



**UFOP**

Universidade Federal  
de Ouro Preto



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**Universidade Federal de Ouro Preto**  
**Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil**  
**Curso de Graduação em Engenharia Civil**

---



**Mônica Reis Pires Rodarte Oliveira**

**FONTES DE ENERGIA: Um estudo de caso da Usina de ondas de Pecém - CE**

**Ouro Preto - MG**  
**2016**

**Mônica Reis Pires Rodarte Oliveira**  
**monicarrodate@hotmail.com**

**FONTES DE ENERGIA: Um estudo de caso da Usina de ondas de Pecém - CE**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Engenharia Civil.

Área de concentração: Energias Renováveis

**Orientador:** Doutor Luiz Fernando Rispoli Alves

**Coorientador:** Mestre Henrique Nogueira Soares

**Ouro Preto - MG**  
**2016**

O482f      Oliveira, Mônica Reis Pires Rodarte.  
              Fontes de energia [manuscrito]: Um estudo de caso da Usina de ondas de  
              Pecém - CE / Mônica Reis Pires Rodarte Oliveira. - 2016.

              50f.: il.: color; grafs; tabs.

              Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Rispoli Alves.  
              Coorientador: Prof. Dr. Henrique Nogueira Soares.

              Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de  
              Minas. Departamento de Engenharia Civil.

              1. Recursos naturais renovaveis. 2. Energia -- Fontes alternativas. 3.  
              Energia renovável. 4. Energia dos mares - Ondas. I. Alves, Luiz Fernando  
              Rispoli. II. Soares, Henrique Nogueira. III. Universidade Federal de Ouro  
              Preto. IV. Título.

CDU: 624

**Mônica Reis Pires Rodarte Oliveira**

**FONTES DE ENERGIA: Um estudo de caso da Usina de ondas de Pecém - CE**

Monografia de conclusão de curso para obtenção do Grau de Engenharia Civil na Universidade Federal de Ouro Preto, defendida e aprovada em 04 de agosto de 2016, pela banca examinadora constituída pelos professores:



---

Prof. Doutor Luiz Fernando Rispoli Alves  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Orientador



---

Prof. Doutor Paulo Marcos De Barros Monteiro  
Universidade Federal de Ouro Preto



---

Prof. Doutor Geraldo Donizetti De Paula  
Universidade Federal de Ouro Preto

Dedico este trabalho a minha querida mãe, que não tem medido esforços para assegurar minha busca pelo conhecimento.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço especialmente aos meus pais, que sempre me incentivaram na busca pelo saber e me mostraram, com seus exemplos, que nunca é tarde para aprender.

A minha amada República Anonimato, que me acolheu com tanto amor e carinho, e tornou mais fácil todo esse tempo em Ouro Preto.

Ao Rildo, por me acompanhar e tornar mais fácil essa caminhada.

Aos professores do DECIV, pela transmissão do conhecimento, paciência e dedicação. Em especial ao professor Rispoli, que me incentivou fortemente neste trabalho e me fez acreditar que eu seria capaz.

Agradeço também ao coorientador Henrique Soares pela grande ajuda neste trabalho.

E por fim, a Escola de Minas/UFOP pelo ensino gratuito e de qualidade, e que tornou tudo isso possível.

*“Se enxerguei mais longe, foi porque me apoiei  
sobre os ombros de gigantes”.*

*Isaac Newton*

## RESUMO

A busca por novas fontes de energia tem se tornado uma temática cada vez mais recorrente na atualidade. O conceito de que a natureza não existe apenas para servir o homem tem se difundido constantemente com a filosofia conhecida por “ecologia profunda”, que reconhece a importância de cada ser vivo e não distingue os seres humanos da natureza. Esse reconhecimento representa uma nova consciência ambiental, com força para influir nas ações antrópicas. O fim próximo das principais reservas de energia fósseis, aliado ao crescente problema do aquecimento global, leva o governo dos maiores emissores de gás carbônico a repensar sobre a escolha das fontes de energia. A escolha por uma determinada fonte energética abrange vários aspectos, dentre os quais, foram explicitados neste trabalho, os aspectos sociais, ambientais e econômicos. Esse trabalho cita ainda as principais fontes renováveis e não renováveis e faz uma pequena análise da matriz energética brasileira. Também explica o funcionamento de um projeto piloto de usina de ondas, em Pecém-CE, analisa seus custos e a possibilidade de implantação na matriz energética brasileira.

Palavras Chave: Matriz energética, Fontes energéticas, Energia Limpa, Energia renovável, Energia das ondas.

## ABSTRACT

*The search for new sources of energy has become an increasingly recurrent subject nowadays. The concept that nature does not exist only to suit men's necessities is now being disseminated with the philosophy known as "deep ecology", which recognizes the importance of each living being and does not distinguish the human being from the rest of nature. This acknowledgement represents a new environmental consciousness, with strength to influence in the anthropic actions. The forthcoming ending of the main sources of fossil energies, along with the crescent problem of global heating, leads the governments of countries that are most contributing with carbon dioxide emissions to rethink their choices on energy sources. The choice for a certain energy source covers several aspects. This work tackles some of them, among which, social aspects, as well as environmental and economical. This work also mentions the main renewable and non-renewable energy sources and presents a small analysis of the Brazilian Energetic Matrix. It also explains the operation of a small project of a Wave Power Station, in Pecém – CE, and explains its costs and possibilities of its implementation in the Brazilian Energetic Matrix.*

*Keywords: Energetic Matrix, Energetic Sources, Clean Energy, Renewable Energy, Wave Energy.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Linha do tempo das mudanças climáticas. ....	14
Figura 1.2 - Gráfico do consumo total de energia per capita no ano de 2005, em países selecionados. ....	16
Figura 3.1 - Oferta Interna de Energia no Brasil – 2014(%). ....	20
Figura 3.2 - Oferta Interna de Energia Elétrica – 2014 (OIEE) ....	21
Figura 3.3 - Instalações de usina de gás natural. ....	24
Figura 3.4 - Processo de extração do carvão mineral ....	26
Figura 3.5 - Base de extração de petróleo ....	27
Figura 3.6 - Usina nuclear em funcionamento ....	28
Figura 3.7 - Placas de coletor solar ....	31
Figura 3.8 - Parque Eólico ....	33
Figura 3.9 - Usina Hidrelétrica de Itaipu. ....	34
Figura 3.10 - Diferentes fontes energéticas para obtenção de biomassa ....	36
Figura 3.11 - Fonte geotérmica. ....	37
Figura 3.12 - (A) Gerador de energia por correntes marítimas, (B) Usina de ondas de Pecém – CE, (C) Sistema maremotriz. ....	38
Figura 4.1 - Tanque Oceânico da COPPE. ....	42
Figura 4.2 - (A) Instalações no porto de Pecém. (B) esquema de funcionamento da usina de ondas. ....	43
Figura 4.3 - Consumo médio de uma residência por mês do ano 2000 a 2015 .....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Os programas de Governo e seus objetivos principais .....	21
Tabela 3.2 - Informações e principais resultados dos programas de Governo.....	22
Tabela 4.1 - Estimativa de custos e investimentos.....	44
Tabela 4.2 - Consumo de energia elétrica anual no Brasil em GWh.....	44

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1	Formulação do problema .....	12
1.2	Justificativa .....	13
1.3	Metodologia .....	18
1.4	Estrutura do trabalho.....	18
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>19</b>
2.1	Objetivo Geral .....	19
2.2	Objetivos Específicos.....	19
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>20</b>
3.1	A matriz energética brasileira.....	20
3.2	Fontes de energia .....	22
3.3	Fontes de energia não renováveis.....	23
3.3.1	Gás Natural .....	24
3.3.2	Carvão Mineral .....	25
3.3.3	Petrolífera .....	27
3.3.4	Nuclear .....	28
3.4	Principais fontes de energia renováveis.....	29
3.4.1	Energia Solar .....	30
3.4.2	Energia Eólica.....	32
3.4.3	Energia Hidráulica .....	34
3.4.4	Biomassa.....	35
3.4.5	Energia Geotérmica.....	37
3.4.6	Energia das ondas e das marés .....	38
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>41</b>
4.1	Usina de ondas .....	41
4.2	Funcionamento da usina de ondas de Pecém-CE .....	42
4.3	Custos.....	43
4.4	Ligação da usina de ondas com a matriz elétrica brasileira.....	44
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>47</b>
5.1	Conclusão .....	47
5.2	Sugestões para trabalhos futuros .....	47
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>49</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

A energia está presente em todos os setores da sociedade e em nossa vida – trabalho, economia, relações internacionais, ambiente, transporte, moradia e outros. A utilização dos recursos energéticos nos livrou de trabalhos árduos e tornou nossos esforços mais produtivos. O ser humano já dependeu da força muscular para gerar a energia essencial para a realização de seus trabalhos. Hoje, a força muscular não é mais utilizada com fonte de energia, correspondendo a menos de 1% do trabalho feito nos países industrializados.(HINRICHS e KLEINBACH, 2003).

Atualmente, as fontes fósseis atendem a maior parte da demanda mundial. Entretanto, além de causarem diversos problemas ambientais, também atingirão o limiar de sua extração. A crise do petróleo da década de setenta causou a conscientização da necessidade de se encontrarem fontes de energia consideradas inesgotáveis e não poluentes. Assim sendo, a exploração de novas fontes renováveis de energia é incontestável.

### **1.1 Formulação do problema**

Segundo (MOREIRA e GIOMETTI, 2008), o aquecimento global vem tendo grande foco no âmbito internacional de negociações, em consequência do despertar da atenção da comunidade internacional diante do aumento gradativo da temperatura média da superfície terrestre. A principal causa deste aumento é a intensificação do efeito estufa. O efeito estufa é um fenômeno natural que mantém a temperatura terrestre e possibilita a existência da vida neste planeta. A intensificação da temperatura terrestre pode levar a diversos eventos climáticos, cada vez mais preocupantes como secas cada vez mais intensas, extinção de algumas espécies de plantas e animais, como recorde da amplitude das ondas, alteração no suprimento de água doce, derretimento de geleiras polares, aumento do nível do mar, maior número de ciclones, tempestades cada vez mais destruidoras, enchentes, ressecamento dos solos, entre outros.

