otimização do aproveitamento de energia das ondas em águas intermediárias.

Um outro elemento fundamental para o bom funcionamento da máquina é sua *Base*. Sua estrutura foi toda elaborada pensando-se em uma “grelha”, soldada à Torre,

formada por dutos, já que possui as funções de fundação e transporte. Para aplicação como fundação, basta que os dutos estejam cheios da própria água do mar e que, assim, possam submergir. Já no intuito de desempenhar seu papel de transporte, deve-se injetar determinada quantidade de ar na tubulação de modo que haja flutuabilidade suficiente e, assim, ser rebocada toda a estrutura por uma embarcação. Vale ressaltar que esta é uma parte essencial do projeto, já que a estrutura não pode ser deslocada pela força das ondas, quando em funcionamento, em hipótese alguma.

Por fim, um incremento pensado em uma fase mais adiantada da iniciativa são as *Parábolas Externas*. Levando em conta aquele mesmo conceito dos refletores do sistema de Overtopping, e fundamental para determinação da geometria do Flutuador, as 4 Parábolas Externas são soldadas à base e à torre, simultaneamente, de modo a aumentar a captação da energia cinética a níveis mais baixos no oceano. Tais peculiaridades do projeto ainda estão sendo testadas para definir se, de fato, são um fator importante frente o aumento na capacidade de geração de energia. Vale lembrar que estas Parábolas também podem desempenhar um papel estrutural e, por este motivo, ainda estão em fase de desenvolvimento e podem ser similares a nervuras.

Resumidamente, o mecanismo de funcionamento da invenção acontece da seguinte forma: (1) A onda, por meio de suas energias potencial e cinética, vai de encontro ao Flutuador. (2) O Flutuador – acoplado à Torre pelo Sistema de Deslizamento, o que lhe permite se movimentar com apenas um grau de liberdade –, devido à interação com a frente de onda, oscila vertical e linearmente. (3) O eixo, fixo ao Flutuador, possibilita a ligação entre o PTO e o corpo oscilante. (4) Já dentro da Casa de Máquinas, ao oscilar junto do Flutuador, o PTO – que pode ser um sistema hidráulico, mecânico ou um gerador linear direto – possibilita a rotação do eixo do gerador convencional que, por sua vez, transmite energia elétrica à rede central.

Além disso, um outro passo importante a ser definido é o local de instalação do projeto. Vale ressaltar que, no Ocidente, quanto mais próximo à Linha do Equador, menor a variação do tamanho das ondas e com maior frequência elas incidem [19]. Ou seja, as regiões no Brasil mais aptas a receberem a instalação da máquina em questão são a Norte e Nordeste. Entretanto, isto não implica que sejam as únicas possíveis. Deve-se ter em mente que os sítios são totalmente independentes uns dos outros e que, para implementação deste aparato em outros lugares, basta um estudo mais detalhado sobre o

sítio escolhido, de modo que seja possível a determinação da nova geometria do Flutuador – triangular, pentagonal, hexagonal etc. –, estrutura da Torre, número e tamanho de Parábolas Externas e outros muitos parâmetros.

Apesar de tudo estar aparentemente bem resolvido, não se sabe de fato se a adição das parábolas ao objeto flutuante contribui significativamente para o aumento da produção de energia. Sendo assim, para confirmar a necessidade ou não desses refletores, foram realizados testes hidrodinâmicos no Laboratório de Ondas e Correntes – LOC/COPPE.

Capítulo 3

Testes em laboratório para o modelo proposto

Os testes realizados em laboratório são uma das fases mais importantes de um projeto de máquinas conversoras de energia das ondas. Isto porque, em muitos casos, a hidrodinâmica envolvida no processo é extremamente complexa. Assim, a utilização de modelos em escala reduzida em testes laboratoriais é uma ferramenta muito útil no que diz respeito à comprovação, desenvolvimento ou formulação de teorias de dispositivos WEC.

3.1 Metodologia

Segundo Frigaard & Kofoed [21], o desenvolvimento de um dispositivo WEC se dá, basicamente, em quatro fases. A ideia é oferecer informações específicas em cada uma delas e não utilizar demasiados recursos sem antes ter uma estimativa do potencial de energia que a máquina pode oferecer.

A primeira fase é a de prova de conceito. Isto envolve pequenos testes típicos de laboratório para que se tenha uma estimativa bruta – de $\pm 20\%$ – de produção de energia para cinco estados específicos de onda, de modo que a produção anual de energia também possa ser estimada.

Depois vem a fase de estudo de design e viabilidade. Nesta são realizados testes mais detalhados em modelos de escala entre 1:50 e 1:20. Desta maneira, são elaborados cálculos numéricos detalhados, estimativa de custo do projeto, viabilidade do mesmo e design do PTO, principalmente. Além disso, são feitas otimizações e a modelagem numérica intensiva do modelo.

A terceira fase é o lançamento de modelos em escala entre 1:10 e 1:5 no oceano para testes mais próximos da realidade. Fase esta que pode custar até R\$ 15.000.000,00 [21] na realidade dos dinamarqueses, dependendo do tamanho do dispositivo, instalação, sensores utilizados, material etc.

Por último, a quarta fase é aquela onde são feitas demonstrações do funcionamento do dispositivo e geralmente é feita em escala 1:2 ou 1:1.

No caso do modelo posto à prova no LOC, mostrado na Figura 3.1, a maior conclusão que se deseja tirar é a relevância dos refletores de acrílico adicionados às arestas diagonais da pirâmide invertida e, assim, comprovar a teoria de aproveitamento de ambas as energias oferecidas por uma onda, em águas intermediárias, em um mesmo ponto absorvedor.



Figura 3.1: Protótipo com abas de acrílico (transparentes) em escala 1:40 para testes iniciais.

3.1.1 TEORIA DA SEMELHANÇA

Antes de introduzir a Teoria da Semelhança, é necessário definir dois conceitos que, apesar de muito parecidos, possuem uma diferença muito importante. Trata-se das palavras *modelo* e *protótipo*. Entende-se como um modelo o sistema a partir do qual se efetuam as previsões válidas para fins de engenharia. Já um protótipo pode ser tratado como um sistema cujo comportamento deseja-se prever [22].

Dito isto, a Teoria da Semelhança, de acordo com Motta [22], é “o conjunto dos princípios a serem obedecidos a fim de projetar, construir, operar e interpretar os sistemas (modelos) a partir dos quais se deseja prever o comportamento de outros sistemas (protótipos)”. Ainda existem outros dois objetivos desta teoria, principalmente no que diz respeito à transferência de propriedades entre modelo e protótipo e o tipo de relação entre as diversas grandezas descritivas de qualquer fenômeno físico.

Existem três tipos de modelos em Teoria da Semelhança, que são os geometricamente semelhantes, geometricamente distorcidos e analógicos. Nos geometricamente semelhantes, a geometria é determinada pela redução de todas as características geométricas do protótipo, por meio de um mesmo fator, diferentemente dos distorcidos, que utilizam fatores diferentes para a redução das características. Já os analógicos não apresentam quaisquer semelhanças geométricas com o protótipo [22].

Assim, o que de fato é importante tomar como lição do conceito de comportamento semelhante é que, assim como uma medida, tal critério comporta tanto um aspecto qualitativo quanto um aspecto quantitativo. O qualitativo leva em conta que o mesmo fenômeno, com as grandezas regidas pela mesma lei, se passa no modelo e no protótipo. O quantitativo determina a existência de relações constantes entre os valores que ocorrem nos modelos e os que ocorrem nos protótipos [22].

Outro conceito importante a ser introduzido é a escala. Nas palavras de Motta [22], entende-se por escala “a razão entre cada valor que uma dada grandeza assume no modelo e o valor correspondente que a mesma grandeza assume no protótipo”. No intuito de manter os aspectos qualitativos e quantitativos entre o modelo e o protótipo, são necessárias condições de semelhança, que representam as relações das escalas das

diferentes grandezas. A escala é expressa como uma fração cujo numerador é igual a 1 e o símbolo para cada escala é o símbolo da própria grandeza, mas com acento circunflexo. Por exemplo, o comprimento, representado por “L”, terá seu símbolo de escala como sendo “ \hat{L} ” [22].

3.1.2 NÚMEROS DE REYNOLDS E DE FROUDE

A dinâmica do sistema de uma máquina WEC consiste na interação entre ondas, estrutura e PTO. Mas este sistema, apesar de ser, fisicamente falando, acoplado, pode ser dividido em dois subsistemas para uma análise mais simples do problema: a dinâmica da interação onda-estrutura e a dinâmica da interação mecanismo-PTO.

No intuito de estudar a interação onda-estrutura, as equações governantes do problema de mecânica dos fluidos são a de conservação de massa e a de conservação do momento, de Navier-Stokes.

Das equações de Navier-Stokes, pode-se obter dois números adimensionais de extrema relevância no campo da engenharia. Um deles, conhecido como Número de Reynolds, determina, principalmente, o tipo de escoamento de determinado fluido – laminar ou turbulento – por meio de alguns dados de entrada. O outro, muito utilizado na hidráulica de condutos abertos, é o Número de Froude, que representa a razão entre uma velocidade característica e a velocidade da onda gravitacional. Estes são representados, de forma mais condizente com o assunto tratado neste trabalho, por meio das fórmulas:

$$Re = \frac{\rho LU}{\mu}$$

e

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{gL}}$$

Onde:

- ρ = massa específica do fluido
- L = comprimento observado
- U = velocidade de escoamento do fluido
- μ = viscosidade absoluta

Se os números de Froude forem projetados para serem os mesmos entre dois objetos geometricamente semelhantes, então os dois sistemas satisfazem a lei da similaridade de Froude. O mesmo vale para o número de Reynolds. Por exemplo:

$$Fr_m = Fr_p$$
$$\therefore \frac{U_m}{\sqrt{L_m \cdot g}} = \frac{U_p}{\sqrt{L_p \cdot g}} \rightarrow \frac{U_m}{U_p} = \hat{U} = \hat{L}^{1/2}$$

Onde:

- m = modelo
- p = protótipo

Para uma abordagem mais prática, quanto maior o número de Reynolds, menor é a viscosidade absoluta e, desta maneira, ela pode ser desprezada para Reynolds muito grandes. Isto implica que, no sistema dinâmico, as forças viscosas não são comparáveis às forças inercial e de gravidade caso se consiga um valor alto para o número de Reynolds no modelo.

Assim, as semelhanças cinemáticas e dinâmicas podem ser garantidas pela semelhança de Froude por si só, o que torna esta semelhança mais popular e prática na modelagem física, tendo em vista a facilidade de obtenção de um Reynolds grande na maioria dos casos práticos. Além disso, quando se utiliza um modelo de pequena escala, a semelhança cinemática, baseada na semelhança de Froude, requer uma pequena velocidade para um modelo em escala reduzida. Este requisito é muito favorável às condições de ensaio laboratorial.

Os fatores de escala mais relevantes, típicos para a dinâmica do sistema em questão e obtidos por meio das semelhanças de Froude, são fornecidos por Hughes [24].

