

# Análise do aproveitamento da energia das ondas no Brasil com ênfase no litoral de Angra dos Reis

Reis, W. A.  
Boly, R. M. A.  
Madeira, J. G.  
Pereira, A. L.  
Santos, L. F. dos

## Resumo

Este artigo apresenta situações e análises sobre a viabilidade para implementação de uma forma de energia limpa e renovável e com amplo potencial teórico a ser explorado: a Energia oceânica. Em seu contexto, existem diversas formas de se aproveitar as energias dos oceanos para conversão em energia elétrica: através das marés, correntes marítimas, gradientes de temperaturas e as ondas, este último será o assunto abordado no referido trabalho. Ao longo da pesquisa será apresentado como ocorre o fenômeno, mostrando as fortes influências dos fatores climático e geográficos sobre as ondas e as características básicas de uma onda. Serão realizadas análises no Brasil e no mundo em relação às tecnologias utilizadas para a conversão, mostrando empresas que atuam na área do aproveitamento da energia das ondas e no desenvolvimento de protótipos. Posteriormente será avaliado se há ou não formas de se aproveitar a energia das ondas no litoral do município de Angra dos Reis, sul do estado do Rio de Janeiro, apresentando dados, comparações e ideias.

**Palavras chave:** Angra dos Reis, energia oceânica, ondas oceânicas

## Abstract:

The aim of this article is the analysis on a form of clean renewable energy and broad theoretical potential to be explored: the Ocean Energy. In context, there are several ways to harness the energy of the oceans for conversion into electricity: through the tides, currents, temperature gradients and waves, the latter will be the subject matter in that work. During the research will be presented as is the phenomenon, showing the strong influence of climatic and geographical factors on the waves and the basic characteristics of a wave. Analyzes will be carried out in Brazil and in the world in relation to the technologies used for the conversion, showing companies operating in the exploitation of the area of wave energy and the development of prototypes. After that it will be assessed whether there are ways to harness the energy of waves on the coast of the city of Angra dos Reis, south of the state of Rio de Janeiro, presenting information, comparisons and ideas.

**Keywords:** Angra dos Reis, oceanic energy, waves.

## Resumen

Este artículo presenta situaciones y análisis sobre la viabilidad para la implementación de una forma de energía limpia y renovable y con amplio potencial teórico a ser explorado: la Energía oceánica. En su contexto, existen diversas formas de aprovechar las energías de los océanos para la conversión en energía eléctrica: a través de las mareas, corrientes marítimas, gradientes de temperaturase las olas, este último será el tema abordado en

dicho trabajo. A lo largo de la investigación será presentado como ocurre el fenómeno, mostrando las fuertes influencias de los factores climático y geográfico sobre las ondas y las características básicas de una onda. Se realizarán análisis en Brasil y en el mundo en relación a las tecnologías utilizadas para la conversión, mostrando empresas que actúan en el área del aprovechamiento de la energía de las olas y en el desarrollo de prototipos. Posteriormente se evaluará si hay o no formas de aprovechar la energía de las olas en el litoral del municipio de Angra dos Reis, sur del estado de Río de Janeiro, presentando datos, comparaciones e ideas.

**Palabras-clave:** Angra dos Reis, energía oceánica, ondas.

## INTRODUÇÃO

Desde meados do século XIX, após a revolução industrial, a busca de fontes de energia se tornou essencial no mundo [27]. Com base nisso, temos um crescente desenvolvimento tecnológico, muito além da conscientização da preservação ambiental. A quantidade de CO<sub>2</sub> disposta na atmosfera a partir da primeira revolução industrial pode ter sido a grande causadora de aumento de temperatura da atmosfera e dos oceanos se comparada com a era pré-industrial [1]. As fontes de energia mais utilizadas são aquelas que se apresentam com mais facilidade de exploração, não importando se renováveis ou não ou com os impactos ambientais. Esse equívoco existencial coloca em risco todo o ecossistema, as reservas dessas fontes de energia, bem como o ritmo do desenvolvimento humano. A humanidade precisa ter um olhar de sustentabilidade sobre sua matriz de geração de energia, buscando, em paralelo, fontes de geração de energia a partir dos recursos renováveis. As energias renováveis são virtualmente inesgotáveis, entretanto em termos da quantidade de energia que é possível se converter num determinado período, existem limites.