Foi na Conferência de Estocolmo, em 1972 que os problemas ambientais globais começaram a fazer parte da agenda internacional, porém a questão do aquecimento global só começou a adquirir uma maior importância com a realização da Primeira

Conferência Mundial sobre o Clima, em 1979, organizada pela Organização Meteorológica Mundial (em inglês, World Meteorological Organization (WMO)) das Nações Unidas. Os países que participavam chegaram à conclusão de que o desmatamento, a queima de combustíveis fósseis e as mudanças no uso do solo aumentaram a quantidade de dióxido de carbono na atmosfera em 15% durante os cem anos anteriores à esta conferência. Onze anos mais tarde, em 1990, elaborou-se o Primeiro Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (em inglês, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)). Com esse trabalho, constituiu-se o Comitê Negociador Internacional para uma Convenção sobre Mudança do Clima. (MOREIRA e GIOMETTI, 2008)

A modernidade distingue-se pela consciência de que a ação antrópica no planeta pode colocar sua própria existência em risco. A natureza passa a ser vista não mais como meio de produção, mas como elemento fundamental à vida. Esta linha de pensamento é chamada de “ecologia profunda”, uma filosofia que reconhece o valor intrínseco de todos os seres vivos e não separa os seres humanos da natureza. Tal reconhecimento não é um simples sentimentalismo de ativistas da causa ambiental, mas representa uma nova consciência da relação do ser humano com a natureza, ainda que não preponderante, mas com força para influir nas ações antrópicas (SIMONI, 2006).

Nesse quadro, um questionamento se torna inevitável: Como o estudo e desenvolvimento de novas tecnologias de geração de energia podem contribuir para o desenvolvimento do Brasil?

## **1.2 Justificativa**

As alterações instituídas na área energética, trazem inferências no âmbito ambiental, econômico e social. Com o objetivo de analisar estas inferências, avaliam-se, abaixo, aspectos relativos a estes três aspectos.

- Aspectos Ambientais

O sistema energético brasileiro não é um grande emissor de Gases de Efeito Estufa (GEE), pois a maior parte da energia elétrica produzida no país é proveniente de usinas hidrelétricas, cujas emissões são consideradas inexistentes. Além disso, o

acréscimo da energia gerada a partir dos empreendimentos de fonte renovável, possibilita reduzir o nível de emissão de GEE.

Na Convenção sobre Mudanças Climáticas (um dos resultados da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento) foram previstas metas de redução de emissões de GEE no Brasil entre 36,1% a 38,9% com base em projeções até 2020, como pode ser notado na Figura 1.1. As mudanças que vêm ocorrendo com referência à ampliação das energias renováveis na matriz energética tornam a mesma menos poluente, devendo ser acentuado nos próximos anos.

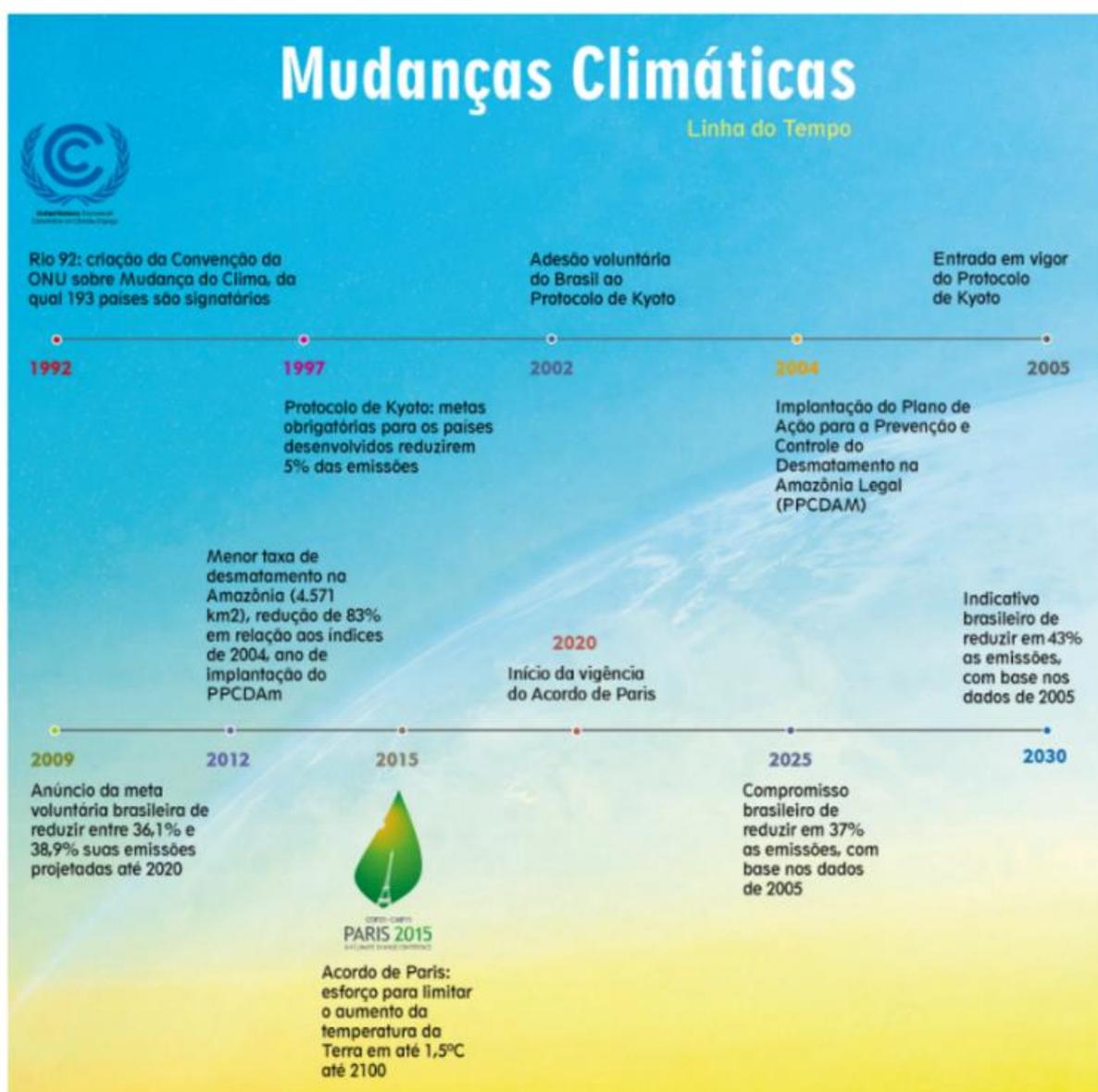


Figura 1.1 - Linha do tempo das mudanças climáticas.

Fonte: (AMBIENTE, MINISTÉRIO DO MEIO)

Os países que se destacam pela baixa emissão de dióxido de carbono per capita são as que manifestam baixos níveis de desenvolvimento e se revelam pouco industrializadas. Enquanto que aquelas notáveis em pior situação no ranking são algumas das maiores geradoras de petróleo, acompanhado de países ricos e industrializados

Esta conjuntura sugere que muito ainda precisa ser realizado a fim de restringir os níveis de emissão, já que a esfera energética tem um significativo papel neste processo e parece que o fortalecimento do uso das energias renováveis vem sendo considerada pelas instituições uma significativa alternativa para que se consiga atenuar a emissão de gases poluentes. (FREITAS e DATHEIN, 2013)

- Aspectos econômicos

As energias renováveis devem causar inferências de ordem econômica como a abertura de uma nova oferta de energia, a tecnologia que viabilizará esta nova energia, além do custo de produção destas novas atividades.

(FREITAS e DATHEIN, 2013) Identificam que o Brasil consumiu 1,8% da energia do mundo em 2005. O consumo do Brasil per capita equivale a apenas 63,2% da média mundial. Considera-se este padrão muito baixo, demonstrando o quanto ainda deve ser estendido o consumo no país para que se possam atingir melhores níveis

À medida que a utilização de energia comercial per capita aumenta para montantes superiores à 2,0 Toneladas Equivalentes de Petróleo (TEP)<sup>1</sup>, como acontece nos países desenvolvidos, as condições sociais prosperam consideravelmente. Em 2005 no Brasil, o consumo per capita de energia foi de 1,124 TEP. Assim, o mínimo imprescindível para o desenvolvimento já foi alcançado. Porém, o consumo é alto e concentrado nas classes sociais altas.

Pode-se comparar o consumo per capita de energia no Brasil em relação a alguns países selecionados observando-se a Figura 1.2.

---

<sup>1</sup> TEP – Tonelada Equivalente de Petróleo. É uma unidade de energia definida como o calor libertado na combustão de uma tonelada de petróleo cru, aproximadamente  $41,87 \times 10^9$  J (ANEEL, 2008)

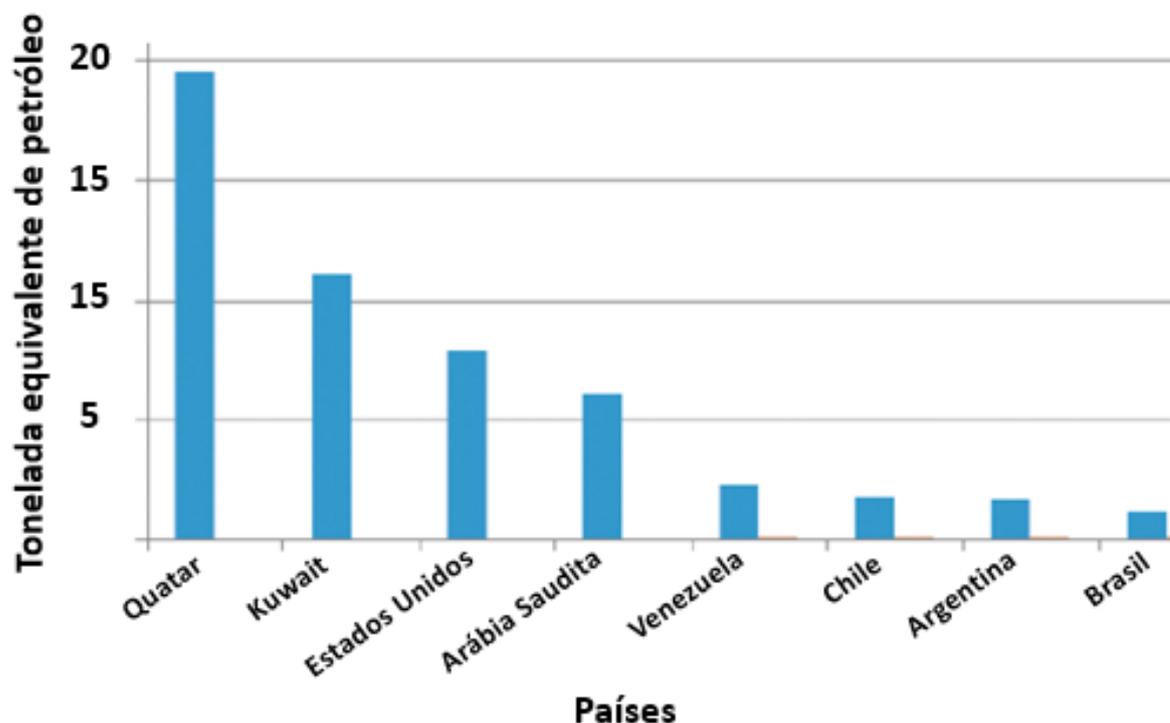


Figura 1.2 - Gráfico do consumo total de energia per capita no ano de 2005, em países selecionados.  
Fonte: (FREITAS e DATHEIN, 2013)

Observa-se pelo gráfico anterior que o consumo de energia per capita é superior nos grandes produtores de petróleo, como a Arábia Saudita, Qatar, Kuwait. Pode-se observar como o consumo per capita é pequeno no Brasil, encontrando-se abaixo de países da América Latina que não dispõem de realidades econômicas tão distintas à brasileira como a Venezuela, Chile e Argentina.