3.2 Estudo de Caso

No caso do projeto desenvolvido pelo PPE, a ideia de realizar testes em um modelo 1:40, geometricamente semelhante ao protótipo, é uma tentativa de comprovar um conceito pensado para melhorar o desempenho de um aparato WEC de ponto absorvedor, de modo que ele possa ser instalado em região de águas intermediárias e, assim, sejam reduzidos custos relacionados a manutenção, cabeamento para transmissão à rede e instalação do dispositivo.

Os testes em escala 1:40 servirão para comprovar se o uso de refletores na geometria piramidal do flutuador influencia na altura atingida por ele com a passagem de uma onda, ou seja, se a potência gerada pela máquina pode aumentar de acordo com o suposto aumento do trabalho realizado pelo corpo oscilante. Para isto, serão, primeiramente, coletados dados conseguidos por meio dos testes e depois feita a análise, de acordo com o fator de escala “ λ ”. No caso, $\lambda = 40$ e, a partir disto e dos fatores de escala de Hughes [24], pode-se escrever a tabela abaixo:

Parâmetro	Fator de Escala	Escala
Comprimento	λ	40
Área	λ^2	1600
Volume	λ^3	64000
Massa	$r \cdot \lambda^3$	65600
Tempo	$\lambda^{1/2}$	6,32455
Força, Tensão	$r \cdot \lambda^3$	65600
Ângulo	1	-
Aceleração	1	-
Velocidade	$\lambda^{1/2}$	6,32455
Velocidade Angular	$\lambda^{-1/2}$	0,15811
Potência	$r \cdot \lambda^{7/2}$	414890,829
Fator de correção da massa específica da água (r)	ρ_p / ρ_m	1,025

Tabela 1: Fatores de escala do projeto; $\rho_p = 1025 \text{ kg/m}^3$ e $\rho_m = 1000 \text{ kg/m}^3$ ¹

¹ Valor medido por um densímetro colocado dentro do tanque de testes.

Na tentativa de se provar um conceito, pode-se considerar que este teste faz parte da primeira fase de projeto de máquinas conversoras de energia das ondas. Isto significa obter uma estimativa bruta da produção anual de energia com incerteza de, aproximadamente, 20% [21].

3.2.1 O MODELO DE TESTE

O modelo em escala 1:40 consiste em uma pirâmide com a base invertida, com abas (refletores) removíveis, ambos de acrílico, com restrição de movimento a apenas um grau de liberdade no eixo vertical, feita por uma estrutura metálica que representa a torre. O corpo oscilante de geometria piramidal tem uma massa de 360 g com convés de 160 g. Cada aba pesa 13 g, com um total de 52 g e os elementos de fixação – parafuso, arruelas, porcas e cantoneiras – pesam ao todo 48 g. Cada aba é representada por um triângulo reto de catetos de 100,4 e 150 mm com espessura de 6 mm. O tetraedro possui base quadrada, aqui chamada de convés, de 150x150 mm e uma altura também igual a 150 mm.

A torre tem altura igual a 515 mm e possui geometria quadrada para que se possa encaixar o modelo do flutuador. É importante reparar que, apesar de todo o esforço, existirá, em todos os testes realizados, uma folga entre o corpo flutuante e a torre. Isto seria um problema para uma máquina em funcionamento, uma vez que existirá *pitch* no sistema e, assim, parte da energia que poderia ser aproveitada para oscilar verticalmente o corpo é dissipada. Entretanto, por se tratar de uma tentativa de comparação entre os modelos com abas e sem abas, aqui será considerado apenas o *heave* do objeto oscilante. As Figuras 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5 mostram o modelo e seus componentes.

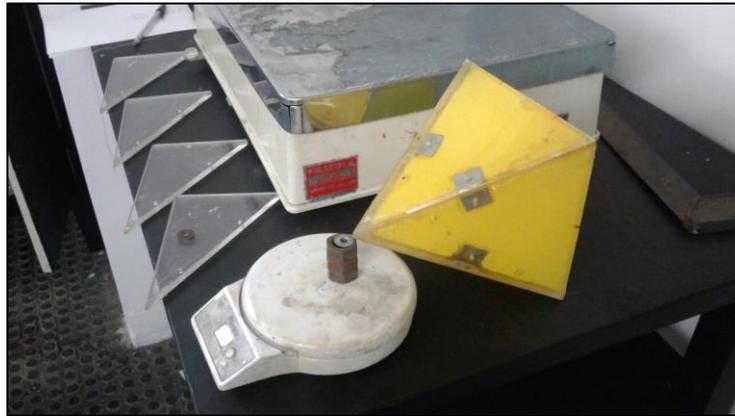


Figura 3.2: Pirâmide, Abas e Elementos de Fixação sendo pesados.



Figura 3.3: Flutuador sem abas.

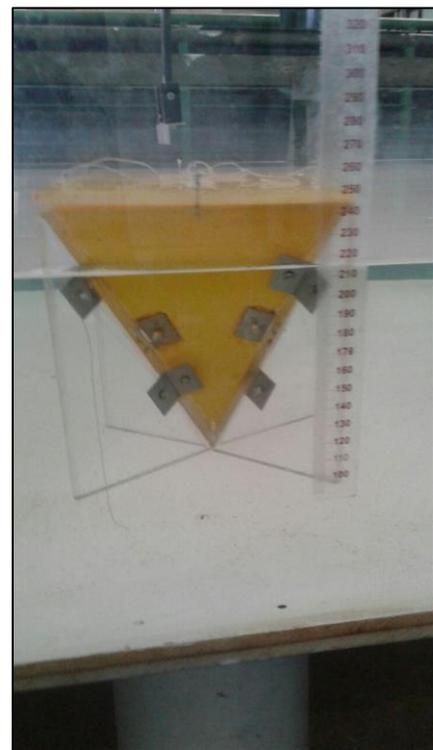


Figura 3.4: Flutuador com abas.



Figura 3.5: Torre sendo centralizada no tanque.

Foram estudados 4 casos diferentes, sendo eles: modelo com abas e ângulo de incidência nulo, modelo com abas e ângulo de incidência igual a 45° (Figura 3.6), modelo sem abas e ângulo de incidência nulo, e modelo sem abas e ângulo de incidência igual a 45° . Aqui, estes casos foram denominados, respectivamente, de Testes 1, 2, 3 e 4.

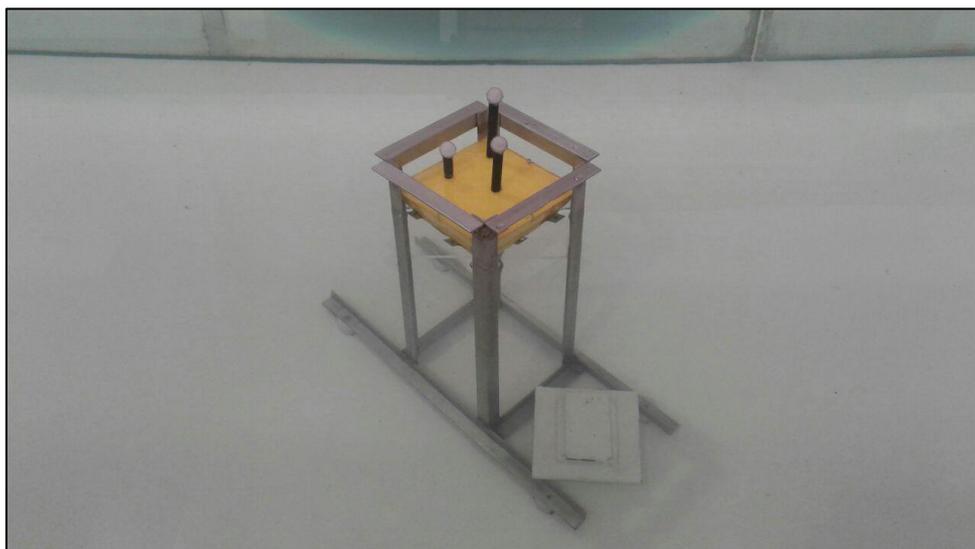


Figura 3.6: Modelo com abas e ângulo de incidência igual a 45° .

3.2.2 MONTAGEM DO EXPERIMENTO

O experimento consiste em medir a amplitude adquirida por cada um dos modelos, com ou sem abas, ao serem excitados por uma onda regular programada. Isto foi feito no tanque superior do Laboratório de Ondas e Correntes – LOC/Coppe.

Com a linha d'água em, aproximadamente, 445 mm, um batedor de ondas, posicionado a 2,5 m do flutuador, gera ondas regulares de acordo com a necessidade do usuário. Ele consiste em uma placa inclinada em relação ao plano da superfície d'água que realiza movimento alternado por meio de um mecanismo ligado a um motor. No caso do experimento aqui estudado, foram programados 4 tipos diferentes de ondas para cada caso diferente, que serão denominadas ondas do tipo 1, 2, 3 e 4, respectivamente, que são dadas na Tabela 2.

	Escala 1:40		Escala Real	
	Altura de onda (H)	Período (T)	Altura de onda (H)	Período (T)
Onda 1	30 mm	0,8 s	1,2 m	5,06 s
Onda 2	20 mm	1 s	0,8 m	6,32 s
Onda 3	12 mm	1,347 s	0,48 m	8,52 s
Onda 4	16 mm	1,63 s	0,64 m	10,31 s

Tabela 2: Ondas programadas para o experimento com o batedor de ondas.

Como mostra a Figura 3.7, ao final do tanque existe um ambiente denominado praia, que exerce um papel de absorvedor de energia. Deste modo, é garantido que não haverá reflexão de ondas, o que poderia desqualificar o tipo de onda como sendo regular.



Figura 3.7: Praia do tanque vista de diferentes posições.

Para as medições, foram utilizados dois tipos de sensores diferentes, ambos mostrados na Figura 3.8. Um deles, os sensores Wave Probe, são ondógrafos capacitivos e fornecem dados referentes às alturas de onda. Estes dados serão usados posteriormente para comparar as frequências de oscilação entre as ondas e o oscilador. O outro é um sensor ótico da Qualisys, com programa de leitura de dados Qualisys Track Manager, que consiste em duas câmeras e três pequenas esferas, denominadas alvos, que são cobertas por uma tinta que reflete o infravermelho da câmera e, assim, conseguem ser identificadas ao se movimentar. Estes alvos são posicionados no convés do objeto oscilante, conforme a Figura 3.9. É necessária a calibração da base inercial do sistema, de modo que o movimento dos alvos no convés possa ser medido de acordo com um referencial.