Em 2008 a porcentagem de produção das fontes de energia primária, para a geração de eletricidade, foi cerca de 81.6% apresentado por combustíveis fósseis (não renováveis) somado com a energia nuclear, e apenas 18.4% decorrente de fontes renováveis, das quais 0.005% é energia oceânica [10]. De acordo com Schaeffer [22], “Os oceanos contêm o maior de todos os recursos naturais e que podem contribuir de forma significativa para as necessidades crescentes de energia a nível global, devido ao seu potencial energético enorme, principalmente para os países com grandes áreas costeiras”.

### Problemática

Apesar da pequena participação da energia oceânica na demanda energética mundial, existem algumas iniciativas mundo afora para promover seu desenvolvimento. Com base em estudos realizados pela Associação Europeia de Energias Oceânicas (*European Ocean Energy Association – EU-OEA*), que por sua vez, desenvolveu em 2010 uma pesquisa para este tipo de energia, resultados afirmaram que a energia dos oceanos tem o potencial de atingir 3,6 GW instalados até 2020 e 188 GW instalados até 2050, o que representaria 0,3% e 15% da demanda projetada, respectivamente [10], podendo gerar até 400 mil empregos em toda a União Europeia.

Os custos de produção de uma usina maremotriz, ou conversor de energia das ondas, assim como sua manutenção, ainda tem estudos em fase inicial e por isso atualmente ainda têm altos custos. Um dos maiores obstáculos a este tipo de aproveitamento energético é a falta de investimento e pesquisa na área; outro problema está ligado ao fluxo de embarcações, pois o maquinário, referente a esse tipo de energia, apresenta um obstáculo ao trânsito naval com os equipamentos de conversão sendo *offshore* ou/ e *nearshore*, além dos custos de instalações serem bem elevados.

Os diferentes tipos de clima junto com aspectos ambientais e geográficos diversificados de cada região (locais mais frios ou quentes, ventos mais fortes ou fracos e entre outros fatores), também geram um problema, pois existem áreas onde o aproveitamento e a conversão da energia oceânica será realizada de forma mais eficaz do que em outras, tendo regiões que o seu aproveitamento não será possível, mesmo sendo áreas costeiras.

### **Importância do Desenvolvimento do Presente Artigo**

A energia das ondas tem grande potencial energético teórico inexplorado, com base nessa informação vemos o quão importante pode ser seu aproveitamento na geração de energia elétrica por se tratar de uma energia alternativa limpa, renovável e de grande capacidade de exploração. Muitos países do mundo já realizam diversas pesquisas de protótipos e locais para utilização dessa matriz energética. Alguns países, inclusive, já utilizam energias provenientes das ondas, principalmente os países do litoral Europeu, onde se tem uma ampla capacidade de exploração da energia oceânica devido aos aspectos geográficos. Por tais fatos, serão discutidos, de forma concisa e sucinta, estudos pertinentes à região do litoral de Angra dos Reis, agregando informações, se possível, para futuros métodos de aproveitamento energético.

Tecnologias inovadoras para aproveitamento de ondas oceânicas estão em fase de desenvolvimento. Já se conhece sistemas que apresentam custos mais baixos de instalação comparados a de outras fontes renováveis: estima-se que o custo de instalação para produção de 1MW de energia elétrica seja de US\$1,50 M para sistemas fotovoltaicos; US\$1,75 M para sistemas eólicos em terra; US\$3,00 M para um sistema eólico *off-shore*; e em até US\$1,00 M para uma das tecnologias sistemas maremotrizes [20] já instalada na península da Criméia em 2012 [14], uma região já de conhecido interesse em aplicações de tecnologias semelhantes [2]. É interessante notar que o MW instalado de uma PCH no Brasil [11].