Desse modo, a introdução de um novo modelo energético, com destaque para as fontes renováveis, acarreta em uma estrutura de custos superiores, especialmente no início do processo, já que estarão inclusos todos os gastos de implantação do mesmo.

Em se tratando dos países industrializados (que são os maiores produtores de tecnologias para os variados setores da economia) a comercialização de tecnologias e serviços pode ser uma vantagem proporcionada pela evolução de tecnologias correspondente às fontes renováveis. Com a propensão mundial de crescimento da energia renovável, a geração de tecnologias para satisfazer este setor comparativamente novo promoverá muitos países como líderes no suprimento desse mercado.

Apesar do Brasil ter se tornado um modelo na geração de biocombustíveis com o desenvolvimento do etanol da cana-de-açúcar, sua evolução industrial ainda é principiante levando em conta as necessidades emergidas no século XXI. É de suma importância que o país gere condições para o desenvolvimento de inovações em energias renováveis, em razão da imprescindibilidade da transição para uma economia verde em nível mundial. Observando-se experiências internacionais prósperas, o Brasil necessita criar um fundo público para promover a pesquisa e desenvolvimento na área das energias renováveis (FREITAS e DATHEIN, 2013)

- Aspectos sociais

A energia é vista como constituinte do progresso e colabora para a extinção da pobreza crítica que é um dos maiores bloqueios ao desenvolvimento. Um dos planos produzidos pela OEA (Organização dos Estados Americanos), tem como propósito a incorporação de as áreas geográficas que são desprezadas pelo planejamento usual de energia e de desenvolvimento (como por exemplo as áreas distantes geograficamente e localizadas no meio rural), pois entende-se que estes indivíduos precisam ser servidos.

Os programas de governo brasileiro a datar de 2003 parecem dar ênfase a esta causa, buscando auxiliar na extinção da pobreza nas áreas rurais, semiurbanas e urbanas, possibilitando o acesso das populações mais pobres a energia, concedida de forma descentralizada, conforme os seguintes tópicos (FREITAS e DATHEIN, 2013):

- I. Pela expansão da quantidade de domicílios atendidos nas diferentes regiões do país;
- II. Pelo número de instituições nacionais que designaram como orientação de trabalho a elevação do maior ingresso da população à energia;
- III. Pela relevância dada pelo planejamento energético brasileiro à ampliação do acesso de energia às regiões mais deficientes;
- IV. Pela oportunidade de gerar energia a partir de fontes renováveis para acolher locais mais distantes geograficamente e que são difíceis de ser compreendidos pelo Sistema Interligado Nacional.

### **1.3 Metodologia**

Para elaboração deste trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre fontes energéticas por meio de artigos, livros, periódicos e sites relacionados ao tema. Foi analisada a matriz energética brasileira atual, o consumo e a produção de energia no país.

E por fim, foi feita a análise de um estudo de caso, um projeto piloto de uma usina de ondas no Ceará, expondo seus principais custos e aplicações na matriz energética do Brasil.

### **1.4 Estrutura do trabalho**

No capítulo 1, após uma breve introdução, foi levantada a formulação do problema, e os aspectos que abrangem a escolha de uma determinada fonte energética

No capítulo 2, estão os objetivos gerais e específicos deste trabalho.

Já no capítulo 3, foram apresentadas as principais fontes de energia não renováveis e renováveis, suas características, impactos, vantagens e desvantagens.

No capítulo 4, realizou-se o estudo de caso da usina de ondas de Pecém-CE. Foram citados os custos de implantação, manutenção, e sua possível ligação com a matriz energética brasileira.

E por fim, no capítulo 5, foi feita uma conclusão acerca da escolha das fontes energéticas e suas implicações.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral é realizar um estudo a respeito de energias renováveis dando ênfase a geração de energia a partir de ondas e marés e realizar um estudo de caso da Usina de Ondas de Pecém - CE.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos são:

- Fazer uma revisão bibliográfica sobre geração de energia e energias renováveis e não renováveis.
- Identificar os diversos impactos de sistema de conversão/geração de energia elétrica.
- Descrever as principais características de um sistema de geração de energia a partir das ondas,
- Identificar sua ligação com a matriz elétrica brasileira.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 A matriz energética brasileira

Observa-se na Figura 3.1 que a matriz energética brasileira é composta por 39% de fontes renováveis, enquanto que nos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE)<sup>2</sup>, em sua maioria países ricos, este índice é de apenas 10% segundo a Resenha Energética Brasileira (ENERGIA, 2014). A média mundial é de 14%. A matriz energética refere-se à todas as formas de energia geradas pelo país, incluindo a energia elétrica, combustíveis para transporte, entre outros. Já a matriz elétrica é composta pelas fontes de geração de energia elétrica utilizadas.

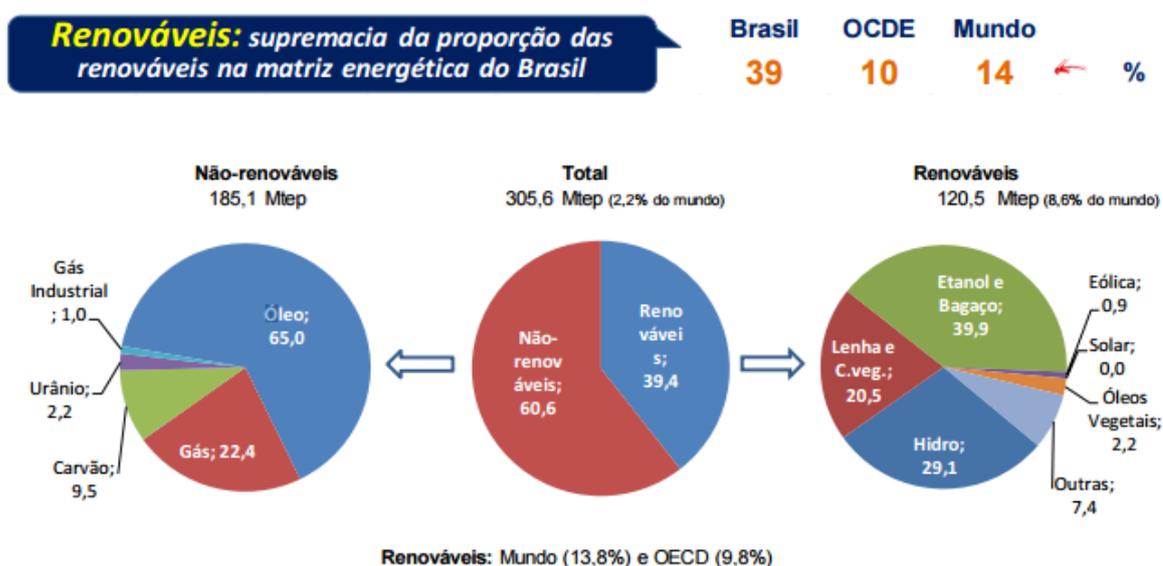


Figura 3.1 - Oferta Interna de Energia no Brasil – 2014(%).

Fonte: (ENERGIA, 2014)

Pode-se observar na Figura 3.2 a matriz elétrica brasileira, também segundo a Resenha Energética Brasileira (ENERGIA, 2014). Configura-se com 75% de energia renovável e 25% não renovável. A prevalência da geração hidráulica ficou menos

<sup>2</sup> A OCDE Teve origem em 1948 na França para ajudar a gerir o plano Marshall e reconstruir a Europa após a Segunda Guerra Mundial. Trata-se de uma organização internacional composta por 34 países que aceitam os princípios da democracia representativa e da economia de livre mercado, que busca solucionar problemas comuns e regularizar políticas domésticas e internacionais. Também é conhecida como "Grupo dos Ricos", pois 31 dos 34 países participantes produzem juntos mais da metade de toda a riqueza do mundo.

acentuada em 2014, ficando com 65,2% na estrutura da OIEE, integrando a importação de Itaipu, contra 70,6% verificados em 2013.

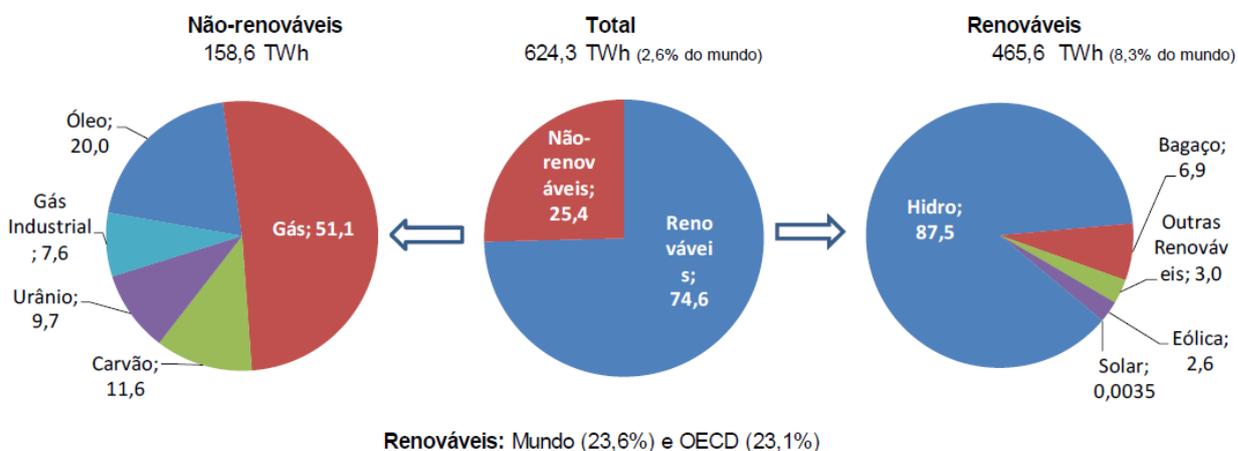


Figura 3.2 - Oferta Interna de Energia Elétrica – 2014 (OIEE)

Fonte: (ENERGIA, 2014)

O aumento das participações das energias renováveis na matriz energética brasileira é um objetivo claro desde a criação do Plano de Suprimento aos Requisitos de Energia Elétrica. Com isso, o governo se dispôs a liberar recursos para aprimorar a produção de energia a partir de fontes renováveis, além de criar programas que tem em vista encorajar o desenvolvimento de novas fontes energéticas. (FREITAS e DATHEIN, 2013).