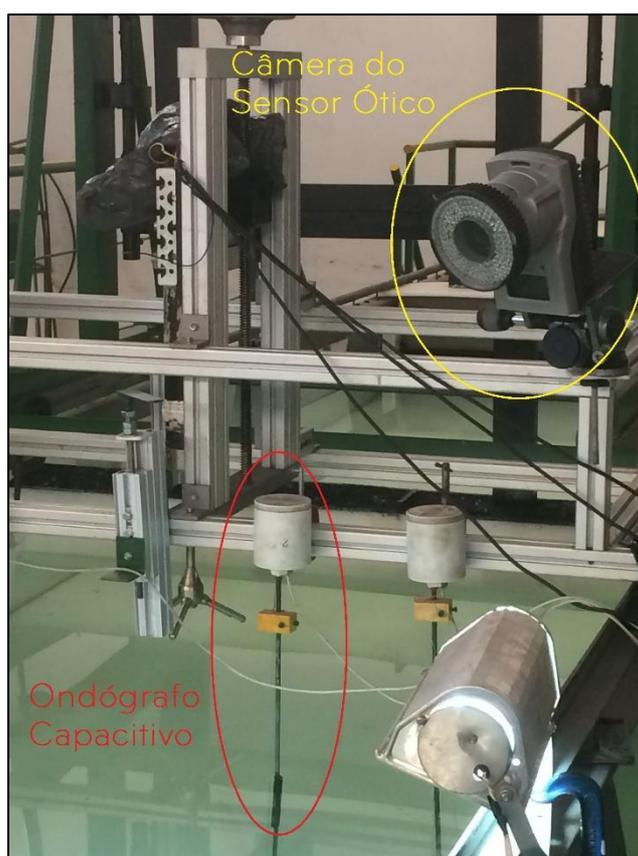


Figura 3.8: Sensores: ondógrafo capacitivo e sensor ótico.

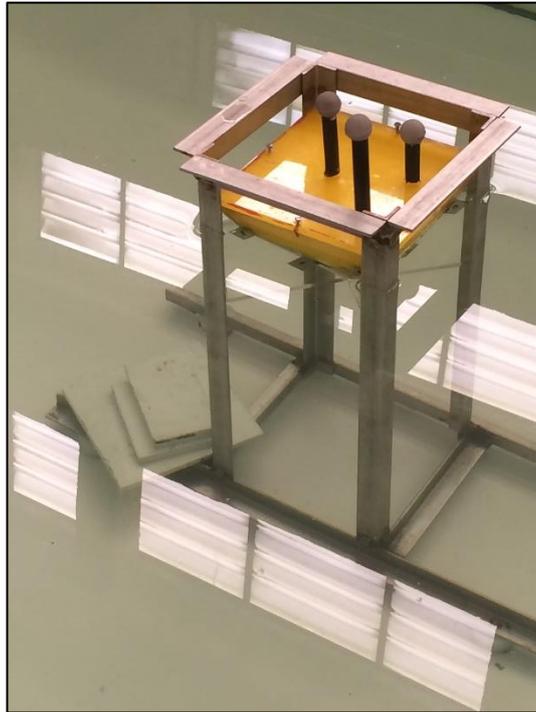


Figura 3.9: 3 alvos no convés do flutuador.

As informações coletadas são transferidas para um dispositivo de aquisição de dados da HBM, cuja frequência de aquisição é de 60 Hz. A partir dos dados coletados pelos sensores, que são apresentados no programa Matlab por meio de matrizes, são gerados gráficos de amplitude no tempo que demonstram o comportamento dos dois objetos de estudo: o flutuador e as ondas geradas. Tais resultados são a parte mais importante do experimento, uma vez que nos fornecem as informações necessárias para concluir se a teoria está de acordo com a realidade.

Desta maneira, é possível montar uma tabela de experimento, que diz respeito aos elementos que fazem parte dos testes, bem como tudo que compõe o ensaio geral.

TESTES COM POINT ABSORBER				
BATERIA 1				
CALIBRAÇÃO DE ONDAS				
SENSORES				
WAVE1	WAVE PROBE	X=3000mm	Y=0	
WAVE2	WAVE PROBE	X=900mm	Y=0	
CAMERA1				
CAMERA2				
ARQUIVOS				
		ALT	PER	HORA
ONDA1	RPM=50	H=30mm	0,80	13:41
ONDA2	RPM=40	H=20mm	1	13:52
ONDA3	RPM=30	H=12mm	1,347	13:58
ONDA4	RPM=25	H=16mm	1,63	14:03
BATERIA 2				
APROAMENTO 180 GRAUS, COM ABAS				
SENSORES				
WAVE2	WAVE PROBE	X=900mm	y=0	
QUALYSIS				
CAMERA1				
CAMERA2				
B2T001	RPM=50	30mm	0,8s	14:22
B2T002	RPM=40	20mm	1	14:32
B2T003	RPM=30	12mm	1,347	14:37
B2T004	RPM=25	16mm	1,63	14:42
BATERIA 3				
APROAMENTO 135 GRAUS, COM ABAS				
SENSORES				
WAVE2	WAVE PROBE	X=900mm	y=0	
QUALYSIS				
CAMERA1				
CAMERA2				
B3T001	RPM=50	30mm	0,8s	14:54
B3T002	RPM=40	20mm	1	15:00
B3T003	RPM=30	12mm	1,347	15:05
B3T004	RPM=25	16mm	1,63	15:10
BATERIA 4				
APROAMENTO 180 GRAUS, SEM ABAS				
SENSORES				
WAVE2	WAVE PROBE	X=900mm	y=0	
QUALYSIS				
CAMERA1				
CAMERA2				
B4T001	RPM=50	30mm	0,8s	16:38
B4T002	RPM=40	20mm	1	16:43
B4T003	RPM=30	12mm	1,347	16:52
B4T004	RPM=25	16mm	1,63	16:56
B4T005				
BATERIA 5				
APROAMENTO 45 GRAUS, SEM ABAS				
SENSORES				
WAVE2	WAVE PROBE	X=900mm	y=0	
QUALYSIS				
CAMERA1				
CAMERA2				
B5T001	RPM=50	30mm	0,8s	16:00
B5T002	RPM=40	20mm	1	16:05
B5T003	RPM=30	12mm	1,347	16:10
B5T004	RPM=25	16mm	1,63	16:16

Tabela 3: Baterias de testes com horas especificadas

	Massa
Tetraedro	360 g
Convés	160 g
Aba	52 g
Fixação	48 g
Lastro Flutuador	100 g
Lastro Torre	210 g

Tabela 4: Massas de cada elemento especificadas

3.2.3 RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados aqui apresentados estão na forma de gráficos executados pelo programa Matlab, cujas rotinas são apresentadas ao final do trabalho. Aqui vale um adendo de que o Qualisys – sensor ótico – fornece dados de uma maneira não convencional. Isto porque, no formato “.mat”, a matriz que contém as amplitudes medidas no tempo de cada eixo de referência vem dentro de uma estrutura de dados que ainda se encontra dentro de outra estrutura de dados. Além disso, esta matriz se encontra na forma 1:3:6000, e para plotar um gráfico do tipo amplitude no tempo seria necessária apenas uma matriz 6000:3. Desse jeito, foi necessário manipular a matriz adquirida de modo que a elaboração dos gráficos necessários ao estudo fosse possível, como mostra a Figura 3.10.

```
%% Inicialização
%-----
%%% Importar matrizes
load('B5T004.mat');
dados=B5T004.RigidBodies.Positions;
X=ones(6000,3);
for i=1:1:6000
    for j=1:1:3
        X(i,j)=dados(1,j,i);
    end
end

for i=1:1:6000
    x(i)=X(i,1);
end

for i=1:1:6000
    y(i)=X(i,2);
end

for i=1:1:6000
    z(i)=X(i,3);
end

load('Job1_2017_02_10_16_56_11_50Hz.mat');
meas=Channel_3_Data;
```

Figura 3.10: Rotina para correção de matriz.

Em um primeiro momento, é feita uma comparação, por meio de curvas sobrepostas, entre as amplitudes das ondas geradas e do flutuador para cada onda de cada caso específico. Isto possibilita saber onde se encontra o ponto ótimo de funcionamento do aparato, caso seja necessário em algum momento. Nos gráficos abaixo, são apresentados os resultados para a primeira bateria de testes, ou seja, o flutuador possui abas e o ângulo de incidência é nulo. Foram feitas ampliações do primeiro gráfico no início, meio e fim das ondas do tipo 1 ($H=30\text{mm}$ e $T=0,8\text{s}$) para mostrar o comportamento detalhado. Nota-se que, quanto mais perto da frequência de ressonância, maiores são as amplitudes adquiridas pelo flutuador, como era de se esperar.

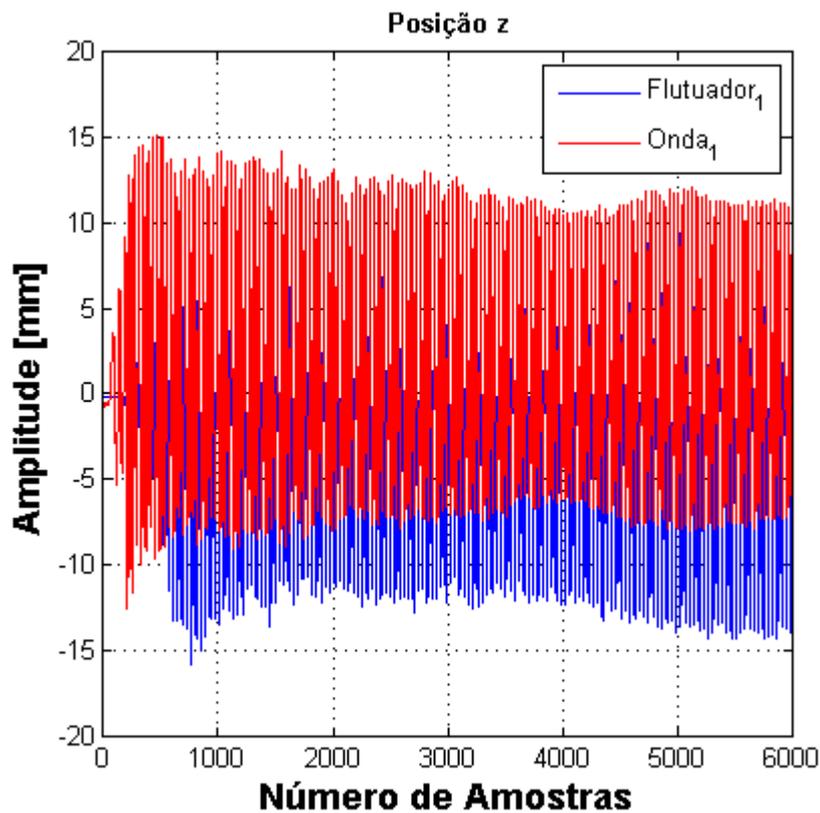


Gráfico 1: Experimento 1: Flutuador com abas, ângulo de incidência nulo e ondas do tipo 1.