Este trabalho tem como objetivo apresentar a importância e as formas de se aproveitar e

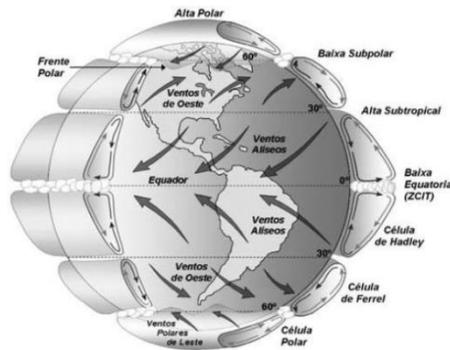
converter a energia das ondas no mundo e também no Brasil, dando ênfase ao litoral da cidade de Angra dos Reis, sul do estado do Rio de Janeiro, mostrando se há ou não formas de se aproveitar a energia oceânica. Do qual será colocado em pauta o aproveitamento das ondas dos oceanos, mostrando os tipos de tecnologias desenvolvidas e seu aproveitamento no Brasil e no mundo, explicando suas características desde como ocorre o fenômeno até sua conversão em energia elétrica.

## **ENERGIA DAS ONDAS**

A energia das ondas dos oceanos também pode ser chamada de energia solar, pois todo o processo se origina com a energia solar aquecendo de forma desigual a superfície terrestre, acarretando a formação de ventos que ao soprarem paralelos à superfície e, através da viscosidade da água e de sua tensão superficial, transferem energia cinética para o mar e parte desta energia gera as ondas [24], enquanto outras porções de energia são transformadas irreversivelmente em outras formas de energia. De acordo com Fleming [10] “A quantidade de energia transferida do vento para a superfície do mar vai depender: (i) da intensidade do vento, (ii) do tempo de atuação deste vento e (iii) da área sobre a qual está atuando”. Enquanto o vento se mantiver, as ondas vão tomando forma até certo momento quando, devido aspectos geográficos e de ressonância [13] passam a ser independentes, não mais dependendo unicamente do vento. As ondas formadas assumem diversas formas, como longitudinais, ideais para o uso de geradores [21] de pás realmente grandes, as quais ficam em regiões relativamente profundas; ondas transversais são usadas para modelagem de geradores que trabalham como forma semelhante à de uma colheitadeira piezoelétrica [26]. Outras ondas muito interessantes são os sólitons, que podem percorrer muitos quilômetros sem perder energia através de efeitos não lineares [11]; estas, contudo, representam riscos às construções, tanto nas on-shore quanto nas off-shore [25].

Como as ondas são geradas pelos ventos, sabe-se que o vento não é sempre o mesmo em todo o planeta (Figura1), devido ao clima e aspectos geográficos de cada região, portanto as ondas variam ao longo do ano de acordo com o clima. Com base nestas variações no clima, as características das ondas variam de acordo com a região, isso é um fator importante para um empreendimento de conversão de energia de ondas, pois está diretamente relacionado com o potencial local [10].

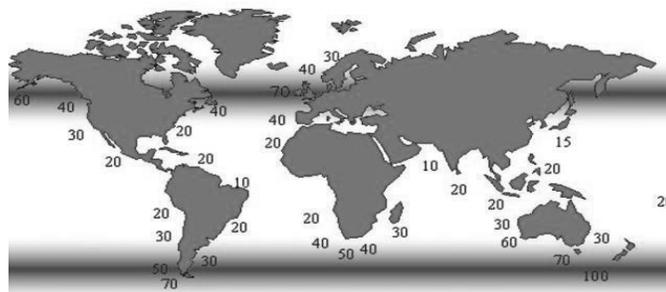
**Figura 1. Modelo de circulação atmosférica global, baseado nos meridianos e direções dos ventos. Fonte: [10].**



Para comprovar essa forte influência dos ventos no aproveitamento energético das ondas, a Figura 2 mostra a distribuição global do potencial energético em kW/m (kiloWatts por mês), de acordo com as localidades e o hemisfério, o que permite notar mais claramente a grande influência dos fatores climáticos do globo como um todo sobre a geração de ondas e, conseqüentemente, em relação à energia dessas ondas que auxiliam portanto a determinar a viabilidade da implantação.