Observa-se na Tabela 3.1 os principais programas implementados pelo Governo, o ano em que foram instituídos, bem como o principal objetivo que possuem:

Tabela 3.1 - Os programas de Governo e seus objetivos principais

Ano de criação	Programa	Objetivo principal
2002	PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica	Aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos que utilizem fontes eólicas, da biomassa e das pequenas centrais hidrelétricas (PCHs)
2003	Programa Luz para Todos	Fornecer energia elétrica a população que ainda não possui abastecimento
2005	Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel	Auxiliar na implementação da produção e uso do biodiesel

Fonte: (FREITAS e DATHEIN, 2013)

Os principais resultados desses programas podem ser verificados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Informações e principais resultados dos programas de Governo.

PROGRAMAS	OBJETIVO	EXECUTADO ATÉ 2010	CARACTERÍSTICAS DOS PROGRAMAS
PROINFA	3.299,40MW de capacidade instalada	3.324,40MW instaladas	Usinas financiadas: 144
LPT	Disponibilizar energia elétrica às residências não atendidas pelo Sistema Integrado Nacional (SIN)	Redução do número de residências sem acesso à energia de 3,35% em 2002 para 1,1% em 2009	Famílias atendidas: 570.829
Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel	Implementação, de forma sustentável, tanto técnica quanto economicamente, da produção e uso do biodiesel no Brasil	Produção e compra pela ANP de 575.000m <sup>3</sup> em novembro de 2009	Empresas ofertantes: 40

Fonte: (FREITAS e DATHEIN, 2013)

Com base nos programas expostos acima, pôde-se verificar o modo como as energias renováveis têm sido encorajadas e estão evoluindo no Brasil.

### 3.2 Fontes de energia

As atuais peculiaridades do setor energético desdobram-se de um processo histórico de motivações ao desenvolvimento de cada fonte de energia, considerando os interesses e as necessidades de abastecimento energético dos inúmeros setores da economia, como a utilização residencial, além da disponibilidade econômica e física dessas fontes e a predisposição tecnológica de seu aproveitamento (VIANA, TAVARES e LIMA, 2015).

O Brasil é afortunado por possuir um enorme território e demasiados recursos naturais, sendo possível aproveitar diversas fontes renováveis de energia. Ao analisarmos a história do país, é possível ver que esse aproveitamento ocorreu até a metade do século XX, momento em que houve um crescimento rápido do uso do petróleo, porém também da energia hidráulica. Vale ressaltar que, cada qual contribuía com apenas 5% da carência energética do país no início da Segunda Guerra Mundial, sendo que a lenha e o carvão vegetal (recursos renováveis) respondiam por 80% da necessidade energética. O aproveitamento dessas duas fontes foi feito de forma desenfreada sem o estabelecimento de medidas atenuantes ou compensatórias, o que gerou grandes impactos sobre a flora e a fauna, em especial no bioma Mata Atlântica (VIANA, TAVARES e LIMA, 2015).

No início do século XXI, com o chegada da conscientização acerca do aquecimento global e com a resultante necessidade de atenuação das emissões de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e de outros GEE –, a tendência é que, simultaneamente à exploração das proeminentes reservas de petróleo existentes no pré-sal, o modelo das fontes renováveis venha a se fortalecer, com a ampliação concomitante das energias eólica e solar e da produção e consumo de biodiesel e etanol (VIANA, TAVARES e LIMA, 2015).

### **3.3 Fontes de energia não renováveis**

Um dos grandes saltos da civilização aconteceu quando a sociedade começou a utilizar os combustíveis fósseis (em especial o petróleo e o carvão mineral) como fontes energéticas na agricultura, iluminação elétrica, indústria, transporte e demais atividades humanas, incluindo saúde, educação e lazer. Em parte, foi graças a esses combustíveis fósseis que a população mundial se multiplicou de um bilhão de habitantes em 1800 para sete bilhões em 2011, enquanto que a economia mundial aumentou noventa vezes no mesmo período. Sem energia abundante e barata, não existiria um modo de gerar empregos, produzir bens de consumo e alimentar tamanha população (VIANA, TAVARES e LIMA, 2015).

Pesquisas indicam que o auge da produção e consumo de petróleo e carvão mineral serão atingidos no mundo todo em apenas duas ou três décadas, ao mesmo tempo que o pico do gás (particularmente o do xisto) suportará ainda mais cinquenta ou cem anos. Isso revela que está chegando ao fim a era do petróleo e carvão abundantes e baratos. O custo desses combustíveis tende a encarecer nas próximas décadas, a medida que a sua produção ficar mais onerosa. No momento em que o pico do gás for atingido, será o fim da era dos combustíveis fósseis (VIANA, TAVARES e LIMA, 2015).

Desta forma, apesar da relevância que essas fontes de energia não renováveis tiveram, continuam tendo e de fato ainda terão por mais alguns anos, na evolução da sociedade moderna, novas fontes as sucederão em breve. O emprego de fontes não renováveis para diversos fins, que asseguram sua utilização ainda significativa na matriz energética do país, provém da flexibilidade de seu aproveitamento, de acordo

com as características, danos e perspectivas de utilização de cada fonte específica, resumidos adiante. (VIANA, TAVARES e LIMA, 2015)

### 3.3.1 Gás Natural

A característica primordial do gás natural é a flexibilidade, uma vez que este pode ser aproveitado na geração de energia elétrica, na produção de chamas (substituindo GLP - gás liquefeito de petróleo), em máquinas de combustão do setor de transportes. Desse modo, seu aproveitamento é admissível em vários setores da economia: comércio, indústria, serviços e residências. Em seu estado natural, não tem cheiro e é mais leve que o ar. Por isso, deve ser adicionado um aroma para que acidentais casos de vazamento sejam detectados. É um gás resultante da transformação da matéria orgânica no decorrer de milhões de anos. A descoberta do gás natural é associada a do petróleo pois em suas primeiras fases de decomposição, esta matéria orgânica produz o petróleo e em seus últimos estágios de degradação, o gás natural. Observa-se na Figura 3.3 as instalações de uma usina de gás natural. (ANEEL, 2008)



Figura 3.3 - Instalações de usina de gás natural.

Fonte: (O PAÍS, 2014)

No final de 2007 as reservas de gás natural eram suficientes para o suprimento da necessidade mundial pelos próximos 60 anos. Porém, essa projeção depende de inúmeras variáveis, dentre elas, a conduta do consumo, a assiduidade das atividades exploratórias e a ampliação das fontes renováveis de energia, o que resguarda o uso dos combustíveis fósseis (ANEEL, 2008).

No Brasil a maior parte das reservas localiza-se no mar e sobretudo no litoral do Rio de Janeiro e Espírito Santo. Em 2007, as reservas nacionais eram satisfatórias para suprir as necessidades do país pelos próximos 32 anos. As maiores reservas encontram-se principalmente na Bacia de Santos, no Espírito Santo, e na Bacia de Campos. O país também possui notáveis reservas no estado do Amazonas (ANEEL, 2008).

O impacto ambiental da atividade está ligado ao processo utilizado na produção de energia elétrica e retirada pós-combustão, à constituição do gás natural e às circunstâncias de dissipação dos poluentes, como o relevo, a altura da chaminé e meteorologia. Entretanto, existe a necessidade de captação de água para o arrefecimento do vapor, o que tem sido um dos empecilhos ao licenciamento ambiental. Os poluentes atmosféricos lançados pelas usinas termelétricas a gás natural predominantes são o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e, em menor quantidade o monóxido de carbono e em menor quantidade o metano (ANEEL, 2008).

Na produção do gás natural, existem também consequências socioambientais positivas como a disponibilização local de empregos, a geração de royalties para o poder municipal em que as usinas estão situadas e o desenvolvimento do comércio e serviços na fase de construção da usina e exploração e produção do gás natural. Além do que, as termelétricas não exigem um terreno específico e podem ser construídas nas redondezas de centros de consumo. Isto descarta a precisão de amplas linhas de transmissão para transporte da energia gerada às instalações de distribuição (ANEEL, 2008).

### **3.3.2 Carvão Mineral**

No Brasil, o carvão mineral advém da região sul, e seu uso primordial é na geração elétrica e na indústria siderúrgica. O carvão brasileiro é classificado de má qualidade, por possuir alto teor de cinzas e baixo conteúdo de carbono. Além disso, a extração desse minério na região Sul do país gera impactos ambientais expressivos. A drenagem ácida da mina torna o pH das águas locais baixo, com valores próximos a dois, integralmente nocivo ao ecossistema, sendo difícil e onerosa a recuperação das áreas degradadas. É a fonte de energia que mais gera GEE, sendo plausível que a

continuidade da extração desse mineral no Brasil se torne cada vez mais improvável, devido aos compromissos internacionais de diminuição dessas emissões adotados pelo país. Na Figura 3.4, é possível ver pilhas de carvão durante o processo de extração. (VIANA, TAVARES e LIMA, 2015).



Figura 3.4 - Processo de extração do carvão mineral

Fonte: (AGÊNCIA AL, 2013)

A produção de energia elétrica a partir do carvão mineral nacional recebe subsídios de até 100% para a obtenção do combustível. Em 2011, uma auditoria do TCU evidenciou que o subsídio para a geração de energia elétrica com carvão mineral está bem acima dos padrões internacionais. De acordo com a Agência Internacional de Energia (AIE), em 2011, os governos consumiram US\$ 531 bilhões em subsídios para os combustíveis fósseis e apenas US\$ 88 bilhões em fontes renováveis. Uma conclusão a que se pode chegar é que, por arrecadarem uma ajuda cerca de seis vezes maior, petróleo, carvão e gás são favorecidos na competição com as energias eólica, solar e a biomassa, sendo um argumento inválido defendido por muitos, inclusive por autoridades brasileiras, de que as energias usuais são muito mais baratas do que as alternativas (VIANA, TAVARES e LIMA, 2015).

Avaliação recente da AIE aponta que em 2020 o carvão mineral se aproximará do petróleo como predominante fonte de energia mundial, e poderá ultrapassá-lo em 2025, devido ao desenvolvimento de mercados em crescimento como a Índia e a China. Em 2011, a China, que vem implantando usinas elétricas de carvão em larga escala, foi responsável por quase metade do consumo mundial dessa fonte. É

imaginável que a excessiva queima de carvão por aquele país, entre outros aspectos, seja um dos fundamentais responsáveis pelos danosos episódios de contaminação atmosférica ali averiguados no início de 2013 (VIANA, TAVARES e LIMA, 2015).

### 3.3.3 Petrolífera

O petróleo tem sua formação na decomposição da matéria orgânica, comumente de origem marinha, que é transformada em petróleo durante milhões de anos, sob altas temperaturas e pressões. O petróleo (e o gás natural) constituído sob estas circunstâncias pode migrar pelo meio das rochas próximas, originando reservatórios a partir dos quais ele pode ser extraído (HINRICHS e KLEINBACH, 2003).