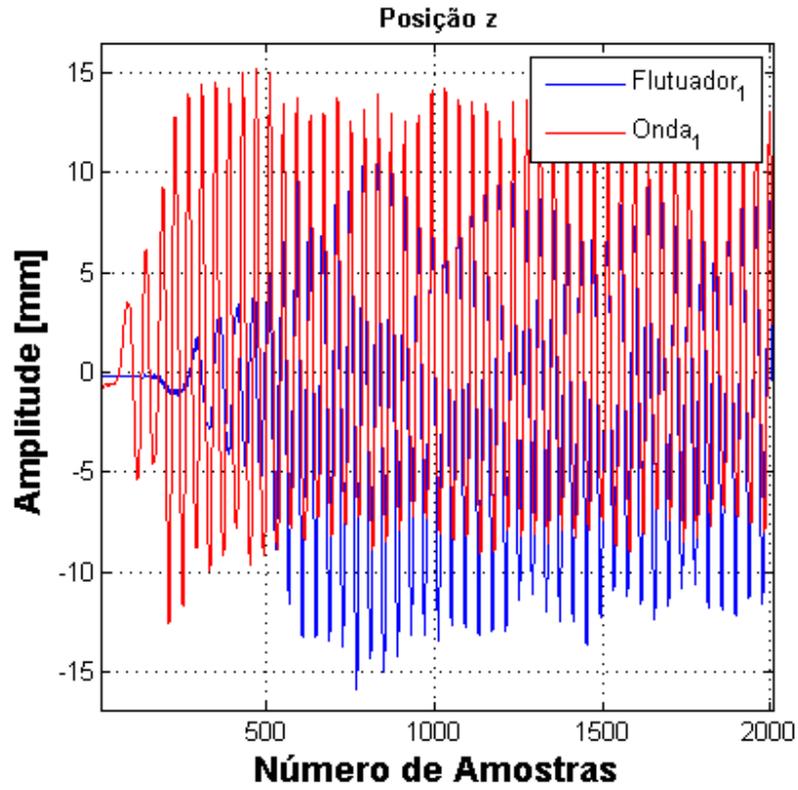


Gráfico 2: Experimento 1: Início.

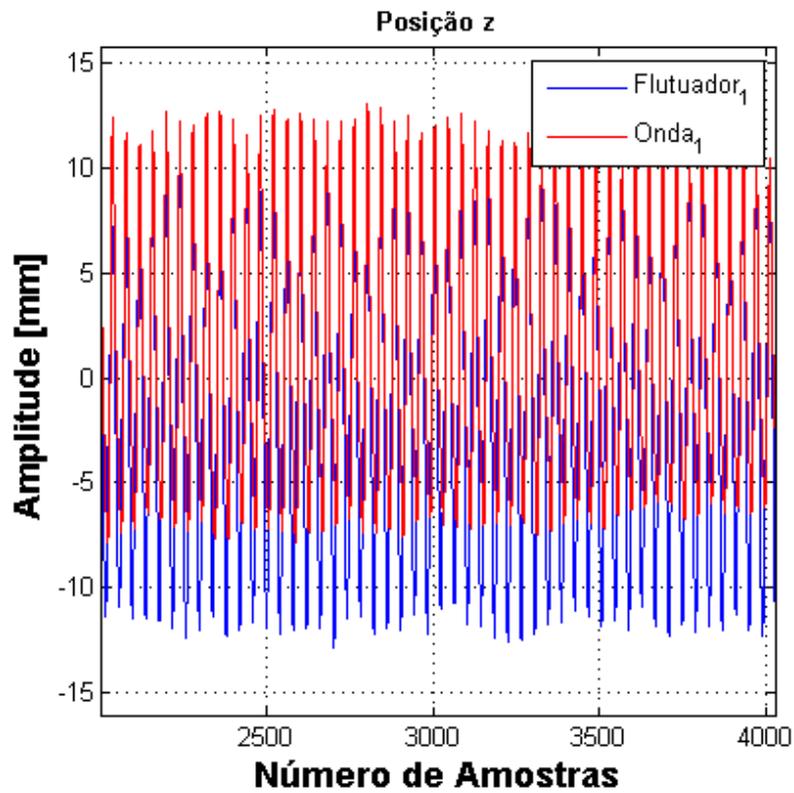


Gráfico 3: Experimento 1: Meio.

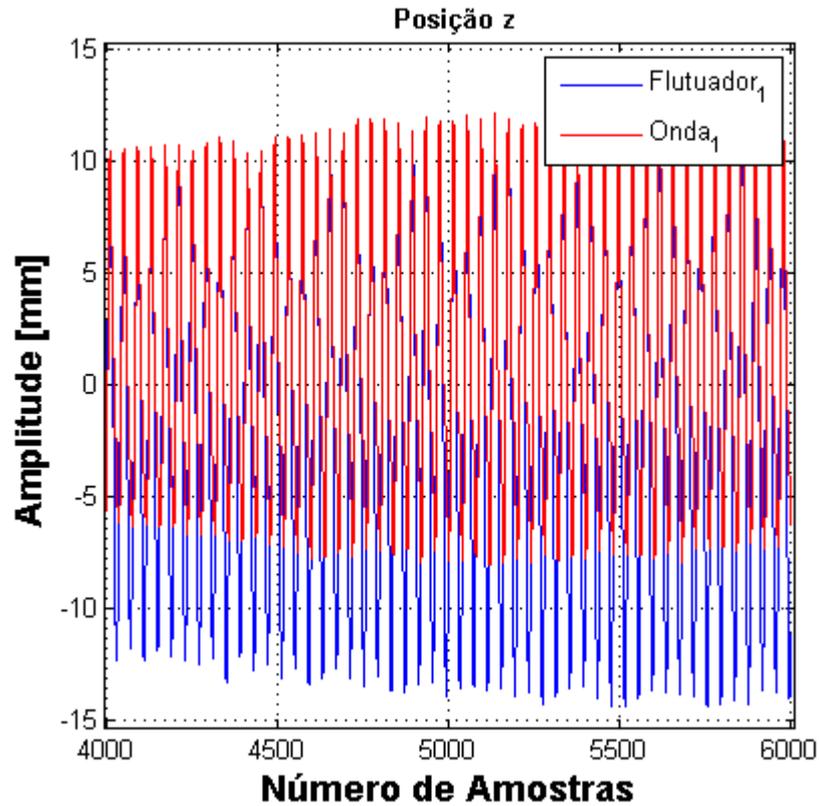


Gráfico 4: Experimento 1: Fim.

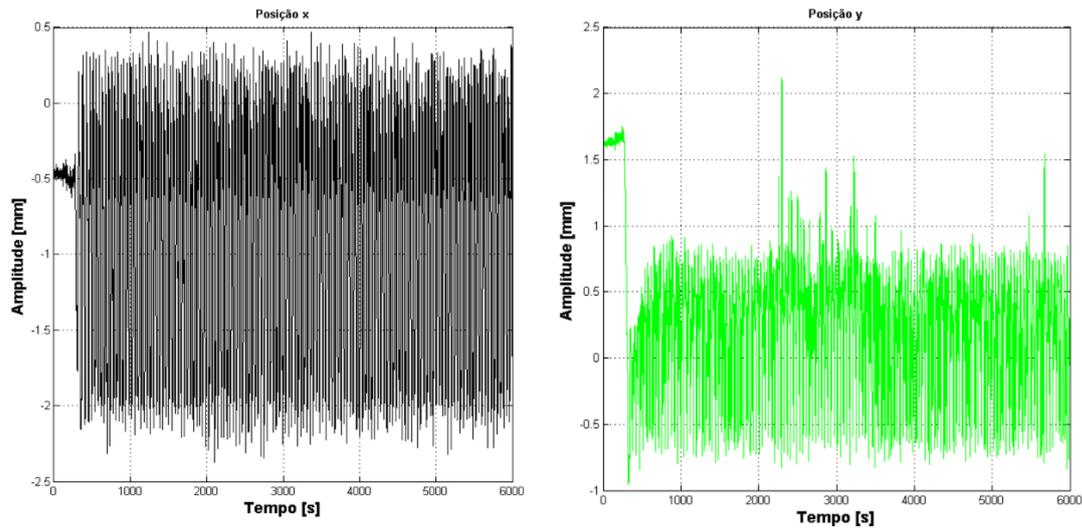
A rotina utilizada para plotar os gráficos é representada pela Figura 3.11. É importante notar como o comportamento do oscilador varia com o tempo, uma vez que, no começo e no meio do experimento ele se encontra abaixo da altura de onda e ao final ele ultrapassa em alguns momentos a altura de onda, provavelmente pela proximidade entre as frequências natural e de ressonância do sistema.

```
%%          VISUALIZAÇÃO DOS DADOS DOS SENSORES

figure(1)
plot(x, 'k');
grid on;
axis square;
title('Posição x', 'FontWeight', 'bold')
xlabel('Tempo [s]', 'FontSize', 14, 'FontWeight', 'bold')
ylabel('Amplitude [mm]', 'FontSize', 14, 'FontWeight', 'bold')
figure(2)
plot(y, 'g');
grid on;
axis square;
title('Posição y', 'FontWeight', 'bold')
xlabel('Tempo [s]', 'FontSize', 14, 'FontWeight', 'bold')
ylabel('Amplitude [mm]', 'FontSize', 14, 'FontWeight', 'bold')
figure(3)
plot(z, 'b');
grid on;
axis square;
title('Posição z (Flutuador vs. Onda)', 'FontWeight', 'bold')
xlabel('Tempo [s]', 'FontSize', 14, 'FontWeight', 'bold')
ylabel('Amplitude [mm]', 'FontSize', 14, 'FontWeight', 'bold')
hold;
plot(meas, 'r');
hleg1 = legend('Flutuador_4', 'Onda_4');
```

Figura 3.11: Rotina no Matlab para plotar os gráficos.

A leitura dos dados também permite plotar as curvas referentes aos *pitchs* do sistema que, apesar de serem aqui desprezados para efeito de comparação entre sistemas, são importantes no que tange outras áreas do saber hidrodinâmico para futura otimização do aparato. Sendo assim, são representados pelos Gráficos 5 e 6 os movimentos em ‘x’ e ‘y’.



Gráficos 5 e 6: respectivamente, movimentos em x e y do Sistema de Referência.

Dentre os dezesseis experimentos realizados, um deles foi considerado o mais marcante. Isto porque, além de ter apresentado uma diferença de fase praticamente desprezível, o objeto flutuante ultrapassou a altura de onda em quase todo o ensaio, como mostra o Gráfico 7.

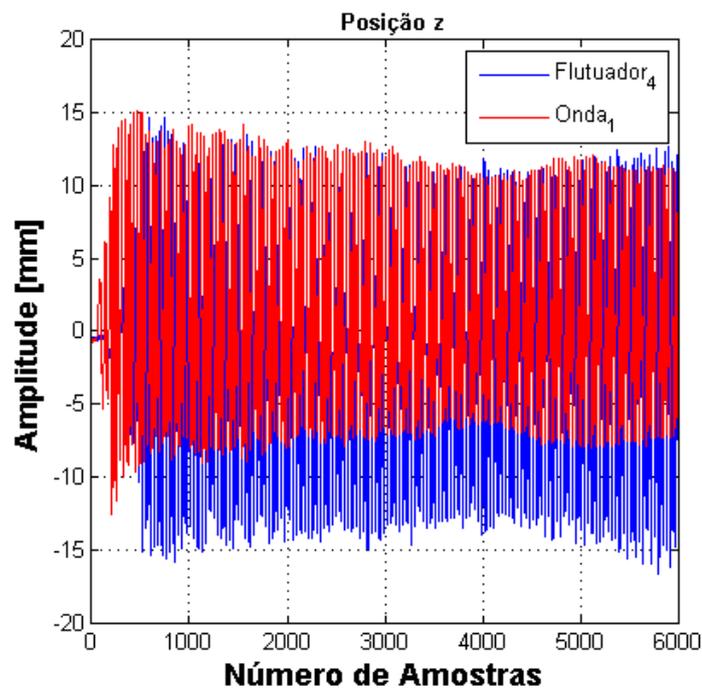


Gráfico 7: Experimento 13: flutuador sem abas, ângulo de incidência 45° e ondas do tipo 1.