Figura 3.5 - Base de extração de petróleo

Fonte: (VORTEX MAX, 2015)

A perfuração em alto mar é cerca de dez vezes mais cara do que a perfuração em terras continentais. Na Figura 3.5, observa-se o processo de extração do petróleo no continente. Plataformas de perfuração conseguem operar em águas com mais de dois quilômetros de profundidade. O petróleo cru e o gás natural são transportados à terra através de oleodutos (HINRICHS e KLEINBACH, 2003).

Os impactos ambientais da indústria petrolífera são diversos, sendo os mais afamados aqueles ligados aos vazamentos de óleo no mar, que acarretam na contaminação e degradação ambiental desses locais. Contudo, existem ainda outros impactos

ambientais, como: interposição com corais, mangues e áreas de pesca; interferência com a trajetória de migração devido ao período reprodutivo dos cetáceos, sirênios e quelônios; degeneração da qualidade da água e contaminação de sedimentos marítimos (VIANA, TAVARES e LIMA, 2015).

### 3.3.4 Nuclear

O minério de urânio é a matéria-prima para a geração da energia nuclear. Este minério é encontrado nas rochas da crosta terrestre, do qual é tirado o átomo de urânio aproveitado na geração nuclear. Projeções da AIEA mostram que os depósitos de urânio consequentes da conversão de armas atômicas devem cessar entre 2020 e 2030, o que poderá resultar em subida dos preços. Na Figura 3.6 abaixo, temos uma usina nuclear em operação. (ANEEL, 2008).



Figura 3.6 - Usina nuclear em funcionamento

Fonte: (MANUAL DO MUNDO, 2014)

No Brasil, apenas a INB (Indústrias Nucleares Brasileiras) é liberada pelo Governo a retirar e processar o urânio e outros minerais radioativos. Apenas 25% do território brasileiro foi analisado a procura do minério. Mesmo assim, as reservas brasileiras correspondem a aproximadamente 6% do volume total mundial e o Brasil ocupa o 7º lugar do ranking em reservas conhecidas. As jazidas estão situadas notadamente na Bahia, Paraná, Ceará e Minas Gerais. A primordial delas, em Caetité na Bahia, dispõe

de 100 mil toneladas do minério, volume satisfatório para suprir por 100 anos o complexo nuclear de Angra I, II e III (ANEEL, 2008).

Dentre as formas de geração de eletricidade, a usina nuclear é uma das menos invasivas ao meio ambiente. Mesmo assim, a eventualidade de a usina causar grande impacto socioambiental é um dos fatores mais complicados e controversos de sua construção e operação, uma vez que, todo o processo de produção do urânio, desde a extração até à alocação dos dejetos, é permeado pela radioatividade (ANEEL, 2008).

Durante a extração e processamento do minério, os níveis de radioatividade são constantemente supervisionar e controlados, de modo a não exceder os limites previstos pelos órgãos reguladores. Porém, ainda não se encontrou uma solução decisiva para os dejetos radioativos que, juntamente com o risco de incidentes nas usinas, consistem nos elementos mais arriscados do processo de geração da energia nuclear (ANEEL, 2008).

### **3.4 Principais fontes de energia renováveis**

O uso de fontes renováveis no Brasil esteve relacionado a programas de eletrificação rural em comunidades isoladas, em que as distâncias geográficas impossibilitavam a expansão da rede interligada. Pode-se citar como exemplo o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (Prodeem), elaborado em 1994, com o intuito de acolher às localidades isoladas, não abastecidas pela rede convencional, empregando para isso especialmente a energia fotovoltaica. Outras políticas e ações para o crescimento das fontes renováveis alternativas no Brasil são o Programa Luz para Todos, o Proinfa (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica) e a realização de leilões recorrentes de energia. Todavia ainda há uma ampla necessidade de desenvolver seu enorme potencial, sem que uma fonte cresça em detrimento de outra (VIANA, TAVARES e LIMA, 2015).

Aprovado em 2004, o Proinfa teve como dominante objetivo majorar a participação da energia elétrica gerada por fontes eólicas, pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e biomassa. O programa assegurou o acesso da eletricidade renovável à rede e o pagamento para o gerador do preço fixo distinto da energia produzida, além de

fornecer estímulos às fontes alternativas. Também adotou princípios do sistema de cotas, bem como o leilão de fontes alternativas estabelecendo cotas de potência estipulada para cada tecnologia, além de subsídios em linhas especiais de crédito do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) (VIANA, TAVARES e LIMA, 2015).

O processo de leilões, desde 2007, tem sido executado para energias renováveis. No início, os frutos desse sistema não mostraram números significativos em relação à capacidade instalada do sistema elétrico nacional, mas a partir de 2009, quando aconteceu o primeiro leilão específico de energia eólica, que os resultados começaram a ser satisfatórios. Em 2010, as fontes renováveis iniciaram a competir mutuamente em leilões e, foi somente em 2011, que as termelétricas a gás natural também foram inclusas nesses projetos concorrentes (VIANA, TAVARES e LIMA, 2015).

No caso da energia eólica, o Nordeste brasileiro vem se destacando com relação ao resto do país, enquanto que a utilização da biomassa acontece, principalmente, com a cana de açúcar, possibilitada pelo Programa Nacional do Álcool (Proálcool). Ainda assim, essas fontes alternativas ainda padecem da concorrência da tradição do aproveitamento hidráulico, predominante entre as energias não fósseis. Compreende-se que, ao longo dessas últimas décadas, o investimento efetivado pelo Brasil no progresso de energias renováveis, vem colocando-o em uma posição de proeminência no panorama mundial (VIANA, TAVARES e LIMA, 2015).

As fontes de energia renovável englobam o sol, potencial hidráulico, a biomassa, o vento, a energia oceânica e a geotérmica, porém essas duas últimas ainda não evidenciam viabilidade econômica no Brasil. Essas fontes oferecem mais vantagens do que desvantagens para o meio ambiente, tendo dois predicados comuns: a geração de pouco GEE e a utilização de fontes naturais potencialmente inesgotáveis, conforme mostrado a seguir. (VIANA, TAVARES e LIMA, 2015)

### **3.4.1 Energia Solar**

Existem três formas de aproveitamento da energia solar. A primeira delas é a energia solar passiva, que constitui o uso direto, ligado a utilização doméstica, como

aquecimento de piscinas, caixas d'água e luminosidade. E a energia solar ativa, que pode ser térmica ou fotovoltaica. No caso da térmica, de forma direta o sol aquece a água, acarretando em vapor que movimentará os geradores. E a fotovoltaica, em que se produz eletricidade a partir de placas coletoras, que pode ser armazenada em baterias ou utilizada diretamente. É possível ver na Figura 3.7 coletores de energia solar (SIMONI, 2006).



Figura 3.7 - Placas de coletor solar

Fonte: (QUANTUM FORÇA E TECNOLOGIA)

A energia solar é destacada como uma forma de energia favorável, mas seus gastos ainda são altos. Estes custos se referem fundamentalmente aos custos de instalação, compreendendo a compra de equipamentos. Em contrapartida, não há custo com o combustível, que é a energia proveniente do sol, inesgotável, de forma que somente o investimento inicial é mais dispendioso (SIMONI, 2006).

Uma desvantagem dessa forma de geração de energia, é a produção interrompida de energia, que varia durante o dia, sendo baixa no início e no final do dia e tendo seu pico nos horários em que o sol está a pino. A quantidade de dias nublados ou chuvosos, a estação do ano ou mesmo a presença de fumaça de queimadas, ocasiona em uma variação da produção de energia. Isto quer dizer que, por não produzir energia durante a noite, não seria possível gerar toda a energia essencial de uma região, a menos que se desenvolvessem acumuladores eficazes. Outra desvantagem é com relação a geração fotovoltaica, quando armazenada em baterias, pode ocasionar alguns impactos pois as baterias são perigosas para o meio ambiente

devido ao processo de fabricação que utiliza materiais tóxicos como arsênico e cádmio; além do que, há a dificuldade de saber o que fazer com as baterias com vida útil vencida, como acontece hoje em dia com as baterias de automóveis ou de telefones celulares. A produção em larga escala destas baterias poderia ocasionar em acúmulo de material tóxico, com profundos riscos ambientais e à saúde. Outra desvantagem é que a maioria dos equipamentos não é fabricado no Brasil, devendo ser quase todos importados (SIMONI, 2006).

Para diminuir suas desvantagens, é habitual a criação de projetos mistos, como por exemplo energia solar e a gás ou energia solar e eólica, etc. Em vários países existem planos de expansão do uso de energia solar térmica, como na Austrália, Egito, Espanha, Marrocos, Irã, África do Sul, Índia, Israel e outros. Parte dos projetos são mistos, sobretudo, com o emprego de gás natural e energia solar (SIMONI, 2006).

### **3.4.2 Energia Eólica**

A utilização eólica para geração de energia mecânica ou eletricidade é alcançada por meio da captura da energia cinética existente no vento, que é decorrente da locomoção das massas de ar em virtude da disparidade das camadas de temperatura presentes na atmosfera e da irregularidade da superfície terrestre. Os inúmeros níveis de pressão que ocorrem nas mais variadas regiões do planeta resultam também das alterações de temperaturas nestas regiões. Devido à diferença de pressão, o ar emana das regiões de altas pressões para as de baixas (SILVA, 2006).

A energia eólica é um bom exemplo de fonte renovável, que não lança GEE e pode ser instalada em locais ermos e com vento abundante, como acontece em vários locais da costa brasileira e em serras montanhosas. Entretanto, é um sistema intermitente, quando não há vento não se gera energia, o que acarreta na inevitabilidade de suplementação por outras fontes de energia. Outra vantagem do uso dessa fonte no cenário brasileiro é sua utilização complementar em relação às hidrelétricas, uma vez que na época das secas, quando acontecem os menores aproveitamentos hidráulicos, os ventos sopram com maior magnitude (VIANA, TAVARES e LIMA, 2015).

Uma análise acurada de alguns parâmetros permite dizer se há viabilidade econômica e as principais características técnicas dessa forma de obtenção de energia. Um notável limitador do aproveitamento da energia dos ventos é a presença ou não de um bom potencial eólico. A potência produzida em uma turbina eólica se altera com o cubo da velocidade de vento, isto é, qualquer variação por menor que seja na previsão da velocidade dos ventos pode prejudicar um projeto de energia eólica. Assim sendo, é de suma importância a qualidade e também a análise dos dados acerca da velocidade do vento (SILVA, 2006).

Vale ressaltar que o Brasil possui um dos maiores potenciais de exploração eólica do mundo, além da boa qualidade dos ventos no que se refere a regularidade de sua direção e nível de velocidade. Porém essa forma de obtenção de energia é ainda pouco expressiva no país. Os programas de beneficiamento à expansão da atuação da tecnologia eólio-elétrica dentre as fontes alternativas de abastecimento elétrico no país podem colaborar significativamente para a transformação deste cenário (SILVA, 2006).



Figura 3.8 - Parque Eólico

Fonte: (COLÉGIO WEB, 2014)

Embora existam inúmeras vantagens, até mesmo fontes renováveis como a energia eólica não estão livres de impactos negativos, sendo questionável, o impacto visual causado na paisagem local, que pode ser observado na

, a poluição sonora devido ao movimento das hélices, as interferências na rota de migração de alguns pássaros, além de possíveis conflitos resultantes da privatização de áreas de plantio, criação de animais e pesca para a locação dos parques eólicos (VIANA, TAVARES e LIMA, 2015).

### 3.4.3 Energia Hidráulica

A energia hidrelétrica é produzida pelo aproveitamento hidráulico de um rio, que pode acontecer em uma usina hidrelétrica (UHE) (quando a capacidade instalada é superior a 30 MW) ou em uma pequena central hidrelétrica (PCH) (quando a capacidade fica abaixo desse valor). A energia hidrelétrica é utilizada no Brasil desde o final do século XIX, mas nas décadas de 60 e 70 que se iniciou a fase de construção das UHE, todavia as PCH difundiram-se apenas nas duas últimas décadas, para tentar amenizar os significativos impactos socioambientais fruto dos grandes reservatórios das UHE. Observa-se na Figura 3.9 a Usina de Itaipu (VIANA, TAVARES e LIMA, 2015).



Figura 3.9 - Usina Hidrelétrica de Itaipu.

Fonte: (GIGANTES DO MUNDO, 2011)

O fato do Brasil ser favorecido por recursos naturais que se são possíveis fontes de produção de energia é estratégico para qualquer país, principalmente porque diminui a dependência do abastecimento externo e, conseqüentemente, aumenta a segurança pois fornece um serviço essencial ao crescimento econômico e social. Quando se fala de grandes recursos hídricos disponíveis, adicionam-se outros dois importantes fatores: o fato das usinas hidrelétricas não emitirem gases causadores do efeito estufa e o custo baixo do suprimento quando comparado com outras fontes. A energia hidrelétrica é considerada como limpa no mercado internacional (ANEEL, 2008).

Pode-se assegurar que o Brasil ainda possui um amplo potencial hidrelétrico a ser explorado e deve fazê-lo em busca do seu desenvolvimento. Contudo, a preservação ambiental necessita ser considerada no planejamento, uma vez que as grandes usinas hidrelétricas proporcionam impactos ambientais significativas pois causa o alagamento de áreas que podem conter APP, florestas, plantações e pequenos povoados. Deste modo, a escolha pelas hidrelétricas de grande porte deve ser feita com responsabilidade, já que uma das regiões com maior potencial hidrelétrico é a amazônica. Assim sendo, a opção pelas PCH's deve ser sempre considerada, pois apresenta efeitos socioambientais menores, facilidades fornecidas pela legislação brasileira, menores prazos de implementação e custos mais acessíveis por se tratar de uma obra de menor porte, além da possibilidade de concessionárias de energia elétrica de adquirirem o excedente da energia gerada e também por não interferirem no regime hidrológico do fluxo d'água (OLIVEIRA, 2003).

#### **3.4.4 Biomassa**

A Biomassa é qualquer matéria orgânica que seja capaz de ser transformada em energia elétrica, térmica ou mecânica. Pode ser de origem: florestal, como a madeira, ou agrícola, como a cana-de-açúcar, soja, arroz ou até mesmo rejeitos urbanos e industriais, como podemos notar na Figura 3.10. Os derivados obtidos da biomassa dependem tanto de qual matéria-prima será utilizada quanto da tecnologia que empregada para obtenção dos energéticos (ANEEL, 2008).



Figura 3.10 - Diferentes fontes energéticas para obtenção de biomassa

Fonte: (LOOK FOR DIAGNOSIS)

A biomassa é utilizada na geração de energia a partir de procedimentos como a combustão de material orgânico acumulada em um determinado ecossistema, em que parte dessa energia acumulada é utilizada pelo ecossistema para sua própria conservação. Suas vantagens são que se trata de uma fonte renovável, é menos poluente que outras formas de energias como as geradas a partir de combustíveis fósseis, além do baixo custo, e o fato de permitir o reaproveitamento de resíduos urbanos (NEVES, 2010).

O Brasil tem a segunda maior capacidade para a geração de energia elétrica a partir da biomassa, depois dos Estados Unidos, dos quais aproximadamente dois terços da energia produzida é originada do bagaço da cana e, pouco menos de um terço, é proveniente da lixívia ou licor negro. A biomassa também tem caráter suplementar à geração hidrelétrica, por acontecer durante abril a novembro, período de estiagem e conseqüente menor oferta de energia hidrelétrica. Porém menos de um quarto das usinas vendem energia para o sistema elétrico (VIANA, TAVARES e LIMA, 2015).

Os aspectos negativos primordiais são a influência no tipo natural do solo e a probabilidade do surgimento de grandes monoculturas, o que causaria uma competição com a produção de alimentos. Estes problemas têm sido amenizados pelo

desenvolvimento de técnicas e processos que majoram a produtividade da biomassa e diminuem a carência de grandes áreas para plantação. Da perspectiva social, a criação de empregos e a melhoria das condições sociais é um dos benefícios dominantes da biomassa, pois esta forma de geração de energia promove a possibilidade do aumento dos níveis de consumo e conseqüentemente da qualidade de vida, a fortificação da indústria local, a inclusão social, o desenvolvimento regional, a concepção de novas atividades econômicas e também a contração do êxodo rural (ANEEL, 2008).

### 3.4.5 Energia Geotérmica

É uma forma de energia proveniente do interior da terra, na forma de vapor, calor ou água quente. O calor oriundo da terra, como pode-se observar na Figura 3.11, pode ser explorado de forma direta, como por exemplo, para o aquecimento de edifícios ou para a geração de eletricidade em usinas geotérmicas. O vapor pode mover uma turbina assim como em qualquer outra usina térmica. Neste caso, porém, o que causa o vapor é o calor da própria terra. É considerada uma forma de energia renovável, mas na verdade, é uma fonte localmente não renovável, pois o fluxo de calor do interior da terra é mínimo quando comparado com a taxa de consumo requisitada, o que pode causar o esgotamento do campo geotérmico (SIMONI, 2006).



Figura 3.11 - Fonte geotérmica.

Fonte: (HUMAN CONDITION LABS)

A maior vantagem dessa forma de geração de energia, além de produzir menos impactos que os combustíveis fósseis, é que ela pode ser utilizada em áreas de risco para habitação humana, devido as intensas atividades vulcânicas. Isso evita impactos socioambientais causados por certas formas de geração de energia. Nessas zonas inóspitas a energia disponível está próxima a superfície terrestre, o que simplifica a exploração (SIMONI, 2006).

Dentre as desvantagens da energia geotérmica, pode-se citar a contaminação dos recursos hídricos próximos a usina, o desmoronamento causado pelo desequilíbrio no interior da terra e a realocação das rochas. Há ainda questões relacionados aos ruídos gerados na fase de perfuração, especialmente se estiverem próximas a locais habitados (SIMONI, 2006).

A energia geotérmica é, possivelmente, a energia alternativa que apresenta maiores riscos e impactos negativos. Mesmo assim, ainda são menores que os gerados pelos combustíveis fósseis. No Brasil, esta forma de exploração energética é praticamente inexistente (SIMONI, 2006).

#### 3.4.6 Energia das ondas e das marés



Figura 3.12 - (A) Gerador de energia por correntes marítimas, (B) Usina de ondas de Pecém – CE, (C) Sistema maremotriz.

Fonte: (SOUSA, 2010), (CBR SOLUÇÕES EM ENGENHARIA, 2008), (EE DR. JOÃO PEDRO CARDOSO, 2008),

Trata-se da obtenção de energias devido ao movimento das águas marinhas. No caso da energia das ondas, os geradores desfrutam do quase ininterrupto movimento das ondas, para produzir energia. A técnica mais comum de exploração consiste em uma câmara de concreto construída a beira mar e aberta em sua extremidade, possibilitando que o nível de água no interior da câmara suba e desça a cada onda

consecutiva. O ar acima da água é comprimido e descomprimido sucessivamente, ativando uma turbina interligada a um gerador. A desvantagem de se utilizar esse procedimento para obtenção de energia é que esse proporciona baixo rendimento e o fornecimento não é contínuo (VIANA, TAVARES e LIMA, 2015).

A energia das ondas, nos últimos anos, avançou significativamente na inserção de usinas em vários países europeus, especialmente na Espanha, além do Japão e Austrália. No Brasil, o Ceará é o estado litorâneo que dispõe das melhores condições para a alocação de uma usina de ondas, devido a ação permanente dos ventos alísios, que ocasiona na assiduidade ondas altas e frequentes, imprescindível para o adequado funcionamento da usina. Existem também estudos voltados para o arquipélago de Fernando de Noronha, pois a forma de geração de energia no local é a queima de óleo diesel, o que leva a sérios riscos ambientais, até mesmo durante o transporte do combustível, o que poderia causar uma grande catástrofe naquela região ainda tão preservada (VIANA, TAVARES e LIMA, 2015).

Tratando-se da energia gerada pelas marés, barragens são arquitetadas na entrada dos estuários (parte do leito de um rio localizada a jusante e onde se manifestam as marés), e é utilizada a diferença entre as alturas de água durante as marés alta e baixa para produzir eletricidade, como podemos notar na Figura 3.12C. Quando a maré está subindo, a água passa pela barragem, enchendo o estuário. Com a baixa da maré, fecha-se as comportas e a água é represada pela barragem, escoando a água de volta para o mar, ativando turbinas interligadas a geradores. Devido ao ciclo de marés de doze horas e meia e o ciclo quinzenal de amplitudes máxima e mínima, raramente será mantido um suprimento regular de energia.

Além dessas duas formas de obtenção de energia, também é possível se beneficiar da energia das correntes marítimas, por intermédio de turbinas submersas. Podemos observar como funciona esse processo na Figura 3.12A. A tecnologia funciona como moinhos de ventos submersos, no entanto impulsionados por água. Esses moinhos podem ser instalados em locais com corrente oceânica contínua, com o intuito de se obter grandes quantidades de energia por meio desse volume de água corrente. (VIANA, TAVARES e LIMA, 2015).

Essa forma de energia é considerada limpa e renovável, cooperando para a redução das emissões dos GEE, diminuindo a poluição no ar, da água, do solo e da biosfera limitando os riscos de acidentes (NEVES, 2010).

## 4 ESTUDO DE CASO

### 4.1 Usina de ondas

Estimativas recentes mostram que a energia contida nas ondas marítimas é de cerca de 10TW, o que representa todo o consumo mundial de eletricidade. Existem restrições quanto ao uso de grandes áreas marítimas, devido a embarcações e regiões turísticas, por exemplo. Entretanto, é significativa a quantidade de energia do mar que pode ser convertida em energia elétrica. A projeção de aproveitamento da energia das ondas, considerado realístico para as próximas décadas, é da ordem de 1000GW, o que representa 10% na matriz energética mundial (PLANETA COPPE NOTÍCIAS, 2006).