Os resultados mostraram que, nas faixas de frequência de ondas escolhidas para o experimento, o modelo sem abas apresentou uma resposta um pouco melhor na maior parte dos casos. Entretanto, isto não exclui a hipótese de que, para outras faixas, o modelo com abas possa apresentar maior amplitude de oscilação.

Algo que se supõe para explicar o fato de o modelo com abas ter um rendimento menor do que se esperava é a interação das parábolas com a estrutura. Já que existe uma folga entre o objeto e a torre modelados, entende-se que existirá *pitch* no sistema. Ora, se o modelo com abas possui uma área de contato maior com a torre que o modelo sem abas, a pressão e o impacto dos refletores na estrutura, gerados pelo inevitável *pitch*, são maiores também. Isto significa dizer que uma parcela de energia é perdida devido a esta interação. Contudo, como dito antes, trata-se apenas de uma suposição.

3.2.4 SIMULAÇÃO EM ESCALA REAL

Para calcular a potência gerada pelo modelo, entende-se que o trabalho realizado pelo flutuador (τ) dividido pelo tempo (t) é uma boa solução, visto que este trabalho se baseia apenas no deslocamento vertical alternativo multiplicado pelo peso do objeto. Além disso, deve-se levar em conta a eficiência (η) do sistema de potências, que, sendo bastante conservador, pode ser estimada em 25%. Assim:

$$Pot_g = \frac{\tau \times \eta}{t}$$

$$\tau = m_f \times g \times A_m \times 145$$

Onde:

- m_f = massa do flutuador
- A_m = amplitude média
- 145 → média do número de vezes que o flutuador realiza trabalho em um período de 1 minuto e 40 segundos de teste

Para que se possa fazer uma comparação justa, foram escolhidas ondas do tipo 1 entre os Testes 2 e 4, ou seja, ângulo de incidência 45° para os modelos com e sem abas, respectivamente. De acordo com os gráficos obtidos no Matlab, é possível traçar uma amplitude média para cada modelo. Sendo assim, para os Testes 2 e 4, as amplitudes estipuladas são de $A_{m2} = 22$ mm e $A_{m4} = 26$ mm.

Por serem todas equações lineares, lembrando que as massas dos flutuadores são iguais para efeito de comparação entre corpos com mesma frequência natural de oscilação, pode-se estimar a razão de eficiências entre os dois flutuadores, que segue:

$$\frac{A_{m4}}{A_{m2}} = \frac{26}{22} = 1,182$$

Ou seja, o modelo sem abas apresentou, para este caso específico, uma eficiência 18,2% maior do que aquele com abas. Agora será calculada a potência média gerada pelos dois modelos, para um protótipo, ou seja, levando em conta o fator de escala referente à potência:

$$Pot_{g2} = \frac{m_f \times g \times A_{m2} \times 180 \times \eta \times r \cdot \lambda^{\frac{7}{2}}}{t} =$$

$$= \frac{0,62 \times 9,81 \times 0,022 \times 145 \times 0,25 \times 414890,829}{100} \cong \boxed{20,12 \text{ kW}}$$

$$\therefore Pot_{g4} = 1.182 \times Pot_{g2} = 23,79 \text{ kW}$$

Para calcular a energia produzida anualmente, considerando-se uma estimativa bruta com erro de 20% [21], basta multiplicar os resultados obtidos para as potências médias por 24h e 365 dias, o que resulta em:

$$E_{anual\ 2} = 176,2 \pm 35,2 \text{ MWh/ano}$$

$$E_{anual\ 4} = 208,4 \pm 41,7 \text{ MWh/ano}$$

Cabe a observação de que não foi levado em conta o fator de capacidade¹ do projeto, ou seja, considerou-se uma máquina trabalhando durante o ano todo, sem parar, com uma mesma eficiência.

Em suma, o modelo ainda se encontra em fase de testes para definição precisa de sua geometria. A princípio, então, para elaboração de um documento de patente, como será visto no próximo capítulo, o flutuador não entrará na parte das reivindicações. Isto significa que, neste primeiro momento, ele pode ou não conter as parábolas externas.

3.3 Trabalhos Futuros

No momento, muito se estuda sobre todos os componentes da máquina, maneiras de instalá-la, tipos de PTO etc. Entretanto, a geometria do flutuador é algo que ainda intriga, uma vez que ela pode definir um ganho muito importante no que diz respeito à eficiência que este dispositivo pode alcançar.

Ainda em cima do modelo 1:40, a próxima bateria de testes inclui o efeito de correntes marinhas, simuladas dentro do mesmo tanque, para verificar se a eficiência do modelo com abas consegue superar aquela obtida com estes primeiros experimentos.

Outros muitos estudos estão sendo feitos dentro do campo de do design do corpo oscilante. Por exemplo, apesar de não existirem provas experimentais, acredita-se que as frentes de onda, ao se encontrarem com as abas superiores da pirâmide invertida, possam perder uma parcela de energia por meio da reflexão imposta pela geometria reta da aresta, como mostra a Figura 3.12.

¹ Fator de capacidade é a relação entre o que a máquina efetivamente produz em um período de tempo e a máxima capacidade de produção neste mesmo período.

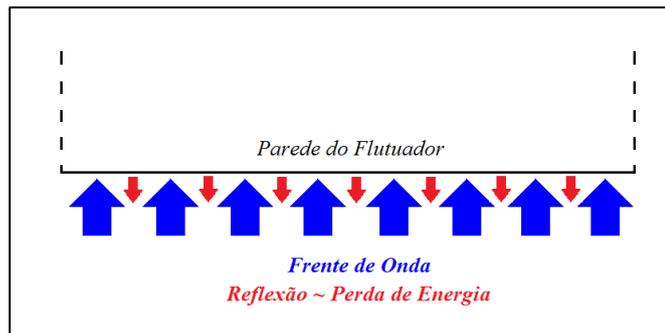


Figura 3.12: Perda de energia por reflexão das frentes de onda no protótipo 1:40.

Assim, aquela configuração inicial do modelo de testes 1:40 é posposta e os testes passam a ser feitos em um modelo 1:15 com uma nova geometria do Flutuador, que, apesar de ainda apresentar reflexão com a chegada da onda, o vetor principal de força é decomposto em forças perpendicular e paralela à nova aresta, conforme Figura 3.13.

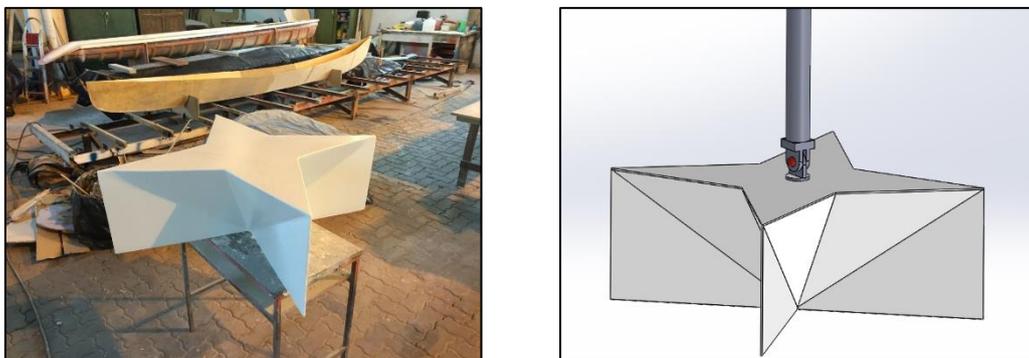


Figura 3.13: À esquerda, protótipo de 1:15 fabricado com compensado naval. À direita, projeto no Solidworks da nova geometria do modelo.

Capítulo 4

Proposição de um documento de patente

A conscientização em relação ao mundo deixado para as próximas gerações e a possibilidade de melhoria dos padrões de vida globais estão totalmente ligados ao conceito de sustentabilidade. A época do isolamento passou e, no mundo atual, o que acontece “lá fora” tem impacto “aqui dentro” [8].

Baseado neste conceito, as fontes alternativas de energia vieram com o intuito de mudar a maneira do mundo produzir energia elétrica. Muitas são elas e, a cada dia que passa, surgem mais formas de se obter essa energia. Isto é observado no crescimento do número de patentes relacionadas a estas fontes, em todo o planeta, a cada ano que passa, registradas pela WIPO (World Intellectual Property Organization).

Como observado na Figura 4.1, o número de patentes de invenção vinculadas a geração sustentável de energia, registradas até meados de 2005, chega a quase 80.000. Vale observar, também, que a parcela de patentes sobre energia azul – tema principal desta tese – ainda era, e continua sendo, muito pequena.

Technology		EP	WO	US	JP	KR	CN	Total
Solar energy	photovoltaic/cell	414	341	1,177	9,627	518	113	21,525
	photovoltaic/system	228	170	1,115	3,036	253	41	
	thermal/collector	275	264	542	1,218	251	218	
	thermal/heating	83	93	444	864	94	146	
Wind power		902	881	1,263	1,942	496	242	5,726
Bio energy	thermochemical	84	73	1,532	339	122	9	8,988
	biochemical	603	555	2,355	2,849	333	134	
Hydropower		424	403	665	3,546	614	340	5,992
Geothermal energy	systems	43	29	16	298	29	55	2,218
	ground-coupled heat pumps	203	132	288	993	52	80	
Wave and tidal power	tidal	64	98	195	416	250	42	2,753
	wave	173	240	345	704	112	114	
Hydrogen and fuel cells	hydrogen/production	239	186	364	1,257	207	55	17,009
	hydrogen/storage	187	77	208	1,187	266	92	
	fuel cell/PEMFC	637	668	1,496	3,381	566	122	
	fuel cell/SOFC	496	359	725	1,022	120	32	
	fuel cell/MCFC	119	52	159	604	83	6	
	fuel cell/others	131	150	357	1,235	150	14	
Carbon capture and storage		855	541	1,344	3,671	214	233	6,858
Waste-to-energy	RDF	329	196	482	2,436	275	71	6,744
	mass burn	213	124	254	2,218	98	48	
Total		77,813						

Figura 4.1: Relação entre número de patentes relacionadas à produção de energia por meio de fontes renováveis e países onde foram registradas [10].

A energia azul – que, ainda que haja outros tipos, aqui será dividida em energia das marés e energia das ondas –, ainda é uma fonte renovável muito recente. Apesar de seu enorme potencial, a maioria dos projetos ainda se encontra em fase de pesquisa. Historicamente falando, sem contar com a enorme influência da indústria do petróleo, durante um longo período, na exploração de apenas combustíveis fósseis, este atraso no desenvolvimento da energia dos oceanos acontece em grande parte pela falta de tecnologia relacionada a turbinas hidráulicas e geradores de maiores eficiências, o que inibiu por muito tempo o incentivo à criação de novas máquinas sob o argumento de que seriam caras e que gerariam pouca energia.

Entretanto, com novas descobertas no campo de turbinas e geradores, e com uma iminente nova crise do petróleo, sem contar a ascensão da consciência ecologicamente correta global, o mercado azul voltou a ganhar forças na década de 90 e os inventores da área passaram a ter maiores inspirações. Isto é mostrado pela Figura 4.2, que confere o número de entradas de pedidos de patentes relacionadas a energia dos oceanos, registradas

no período entre 1978 e 2004 pelos três maiores escritórios de patentes do mundo¹, e que também mostra uma superioridade numérica de patentes para energia das ondas quando comparadas às aquelas para energia das marés.

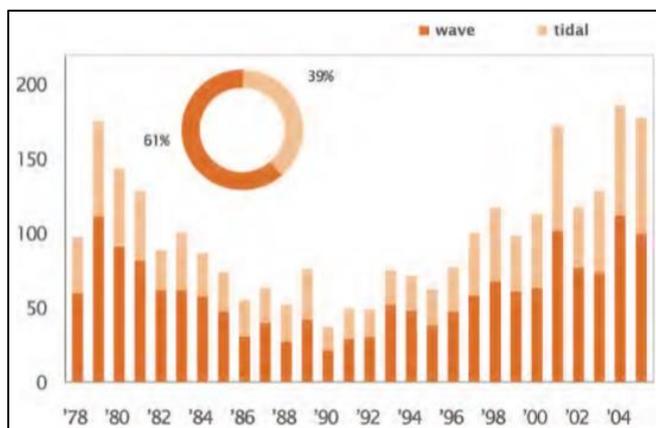


Figura 4.2: Entradas de pedidos de patentes para energia das ondas e das marés [10]

Um dos objetivos deste trabalho, além de mostrar a importância dos testes de laboratório para criação de um aparato conversor de energia de ondas do mar, é tentar acabar com a visão que muitos engenheiros possuem sobre a tarefa de criação de um pedido de patente estar ligada, geralmente, a um advogado especialista no assunto, ou até mesmo um despachante. Isto será feito definindo-se o documento de patente, ou seja, o que ele representa e como escrevê-lo, partindo-se do modelo de máquina de WEC do PPE, criada pelo professor Eliab Ricarte Beserra e sua equipe.

4.1 O documento de patente

No Brasil, todas as criações que impliquem em desenvolvimento que acarrete em solução de um problema ou avanço tecnológico em relação ao que já existe, e que possuam aplicação industrial, podem, a princípio, ser passíveis de proteção [2]. É importante,

¹ USPTO – United States Patent and Trademark Office, JPO – Japan Patent Office e EPO – Europe Patent Office, também conhecidos como Trilateral Cooperation Secretariat.

então, que a solução em forma de patente apresentada para um problema seja bastante concisa, de maneira que a questão seja exposta e que seu recurso proposto seja diferente de todos os outros em, pelo menos, algum aspecto. Sendo assim, no intuito de facilitar o pedido de entrada de patente e formalizá-lo, por conseguinte, o INPI apresenta ao inventor o manual para o depositante de patentes.

Neste manual, além da definição de muitos termos utilizados quando se trata de criação, há um passo a passo para elaboração de um documento de patente. É de suma importância que o depositante siga à risca o que é recomendado no manual, uma vez que este é uma referência para proteção de sua própria invenção.

De antemão, é necessário que o usuário saiba a natureza de sua patente, podendo esta ser de invenção ou de modelo de utilidade. As patentes de invenção são definidas como uma concepção resultante do exercício da capacidade de criação do homem que represente uma solução nova para um problema técnico existente dentro de um determinado campo tecnológico e que possa ser fabricada, podendo ser referentes a produtos e a atividades industriais. Elas conferem proteção às criações de caráter técnico, visando um efeito técnico peculiar [2].

Já uma patente de modelo de utilidade consiste em uma criação referente a um objeto de uso prático, ou parte deste, suscetível de aplicação industrial, que apresente nova forma ou disposição, envolvendo ato inventivo, que resulte em melhoria funcional no seu uso ou em sua fabricação. Este objeto deve ser tridimensional e suscetível de aplicação industrial [2].

É possível ter, também, criações de forma ou disposição enquadradas como Invenção, se houver um novo efeito técnico funcional do objeto. A diferenciação entre patente de invenção e patente de modelo de utilidade é imprescindível para quem deseja proteger sua criação. Para determinar a definição da natureza correta, é necessário avaliar se há um aperfeiçoamento de efeito ou funcionalidade, no caso de proteção como patente de modelo de utilidade, ou, para patente de invenção, um novo feito técnico-funcional. O inventor poderá identificar melhor a natureza da sua criação a partir do conhecimento prévio do estado da técnica, de modo a requerer devidamente a proteção [2].

Para toda patente candidata a depósito, deve haver uma descrição desta por meio de um conteúdo técnico. O pedido de patente deve conter: relatório descritivo (3.1.1),

reivindicações (3.1.2), desenhos (3.1.3) – caso haja – e resumo (3.1.4). Começar-se-á analisando o relatório descritivo frente ao projeto presente nesta tese, ou seja, a máquina geradora de energia por intermédio de energia das ondas, realizado no PPE.

Contudo, deve ser previamente definido o significado de *estado da técnica*. Constituído por tudo aquilo tornado acessível ao público antes da data de depósito do pedido de patente, por descrição escrita ou oral, por uso ou qualquer outro meio, no Brasil ou no exterior [2], o estado da técnica visa a descrição de tipos de produtos/processos similares ao retratado, citando suas principais deficiências. Vale ressaltar que, para este trabalho, foram pesquisadas mais de 140 patentes relacionadas à energia das ondas para fins de definição precisa de uma patente para a máquina de WEC inventada.

4.1.1 RELATÓRIO DESCRITIVO

O relatório descritivo deve ter suficiência descritiva, o que quer dizer que deve conter todos os detalhes que permitam um técnico da área reproduzir o objeto e deve indicar, quando for o caso, a melhor forma de execução¹. Ele deve apontar o problema existente no estado da técnica e a solução proposta, especificando o setor técnico a que se destina. Além disso, o relatório deve ressaltar nitidamente a novidade, o efeito técnico alcançado, no caso de invenção, e as vantagens em relação ao estado da técnica [2].

No caso do modelo do PPE, trata-se de uma patente de invenção. Com base nesta primeira definição, é possível iniciar o relatório descritivo. Todo relatório deste tipo deve ser iniciado com o título, que, por sua vez, deve definir, de forma concisa, clara e precisa, o escopo técnico da invenção. Um possível título para a patente em questão seria: “Sistema *nearshore* de geração de energia por meio da energia proveniente das ondas dos oceanos para instalação em superfícies planas”.

Feito isto, uma escolha apropriada para continuidade da concepção do relatório descritivo é a especificação da área do conhecimento em que a invenção pode ser incluída, que pode ser denominada campo técnico:

¹ Art. 24 da LPI

“A presente patente de invenção refere-se a um sistema de corpos oscilantes, em região de águas intermediárias, que converte ambas energias potencial e cinética das ondas dos oceanos em energia elétrica útil para uma rede central.

Após a definição do campo técnico, deve ser apresentado o estado da técnica, cuja função é listar as diversas patentes encontradas que estejam relacionadas com a proposta. O estado da técnica não precisa se restringir a patentes, podendo abordar classificações e tecnologias já utilizadas no campo técnico em questão. Assim, uma possível descrição do estado da técnica seria a seguinte:

“As ondas do mar se comportam de diferentes maneiras, dependendo da região em que se encontram. Elas carregam em seus orbitais, desde suas formações em região de águas profundas (*offshore*), um equilíbrio entre energia cinética e energia potencial. Contudo, ao se depararem com regiões de águas intermediárias ou rasas, a quantidade de energia cinética aumenta, frente à diminuição da energia potencial.

As tecnologias idealizadas para conversão de energia das ondas dos oceanos em energia elétrica são inúmeras. Existem, principalmente, tecnologias de corpos oscilantes (OBS), coluna de água oscilante (OWC) e Overtopping. As máquinas de conversão de energia das ondas (WEC) do tipo OBS funcionam por meio da oscilação linear, causada pela energia potencial da onda, de algum objeto – sendo este, geralmente, uma boia – que gera, por conseguinte, movimento alternado a algum sistema de potência definido pelo fabricante. Entretanto, grande parte dos dispositivos existentes nesta linha são pensados para águas profundas e levam em conta apenas a conversão da energia potencial da onda em energia elétrica.

Ohlsson (WO 2016/159854 A1), por exemplo, em seu modelo de corpo flutuante oscilante, não considera outras regiões, que não a *offshore*, para implementação de seu aparato. Entretanto, deve-se pensar que a instalação, manutenção e transmissão de energia elétrica para a rede em região *offshore* é mais difícil e, conseqüentemente, mais cara.

No intuito de se aproveitar, também, da energia cinética disponibilizada pelos oceanos, Reed E. Phillips e Elianne M. Gabbay (US 2016/0252071 A1) demonstram que é possível a contenção do impacto provocado pelas ondas na zona costeira não só por *seawalls* (paredões), que só têm por objetivo a dissipação de energia por perdas friccionais, mas também por meio da instalação de um dispositivo que converta o impulso energético em energia elétrica. Apesar da brilhante ideia, não ficam claras a forma de fixação do sistema, a estrutura para suportar as forças hidrodinâmicas e, mais importante, a geometria do objeto flutuante.

Tal desinteresse pela forma geométrica do oscilador se repete com Hongda (CN204212909U), que, ainda que tenha pensado em uma maneira alternativa para o deslizamento do corpo flutuante, não se ateu ao fato de que a diminuição da superfície de contato do mesmo, por meio da instalação de guias lineares passantes ao objeto, diminui o arrasto hidrodinâmico e, conseqüentemente, diminui a quantidade de energia gerada. ”

Definido isto, é importante comparar a matéria objeto de proteção com o estado da técnica, citando suas vantagens e o problema que vem a solucionar:

“A presente invenção tem por fim a implementação de uma máquina que opere em região de águas intermediárias (*nearshore*) com maior ou igual eficiência de uma que funcione em região de águas profundas (*offshore*). A principal vantagem apresentada por este projeto é a diminuição de custos no que diz respeito à instalação, manutenção e transmissão de energia elétrica para a rede do sistema em questão, uma vez que a região *nearshore* é bem mais próxima à costa do que a *offshore*. Além disto, o aparato também pode funcionar como um elemento importante para um possível processo de dessalinização de água marinha. Isto pode ser feito por meio da conversão de energia das ondas em energia de pressão fornecida ao fluido que, quando imposto contra uma membrana de osmose reversa, proporciona água sem sal. ”

Assim, pode-se iniciar a fase de descrição detalhada da invenção, numerando cada parte da máquina e apresentando minuciosamente o processo realizado por ela, tal como o movimento de cada um dos elementos e suas funções. Esta também, pode ser

considerada como a fase final do relatório descritivo. Vale lembrar que, como forma de maior proteção da invenção, não se pode definir exatamente tudo que se espera dos elementos patenteáveis, isto é, tipo de material, configuração etc., uma vez que isto dá margem para um outro inventor, que se interesse pela patente, a quebrá-la, solicitando outro tipo de material, configuração etc. Sendo assim, segue:

“O dispositivo é composto por 6 partes. Elas são representadas pelas figuras no Anexo A e descritas abaixo:

Parte (1): Torre, utilizada por função de estruturação e guia linear. Pode ter qualquer configuração de reforço que garanta a estabilidade da estrutura, principalmente se for treliçada. Pode ter qualquer dimensão, dependendo da parte (4), e ser feita de qualquer material que seja apropriado para estruturas submarinas. Sua altura é relativa à profundidade de instalação do aparato. O dispositivo deve garantir máxima eficiência possível. Sendo assim, quando acoplada a parte (4) à (1), por meio da parte (5), deve-se garantir baixas flexões – causadas pelos esforços gerados na estrutura a partir da força das ondas e de flambagem da parte (6), caso esta se encontre sustentada por (1) – em (1), de modo que seu papel como guia linear funcione em pleno estado.