Várias tecnologias para obtenção de energia a partir das ondas já estão em testes em várias partes do planeta, como no Reino Unido, Holanda, Portugal, Dinamarca. Canadá, EUA, Irlanda, Austrália e Japão são exemplos de países que vem desenvolvendo pesquisas nesta área.

No Brasil, foi desenvolvido pela COPPE/UFRJ a primeira usina de ondas nacional, com o objetivo de expandir a diversificação da matriz energética nacional. Localizada no porto de Pecém no Ceará, a 60km de Fortaleza foi instalada em 2012 para suprimento energético do próprio porto. As características da região impulsionaram sua escolha para ser sede da primeira usina de ondas brasileira. O predomínio de ondas baixas (entre 1 e 2 metros de altura) e sua frequência constante, que é mantida pelos ventos alísios que ocorrem na região, foram essenciais para essa escolha. Esse projeto foi simulado no Tanque Oceânico da COPPE (Figura 4.1), que é um tanque artificial que simula o ambiente marítimo, abrigando 23 milhões de litros de água. Possui grandes dimensões, sendo 40 metros de comprimento, 30 metros de largura e 15 metros de profundidade e 25 metros no poço central. É o maior tanque artificial do mundo (PLANETA COPPE NOTÍCIAS, 2006). A construção da usina de ondas do Pecém foi financiada pela Tractebel Energia S.A., por intermédio do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), e apoiada pelo governo do Ceará.



Figura 4.1 - Tanque Oceânico da COPPE.

Fonte: (COPPE, 2015)

## 4.2 Funcionamento da usina de ondas de Pecém-CE

Segundo o professor Segen Estefen, do Laboratório de Tecnologia Submarina da Coppe, o diferencial desse projeto brasileiro é a utilização de um sistema de alta pressão para movimentar a turbina e o gerador, um conceito desenvolvido e patenteado pela Coppe. Como pode ser visto na Figura 4.2 a seguir, o dispositivo é composto de dois grandes braços mecânicos flutuadores, fixados em estruturas horizontais articuladas. É nesta fixação que o Engenheiro Civil atua. Através da ação das ondas, essas estruturas se movimentam operando como braços de alavanca, que possuem em uma extremidade boias circulares que se deslocam de acordo com o movimento alternado e repetitivo das ondas, acionando na sua outra extremidade uma bomba hidráulica. A bomba aspira e comprime o fluido enquanto os flutuadores se movimentam, para abastecer e manter elevada a pressão da câmara hiperbárica. A câmara hiperbárica, inicialmente pressurizada com água e nitrogênio, aciona uma turbina ao liberar um jato de água cuja pressão equivale a uma queda d'água de 400m de altura, análoga a de grandes hidrelétricas. A rotação obtida no eixo da turbina é transmitida ao gerador para conversão de energia mecânica em energia elétrica. (PLANETA COPPE NOTÍCIAS, 2006).

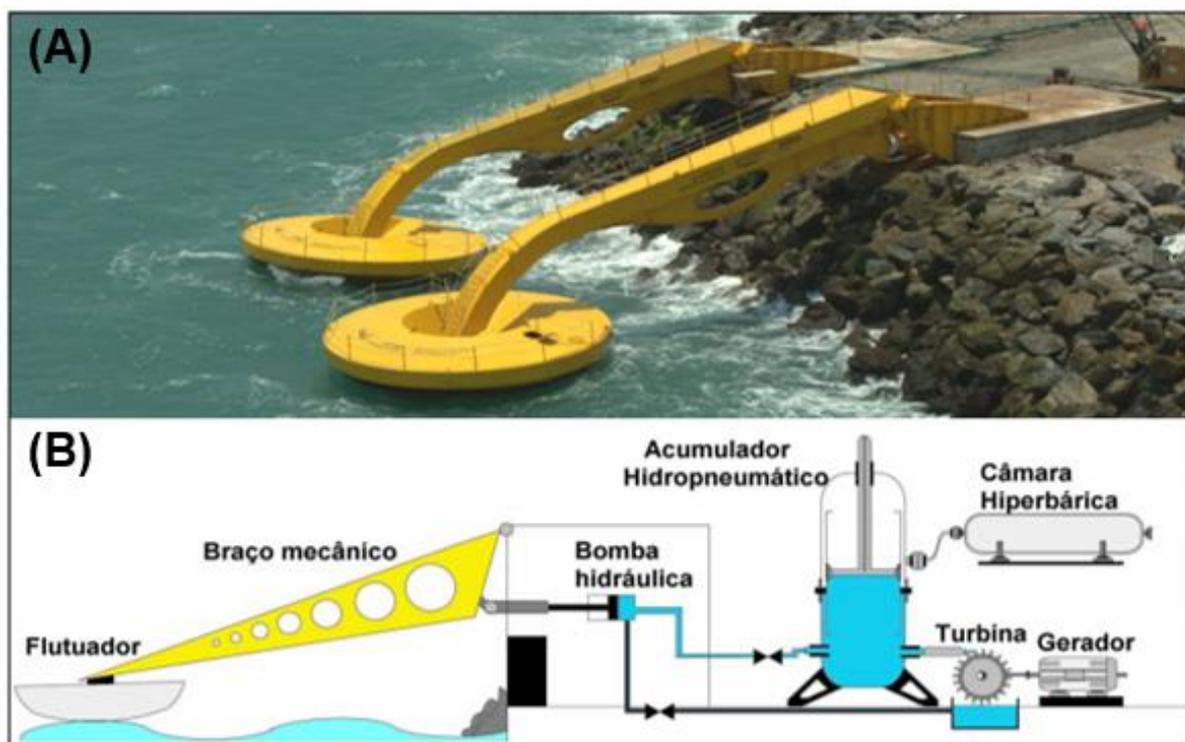


Figura 4.2 - (A) Instalações no porto de Pecém. (B) esquema de funcionamento da usina de ondas.  
 Fonte: (PLANETA COPPE NOTÍCIAS, 2006)

### 4.3 Custos

Um dos objetivos desse projeto é a redução dos custos de produção de eletricidade, similar ao que se sucedeu com a energia eólica. O custo total de investimento foi elaborado de modo a indicar a opção de instalação por aparelho ou de uma planta em multiplicidade, sendo os custos listados por [MW] instalados e de investimento para implantação das usinas. Cada módulo, ou braço mecânico, possui potência nominal de 50kW e o estudo da COPPE foi feito considerando-se a hipótese da utilização de 10 módulos para atingir 0,5MW de potência proposto. Como o projeto se trata de um estudo preliminar, os valores apresentados devem ser vistos com certa precaução para implantação das usinas. Segundo (SILVA, GUIMARÃES JÚNIOR, *et al.*, 2014) o custo por MW instalado é de US\$ 2.820.000,00. O custo de investimento US\$ 93,51/MWh, o de geração US\$ 103,51/MWh para uma taxa de retorno de 15% ao ano e prazo de amortização de 20 anos. Os custos de operação e manutenção estão em torno de US\$10,00/MWh, o que equivale a aproximadamente 9,7% do custo de geração. Os custos de implantação ainda são altos, porém existe grande possibilidade desses custos serem reduzidos de acordo com o desenvolvimento da tecnologia no país. Na Tabela 4.1 são apresentadas as estimativas de custos de investimentos.

Tabela 4.1 - Estimativa de custos e investimentos

Capacidade Nominal	Capacidade da Planta	Custo de geração	Custo anual de operação e manutenção	Custo por US\$/MW instalado	Custo total do investimento
0,5MW para o total de 10 módulos	20MW para 40 aparelhos	0,103 US\$/KWh	9,7% do investimento	Aproximadamente 2.820.00,00 TWh/ano	Planta: Aproximadamente US\$56.400,00 Aparelho: Aproximadamente US\$1.400.000,00

Fonte: (SILVA, GUIMARÃES JÚNIOR, *et al.*, 2014)

O dispositivo da COPPE pode gerar eletricidade com um custo de geração consideravelmente baixo, sendo competitivo quando comparado com outras formas alternativas de geração de energia por meio das ondas, mesmo estando em estágio inicial. Os testes revelaram também que o protótipo converte o recurso energético com eficiência de aproximadamente 35% equiparando-se aos equipamentos mais eficientes, o que incorpora a este projeto um diferencial (SILVA, GUIMARÃES JÚNIOR, *et al.*, 2014).

#### 4.4 Ligação da usina de ondas com a matriz elétrica brasileira

A Tabela 4.2 representa o consumo nacional de energia elétrica em GWh nos anos de 2014 e 2015.

Tabela 4.2 - Consumo de energia elétrica anual no Brasil em GWh

Classe	2015	2014
Residencial	132.771	125.750
Industrial	177.371	184.821
Comercial	90.135	84.234
Outros	73.566	70.162
<b>Total</b>	<b>473.844</b>	<b>464.968</b>

Fonte: (EPE, 2015)

Levando-se em consideração que a usina de Pecém possui capacidade de 0,5MW (para 10 módulos) e comparando com o consumo residencial de energia elétrica no Brasil de 132.771GWh no ano de 2015, é possível fazer uma análise hipotética para saber o percentual de energia elétrica residencial que a usina de Pecém seria capaz de atender.

Considerando que a usina operasse 24h por dia e 365 dias por ano, e que tivesse um rendimento de 100%, esta seria capaz de produzir 4,38GWh/ano (para 10 módulos) o que corresponderia a 0,0033% do consumo residencial nacional.

Este consumo, apesar de aparentar ser baixo, corresponde a apenas uma usina com 10 módulos. Vale ressaltar também que o litoral brasileiro possui um potencial estimado superior a 100GW, o que poderia agregar e muito na matriz elétrica brasileira. (PLANETA COPPE NOTÍCIAS, 2006).

Podemos fazer ainda uma comparação com o consumo médio residencial. Na Figura 4.3 é possível verificar que uma residência consumiu em média no ano de 2015 160KWh por mês, o que representa 1.920KWh/ano. Sendo assim, a usina de ondas de Pecém é capaz de suprir a necessidade energética de aproximadamente 2.282 residências no período de um ano.