Parte (2): Base, utilizada por função de fundação e transporte. Estrutura preferencialmente tubular, de modo que, com água marinha dentro de si, não haja flutuabilidade. Pode ser feita de qualquer material apropriado para estruturas marinhas. Os dutos podem ter qualquer dimensão, dependendo do peso total das partes (1), (3), (4), (5) e (6). Como função de fundação, a parte (2) deve garantir ancoragem do sistema, sempre baseado no princípio de obtenção da maior eficiência de conversão de energia. Como função de transporte, os dutos devem ter dimensões suficientes de tal forma que, quando retirada água marinha de dentro deles, o sistema inteiro possa flutuar e, assim, ser rebocado por uma embarcação de instalação. A parte (2) é soldada à parte (1).

Parte (3): Parábolas Externas, utilizadas por função estrutural e de aumento de energia fornecida ao sistema. Podem ter qualquer geometria, de acordo com o projeto. Podem ser feitas de qualquer material apropriado para estruturas marinhas. Estruturalmente, funcionam como nervuras, que garantem maior

estabilidade à parte (1). Também funcionam como concentradores de frente de onda – já que, ao se diminuir a área por onde a onda passa, aumenta-se a velocidade dela e, conseqüentemente, sua energia cinética –, no intuito de aumentar a eficiência da máquina. São soldadas entre as partes (1) e (2).

Parte (4): Flutuador, utilizado por função de elemento intermediário passivo de conversão de energia. Deve respeitar a geometria do desenho, podendo mudar, apenas, o número de vértices de acordo com projeto ou sítio de instalação. Pode ser feito de qualquer aço naval ou, preferencialmente, de HDPE (polietileno de alta densidade). Devido a sua geometria, a parte (4) consegue se aproveitar de ambas energias cinética e potencial da onda. Isto, somado a parcela de energia obtida por (3), possibilita a otimização do movimento oscilatório requerido pelo projeto. Assim, quando a frente de onda entra em contato com a parte (4), esta, que está livre para oscilar verticalmente na parte (1), por meio de (5), o faz. Além disso, (4) possui um eixo conectado à parte (6), onde, a partir do movimento alternado – força vertical da onda para cima, mais peso da parte (4) para baixo –, é convertida em energia elétrica a energia das ondas.

Parte (5): Sistema de deslizamento, utilizado por função de interface entre (1) e (4) e por restrição de movimento. Cada conjunto que forma a parte (5) deve ser composto por dois roletes, com ângulo entre si definido por projeto, fixados ou soldados nas partes superior e inferior de cada uma das abas da parte (4). Os roletes devem ser de material apropriado para bom funcionamento em água marinha e que proporcione o menor atrito possível com a parte (1), já que este é considerado fator de perda de energia. A parte (5) também garante o não escapamento de (4) da parte (1), sendo de suma importância para garantir movimento com apenas um grau de liberdade do complexo.

Parte (6): Casa de máquinas, utilizada por função de armazenamento do sistema de potência e do gerador e de transmissão de energia elétrica para a rede. Deve ser pensada como uma espécie de jaula para os equipamentos que guarda. Sendo assim, pode ser feita de qualquer material anticorrosivo e que não absorva água. Pode ter qualquer geometria que seja suficiente para caberem o sistema de potência e o gerador. Ao sofrer influência das ondas, a parte (4) movimentará seu eixo, em curso alternado, contra um sistema de potência, podendo este ser,

principalmente, hidráulico, mecânico ou um gerador linear direto (mais incomum). Desta maneira, o gerador, conectado ao sistema de potência, passa converter a energia de rotação resultante em energia elétrica.”

4.1.2 REIVINDICAÇÕES

A redação das reivindicações é da maior importância na elaboração de um pedido de patente. A extensão da proteção conferida pela patente é determinada pelo conteúdo das reivindicações, interpretado com base no relatório descritivo e nos desenhos, ou seja, as reivindicações definem e delimitam os direitos do autor do pedido¹ [2].

Desta maneira, as reivindicações devem ser fundamentadas no relatório descritivo, caracterizando as particularidades do pedido, e definindo de forma clara e precisa a matéria objeto da proteção, evitando expressões que acarretem em indefinições² [2].

As reivindicações devem, preferencialmente, ser iniciadas pelo título, ou parte deste, enumeradas consecutivamente, em algarismos arábicos, e, obrigatoriamente, conter uma única expressão "caracterizado por". Elas podem ser classificadas em dois tipos: as reivindicações independentes, que são aquelas que, mantida a unidade de invenção, visam a proteção de características técnicas essenciais e específicas da invenção, ou do modelo de utilidade, em seu conceito integral, podendo servir de base a uma ou mais reivindicações dependentes; e as reivindicações dependentes, que são aquelas que, mantidas a unidade de invenção, ou técnico-funcional e corporal, incluem características de reivindicações anteriores, e definem detalhamentos dessas características e/ou características adicionais, contendo uma indicação de dependência a essas reivindicações [2].

As reivindicações devem, quando necessário, conter, entre a sua parte inicial e a expressão "caracterizado por", um preâmbulo explicitando as características essenciais a definição da matéria reivindicada e já compreendidas pelo estado da técnica. No pedido de patente de invenção, após a expressão "caracterizado por" devem ser definidas as

¹ Art. 41 da LPI

² Art. 25 da LPI

características técnicas essenciais e particulares que, em combinação com os aspectos explicitados no preâmbulo, se deseja proteger. O quadro reivindicatório pode ser composto por mais de uma reivindicação independente, uma vez que, neste caso, as reivindicações podem ser enquadradas em uma ou várias categorias, como por exemplo: produto e processo; processo e aparelho etc. Elas devem estar ligadas pelo mesmo conceito inventivo e arranjadas da maneira mais prática possível, sendo admitidas mais de uma reivindicação independente da mesma categoria, caso tais reivindicações definam diferentes conjuntos de características alternativas e essenciais à realização da invenção [2].

As reivindicações independentes de categorias diferentes, em que uma das categorias seja especialmente adaptada à outra, serão, de preferência, formuladas de modo a evidenciar sua interligação, empregando-se, na parte inicial da reivindicação, expressões, como por exemplo: "Aparelho para realização do processo definido na reivindicação...", "Processo para a obtenção do produto definido na reivindicação..." [2].

Quanto a forma de escrever a reivindicação, deve-se ter em mente que, em primeiro lugar, as reivindicações não podem conter textos do tipo "como descrito no relatório descritivo" ou "como representado pelos desenhos", muito menos textos explicativos com relação ao funcionamento, vantagens ou uso do objeto. Além disso, no caso de o pedido conter desenhos, deve-se citar nas reivindicações os respectivos sinais de referência, entre parênteses, visando facilitar a compreensão do examinador do pedido. A reivindicação deve ser escrita de modo afirmativo, sem expressões do tipo "... caracterizado por não possuir ...", nem descrição de vantagens ou formas de utilizar. Por fim, cada reivindicação deverá ser em texto contínuo, isto é, utilizar somente (,) ou (;) no texto, terminando-se com o ponto final.

Sendo assim, as reivindicações do presente projeto podem ser elaboradas da seguinte forma:

"1) TORRE (1) caracterizada por uma estrutura tubular e treliçada, com qualquer geometria, com quantos tubos e treliças forem necessários, e feita de qualquer material apropriado para estruturas marinhas, que deve ser fixada ou soldada à uma base (2) e ter altura suficiente para que o flutuador (4), o qual a ela é acoplado, possa sofrer influência da energia potencial das ondas dos oceanos.

2) PARÁBOLAS EXTERNAS (3) caracterizadas por uma peça que possua uma grande área de contato, com qualquer geometria, feita de qualquer material apropriado para estruturas marinhas, soldadas ou fixadas à torre (1) e à base, e que não interfira no funcionamento do sistema de deslizamento (5).

3) SISTEMA DE DESLIZAMENTO (5) caracterizado por dois roletes dispostos no mesmo plano, com qualquer ângulo entre si, unidos por uma haste fixada no flutuador (4), onde estes roletes devem ser tangentes aos elementos estruturais verticais da torre (1). ”

4.1.3 DESENHOS

Os desenhos deverão ser apresentados com clareza, em traços firmes, uniformes, em tinta indelével e, serão tantos quantos forem necessários à perfeita compreensão do objeto da patente, sendo numerados consecutivamente. Cada parte, peça ou elemento do desenho deverá conter referências numéricas, as quais deverão ser descritas no relatório descritivo, bem como nas reivindicações [2]. Os desenhos referentes a esta patente se encontram no Anexo B deste trabalho.

4.1.4 RESUMO

O resumo tem como principal função tornar mais acessível a patente frente alguma consulta no Banco de Patentes. Nada mais é do que uma descrição prática do objeto do pedido de patente e deve englobar as características técnicas, a solução para o problema descrito e seus principais usos. Para escrevê-lo, deve-se iniciar pelo título, ressaltando de forma clara a matéria objeto de proteção, contendo entre 50 e 200 palavras, e no máximo 25 linhas de texto:

“SISTEMA *NEARSHORE* DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR MEIO DA ENERGIA PROVENIENTE DAS ONDAS DOS OCEANOS (PARA INSTALAÇÃO EM SUPERFÍCIES PLANAS), compreende um equipamento do tipo OBS (Oscillating Bodies System) que visa a conversão de ambas as energias potencial e cinética – devido à geometria do corpo oscilante (4)

– das ondas dos oceanos em outras formas de energia. Funcionam em região de águas intermediárias, diferentemente de outras máquinas existentes, já que, desta maneira, além de gerar energia de forma sustentável, há economia no que tange os custos de instalação e manutenção em comparação com a energia gerada nos projetos que funcionam *offshore*”.

Dessa maneira, conclui-se o documento de patente. Para que o inventor possa fazer o seu depósito, basta entrar no site do INPI e seguir as recomendações, principalmente no que diz respeito aos documentos necessários para dar sequência ao processo. Após dada a entrada, a patente passará por um processo de análise pelos técnicos do INPI, inclusive engenheiros, que definirão se ela poderá passar para a fase de cadastramento no sistema interno do órgão. É importante sustentar, também, que a vigência de uma patente de invenção tem duração de até 20 anos, caso não seja quebrada de alguma forma.