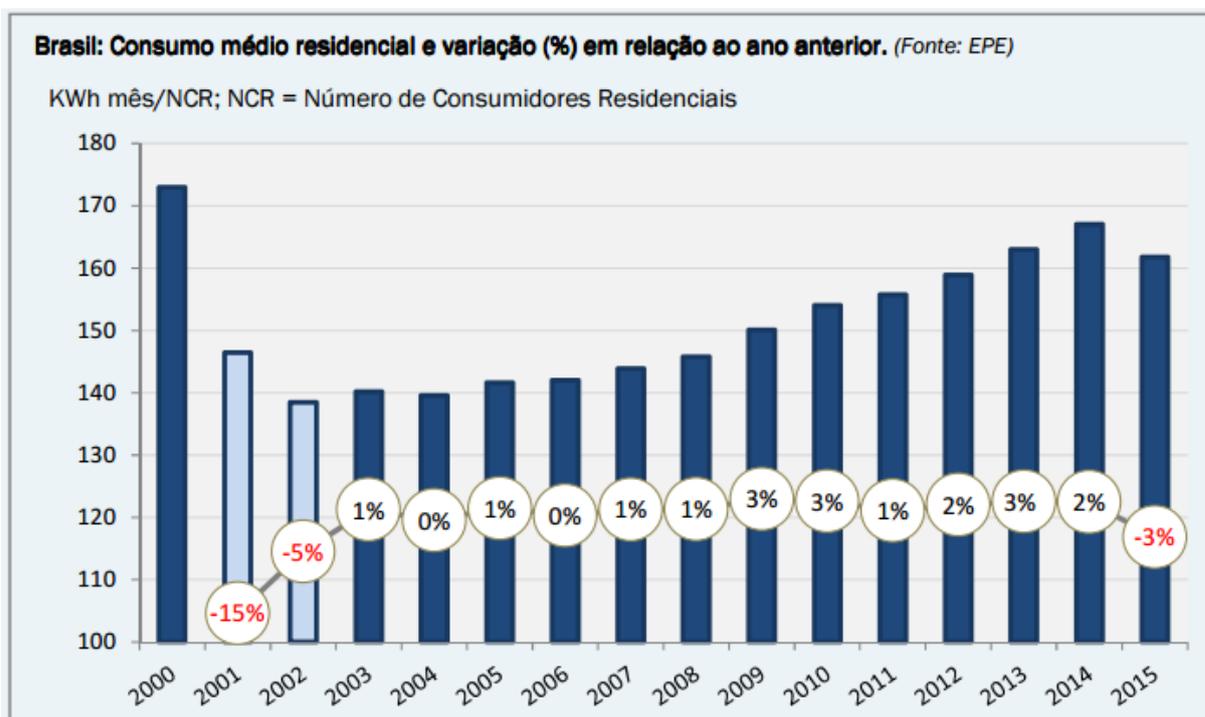


Figura 4.3 - Consumo médio de uma residência por mês do ano 2000 a 2015

Fonte: (EPE, 2015)

Do ponto de vista econômico, o protótipo da COPPE contempla as expectativas, mesmo que ainda permaneçam algumas incertezas que só poderão ser extintas a partir da execução de mais testes em condições reais de operação. Uma nova instalação desta tecnologia está sendo estudada para ser implantada em meados de

2016, e será situada na Ilha Rasa, a 14 quilômetros da praia de Copacabana, no Rio de Janeiro.

Estima-se que solidificação da tecnologia de uso da energia das ondas se dê num prazo de 10 a 15 anos (PLANETA COPPE NOTÍCIAS, 2006).

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

### **5.1 Conclusão**

Quando se pensa em preservação ambiental, os processos de geração de energia demandam uma especial atenção, dada a sua essencialidade para o crescimento econômico e desenvolvimento humano.

Com o estudo de revisão bibliográfica, foi possível notar a importância da energia para sociedade, como o Brasil é privilegiado por possuir demasiados recursos naturais, sendo possível contemplar diversas fontes renováveis de energia.

Pôde-se compreender que cada sistema de produção de energia gera os mais diversos tipos de impactos, podendo ser ambientais, sociais ou econômicos, desse modo deve ser feita uma análise acurada antes de se pensar na escolha de uma determinada forma de geração de energia.

No estudo de caso, foi apresentado um projeto piloto de uma usina de ondas, em que foram descritas as principais características desse sistema. A estimativa dos custos de produção e operação é parte essencial dos estudos de viabilidade econômica da operação de usinas de energia elétrica a partir das ondas do mar. Também foi apresentada a possibilidade de sua ligação com a matriz energética brasileira.

### **5.2 Sugestões para trabalhos futuros**

Como possíveis trabalhos futuros, pode-se apontar:

O estudo geotécnico realizado para implantação da usina de ondas de Pecém e a escolha da fundação mais apropriada, considerando a carga que recebem e o tipo de solo onde serão construídas.

Um estudo de caso hipotético sobre a viabilidade econômica de um sistema híbrido, que tem por objetivo maximizar o aproveitamento energético no local e por se tratar de uma nova tendência mundial, já que os sistemas híbridos acarretam em um maior rendimento e retorno econômico e ambiental do que sistemas independentes de produção de energia.

E também um estudo comparativo entre a obtenção de energia a partir das ondas e eólica, por se tratar de duas fontes energéticas fortemente cogitadas para serem empregadas no litoral, devido à presença constante dos ventos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA AL. **Agência AL**, 2013. Disponível em: <[http://agenciaal.alesc.sc.gov.br/index.php/noticia\\_single/carvaeo-mineral-historia-marcada-por-desenvolvimento-e-crise-na-producao#!prettyPhoto](http://agenciaal.alesc.sc.gov.br/index.php/noticia_single/carvaeo-mineral-historia-marcada-por-desenvolvimento-e-crise-na-producao#!prettyPhoto)>. Acesso em: 28 Junho 2016.
- AMBIENTE, MINISTÉRIO DO MEIO. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas>>. Acesso em: 20 Junho 2016.
- ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3ª. ed. Brasília: [s.n.], 2008.
- CAPRA, F. **As conexões ocultas: ciência para uma vida sustentável**. São Paulo: Cultrix, 2002.
- CBR SOLUÇÕES EM ENGENHARIA, 2008. Disponível em: <<http://www.cbrsolucoesemenergia.com/noticias/item/88-primeira-usina-de-energia-da-am%C3%A9rica-latina-a-partir-de-ondas-j%C3%A1-opera-em-pec%C3%A9m-cear%C3%A1>>. Acesso em: 11 jul. 2016.
- COLÉGIO WEB. **Colégio Web**, 2014. Disponível em: <<http://www.colegioweb.com.br/geografia/energia-eolica-origem-e-vantagens.html>>. Acesso em: 29 Junho 2016.
- COPPE. Laboratório de Tecnologia Oceânica, 2015. Disponível em: <<http://www.laboceano.coppe.ufrj.br/br/laboceano/historico.php>>. Acesso em: 27 Julho 2016.
- EE DR. JOÃO PEDRO CARDOSO, 2008. Disponível em: <[http://jpcnarededodosaber.blogspot.com.br/2008\\_07\\_01\\_archive.html](http://jpcnarededodosaber.blogspot.com.br/2008_07_01_archive.html)>. Acesso em: 11 jul. 2016.
- ENERGIA, M. D. M. E. **Resenha Energética Brasileira**. MME. Brasília, p. 4-6. 2014.
- EPE. Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica, Rio de Janeiro, Fevereiro 2015.
- FREITAS, G. S.; DATHEIN, R. As energias renováveis no Brasil: uma avaliação acerca das implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental. **Nexos Econômicos**, v. 7, n. 1, p. 76, Janeiro 2013.
- GIGANTES DO MUNDO. **Gigantes do Mundo**, 2011. Disponível em: <<http://gigantesdomundo.blogspot.com.br/2011/04/as-10-maiores-usinas-hidreletricas-do.html>>. Acesso em: 29 Junho 2016.
- HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. **Energia e Meio Ambiente**. [S.l.]: Thomson, 2003.
- HUMAN CONDITION LABS. **Human Condition Labs**. Disponível em: <<http://www.humanconditionlabs.com/expertise/ea19ka208csosf8399q0mcmmyns5qt>>. Acesso em: 28 Junho 2016.
- LOOK FOR DIAGNOSIS. **Look for Diagnosis**. Disponível em: <[http://www.lookfordiagnosis.com/mesh\\_info.php?term=Biomassa&lang=3](http://www.lookfordiagnosis.com/mesh_info.php?term=Biomassa&lang=3)>. Acesso em: 29 Junho 2016.

MANUAL DO MUNDO. **Manual do Mundo**, 2014. Disponível em: <<http://www.manualdomundo.com.br/2014/06/como-sobreviver-a-uma-explosao-nuclear/>>. Acesso em: 27 Junho 2016.

MOREIRA, H. M.; GIOMETTI, A. B. D. R. O Protocolo de Quioto e as Possibilidades de Inserção do Brasil no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio de Projetos em Energia Limpa. **Contexto Internacional**, Abril 2008. 9-47.

NEVES, R. N. F. **Desenvolvimento de Modelos de Previsão de Produção de Centrais Solares Fotovoltaicas**. FEUP. Porto. 2010.

O PAÍS. **O País**, 2014. Disponível em: <<http://opais.co.ao/%EF%BB%BF%EF%BB%BFplano-inclui-gas-natural-na-producao-de-energia/>>. Acesso em: 29 Junho 2016.

OLIVEIRA, A. S. D. **Análise das modalidades e procedimentos simplificados do mecanismo de desenvolvimento limpo – os projetos de pequena escala e a geração de energia renovável para o atendimento das residências rurais e isoladas**. UFRJ. Rio de Janeiro. 2003.

PLANETA COPPE NOTÍCIAS. Geração de Energia Elétrica pelas Ondas do Mar. **Planeta Coppe Notícias**, Rio de Janeiro, 19 Dezembro 2006. Disponível em: <<http://www.coppe.ufrj.br/pt-br/geracao-de-energia-eletrica-pelas-ondas-do-mar-0>>. Acesso em: 11 jul. 2016.

QUANTUM FORÇA E TECNOLOGIA. **Quantum Força e Tecnologia**. Disponível em: <<http://www.quantumengenharia.net.br/blog/novos-rumos-para-energia-solar-no-brasil>>. Acesso em: 29 Junho 2016.

SILVA, E. F. D. E. et al. **UM ESTUDO SOBRE O APROVEITAMENTO DA ENERGIA DOS OCEANOS - ENERGIA DAS ONDAS: RENOVÁVEL, ECONOMICAMENTE VIÁVEL E LIMPA**. Conferência de Estudos em Energia Elétrica. Uberlândia: [s.n.]. 2014.

SILVA, N. F. D. **Fontes de energia renováveis complementares na expansão do setor elétrico brasileiro: o caso da energia eólica**. UFRJ. Rio de Janeiro. 2006.

SIMONI, C. A. **O uso de energia renovável sustentável na matriz energética brasileira: Obstáculos para o planejamento e ampliação de políticas sustentáveis**. UFPR. Curitiba. 2006.

SOUSA, H. **Wordpress**, 2010. Disponível em: <<https://htsousa.wordpress.com/2010/05/page/2/>>. Acesso em: 11 jul. 2016.

VIANA, M. B.; TAVARES, W. M.; LIMA, P. C. R. **Sustentabilidade e as principais fontes de energia**. Câmara dos Deputados. Brasília. 2015.

VORTEX MAX. **Vortex Max**, 2015. Disponível em: <<http://www.vortexmag.net/ha-petroleo-em-portugal-ingleses-localizam-6-jazidas/>>. Acesso em: 29 Junho 2016.