Capítulo 5

Conclusões

Em meio a tantas mudanças em relação aos pensamentos e atitudes das pessoas no mundo, torna-se cada vez mais forte o conceito de desenvolvimento sustentável e as barreiras que ele pode quebrar. Isto possibilita o incentivo a novas iniciativas que visam melhorar o planeta e a forma como se obtém o necessário para sobreviver, como água, comida e energia.

As fontes renováveis de energia surgem, em meio ao “caos” imposto pela indústria do petróleo, com a intenção de seguirem essa linha de desenvolvimento sustentável. A partir delas, o ímpeto pela invenção de novas tecnologias de geração de energia limpa, por parte de grandes mentes brilhantes mundo afora, cresceu agudamente, tendo em vista a possibilidade de fomentar um novo negócio com enorme potencial no mercado. Desta forma, é possível associar este entusiasmo para criação de novos engenhos, relacionados a obtenção de energia, a um aumento no número de pedidos de patentes na mesma área.

Uma forma de gerar energia limpa, mas, apesar de não tão nova assim, pouco explorada, é por meio da energia das ondas do mar. Muitas máquinas já foram desenvolvidas, principalmente depois do aumento nos estudos relacionados a esta forma de energia. Com a experiência adquirida, sabe-se que é imprescindível a realização de testes em laboratório com modelos em escala reduzida para que algumas mudanças possam ser realizadas na intenção de otimizar o projeto.

Neste trabalho, foram apresentados os experimentos realizados em ambiente controlado em cima do modelo em escala 1:40 de uma máquina do tipo ponto absorvedor proposta pelo professor Eliab Ricarte Beserra. Isto foi feito com o objetivo de entender a importância da implementação de um elemento à geometria do corpo oscilante, de modo

a tentar concluir se os refletores acoplados ao flutuador poderiam aumentar a eficiência do aparato.

Concluiu-se que o modelo sem abas obteve uma resposta melhor em 57 % dos testes, ou seja, um pouco melhor do que o modelo com abas. Entretanto, isto não permite afirmar que o flutuador sem abas é melhor que aquele que as contém, uma vez que outras faixas de frequência de onda podem ser mais favoráveis ao modelo com abas. Além disso, os dois devem ser testados com a influência da corrente marítima, que também pode ser simulada no tanque de ondas do LOC. Isto permite afirmar que, em um primeiro momento, a patente de invenção registrada não contará com o flutuador em suas reivindicações, o que não significa que ele ainda não possa ser caracterizado como elemento patenteável após outros testes, principalmente com modelos em escalas maiores.

As patentes são imprescindíveis para a fomentação de parte da economia de um país, uma vez que incentivam os criadores a continuarem seus trabalhos sem que terceiros copiem suas ideias. E isso não acaba no campo da economia, já que, com prosperidade econômica, há geração de empregos, melhoria na qualidade de vida da população em geral etc.

Contudo, nem todo engenheiro ou inventor tem conhecimento sobre o que de fato representam as patentes, e muito menos como elaborá-las. Com isso, também foi apresentada neste trabalho uma forma de auxiliar os próximos inventores e pensadores em suas futuras criações, descrevendo o passo a passo de como conceber um documento de patente para fins de proteção de ideias, tendo como base o projeto que se encontra em andamento no PPE/COPPE/UFRJ sobre conversão de energia das ondas do mar. Para isto, foram analisadas as regras do INPI para depósito de patente e registro no banco de dados do instituto, bem como maneiras de “cercar” ao máximo a ideia a ser patenteada, no intuito de prevenir uma possível quebra de patente.

Referências Bibliográficas

- [1] KATAOKA, Eduardo Takemi. **Declínio do Individualismo e Propriedade**. In: Problemas do direito Civil-Constitucional, 2000, p. 465.
- [2] DIRPA/INPI, Manual para o depositante de patente, 2015. Disponível em: <www.inpi.gov.br>.
- [3] Doravante da Lei n 9.729 de maio de 1996 §2.
- [4] PENTEADO, Thiago Domingues, **Conhecimento tradicional e o registro de patentes**. Bel. Direito das Relações Sociais, UFPR, Curitiba, 2007.
- [5] TACHINARDI, Maria Helena. **A guerra das patentes: o conflito Brasil x EUA propriedade intelectual**. São Paulo: Paz e Terra, 1993.
- [6] WANDSCHEER, Clarissa Bueno. **Patentes e Conhecimento Tradicional**. Curitiba: Juruá, 2004.
- [7] GAMA CERQUEIRA, João. **Tratado da propriedade industrial: Volume 1**. 2ª edição. São Paulo: Revista dos Tribunais, 1982. p. 188.
- [8] MAIA RANGEL, Rodolfo, **Propriedade industrial e o desenvolvimento nacional: um estudo sobre como o atraso na análise e concessão de pedidos de patentes, conhecido como “backlog”, influencia o desenvolvimento da indústria nacional**. Bel. Direito, ESG, Rio de Janeiro, 2012.
- [9] DIAMANDIS, Peter H., KOTLER, Steven. **Abundância – O futuro é melhor do que você imagina: 1ª edição, capítulo 1**. São Paulo: HSM Editora, 2012.
- [10] WIPO, **Patent-based Technology Analysis Report – Alternative Energy Technologies**, 2010. Disponível em: <www.wipo.int>.

- [11] IEA, **Medium-term renewable energy market report**, 2015. Disponível em: <www.iea.org>.
- [12] ENERDATA, **Global Energy Statistical Yearbook – Total energy consumption**, 2016. Disponível em: <www.enerdata.net>.
- [13] USPTO, **Wave Power Station**, Patent WO 2016/159854 A1.
- [14] FALCÃO, António F. O., “**Modelling of Wave Energy Conversion**”. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2014
- [15] MASUDA, Yoshio, “**Wave-activated generator**”. Int. Colloq Exposition Oceans, Bordeaux, France, 1971
- [16] SILVA, Daniel Gustavo Pontes, **Potencial de geração de energia por fontes renováveis para estações estratégicas e isoladas de sinalização náutica da Marinha do Brasil**. Tese de M.Sc, COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro, 2014.
- [17] FALNES, Johannes, **A review of wave-energy extraction**. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, 2007.
- [18] TRUJILLO, A. P., THURMAN, H. V., 2008, **Essential of Oceanography**, Ninth Edition, UK, Pearson Prentice hall.
- [19] RICARTE, Eliab, **Avaliação de sítios para o aproveitamento dos recursos energéticos das ondas do mar**. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.
- [20] AWS, **Nearshore vs. Offshore**, 2012. Disponível em: <www.aw-energy.com/wave-energy-resources/near-shore-vs-off-shore>.
- [21] FRIGAARD, Peter, KOFOED, Jens Peter. **Assessment of Wave Energy Devices. Best Practice as used in Denmark**. World Renewable Energy Congress, 2008.
- [22] MOTTA, Victor Freire. **Curso de Teoria da Semelhança**. URGs, 1972
- [23] SHENGN, Wanan, ALCORN, Raymond, LEWIS, Tony. **Physical modelling of wave energy converters**. University College Cork, Hydraulics & Maritime Research Centre, Cork, Ireland, 2014.

[24] Hughes, S.A., 1994. **Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering**. World Scientific, Singapore.

Anexo A

Montagem Geral

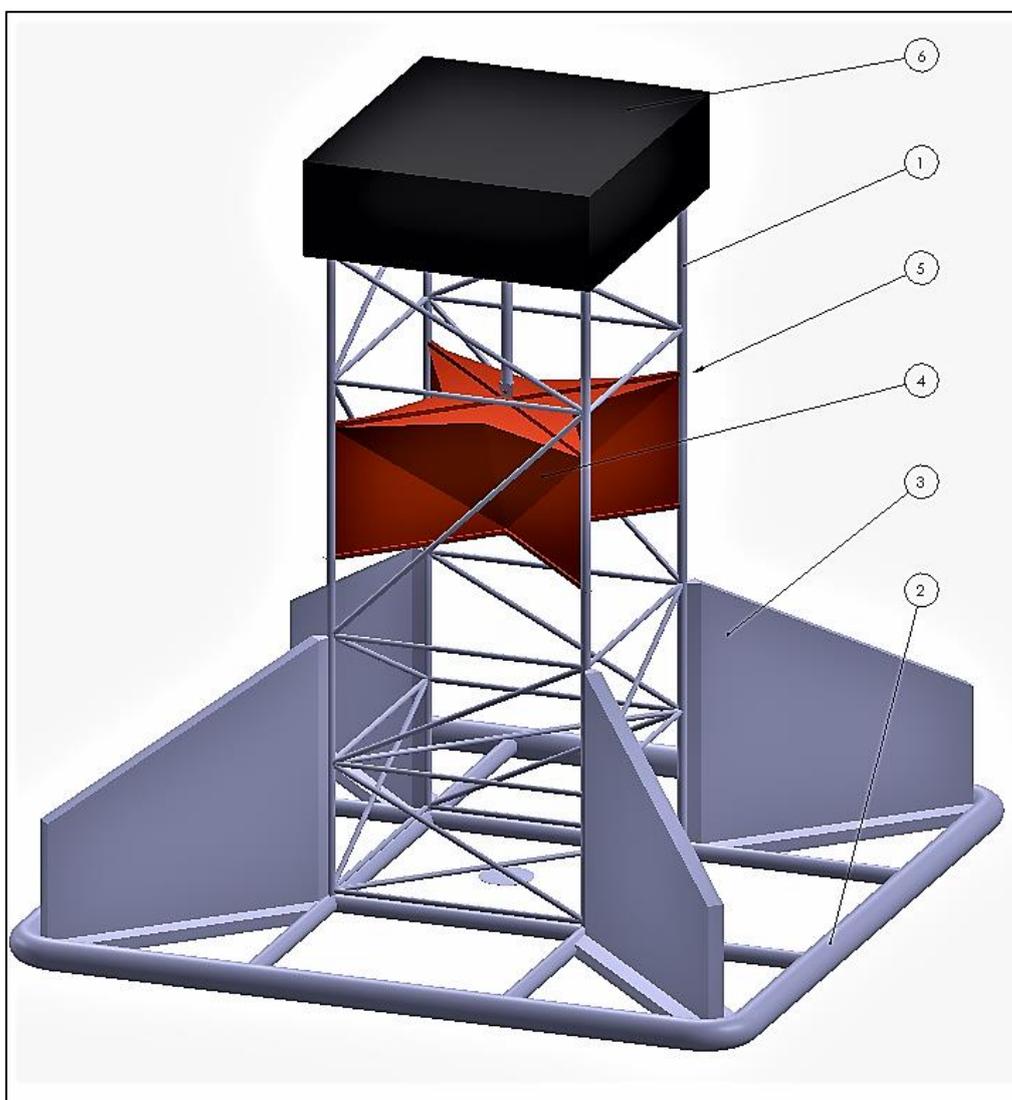


Figura A.1: Vista espacial do modelo a ser patentado.