Figura 2. Distribuição Global do potencial energético das ondas (kW/m, média anual em águas profundas).

Fonte: [22].



## MATERIAIS E MÉTODOS

### Metodologia de Conversão da Energia das Ondas em Energia Elétrica

O principal aspecto no aproveitamento da energia das ondas é como será feito a conversão em energia elétrica. Portanto, têm que ser levado em conta diversos aspectos: os dados geográficos de cada local, o lugar onde será aproveitado este recurso energético, ou seja, informações sobre amplitude e comportamento das ondas, potencial teórico de energia da região entre outros. Os dispositivos de conversão também têm um papel importante neste meio, pois ele realizará funções de conversão de formas distintas e em diversos locais diferentes, de acordo com a forma em que ele

foi projetado.

Estes locais onde serão colocados os dispositivos são divididos em três regiões [24]:

- A. Dispositivos costeiros (*shoreline* ou *onsshore*): Localizados fixados na costa.
- B. Dispositivos próximos à costa (*nearshore*): Localizados fixados na costa.
- C. Dispositivos afastados da costa (*offshore*): Localizados a mais de 25 metros de distância da costa.

### Dispositivos de Conversão

De acordo com Souza [24], uma forma de classificar os dispositivos de conversão é através de seu funcionamento, ou seja, como ele realiza a tarefa de conversão de energia das ondas para energia elétrica. Partindo desse princípio, foi desenvolvido o Quadro 1 abaixo, para melhor definição e compreensão de seu funcionamento.

**Quadro 1: Classificação dos conversores de energia das ondas conforme o princípio**

	Posição	Características/Exemplos
Corpos oscilantes	Submersos	Translação (vertical) Ex.: <i>AWS</i> Rotação – Placas articuladas no fundo Ex.: <i>Oyster</i>
	Flutuantes	Translação (vertical) Ex.: <i>Aquabuoy</i> Rotação Ex.: <i>Pelamis</i>
Colunas de água Oscilantes	Fixas	Isolada Ex.: <i>LIMPET</i> Integrada em quebra-mar Ex.: Foz do Douro
	Flutuantes	Flutuam em alto mar Ex.: <i>Ocean Energy</i>
Galgamento	Fixas	Na costa Ex.: <i>Tapchan</i> Em quebra-mar Ex.: <i>SSG</i>
	Flutuantes	No mar Ex.: <i>Wave Dragon</i>

Fonte: adaptado de [24].

### Corpos Oscilantes

São dispositivos que dependem somente do movimento e direção de propagação da onda para captação de energia, podendo ser submersos ou flutuantes. Os principais dispositivos de conversão são:

-*Pelamis* (atenuador), um dispositivo *offshore* semi-submerso, geralmente localizado em águas com profundidades entre 50m a 70m de profundidade para melhor eficiência e com uma potência de 750 kW [19].

-*Oyster* (pêndulo), um equipamento *nearshore*, pois ficam fixados em locais de profundidades entre 10 a 15 metros e com uma potência de 315 kW (*Oyster 1*), mas a empresa está em um projeto de aperfeiçoamento do dispositivo que terá uma potência de 800 kW [3].

-*Powerbony* (absorção pontual), um dispositivo *nearshore*, sua distância em relação à costa é de até 25 metros e uma potência na ordem de 150 kW, como o implantado na Escócia em 2011 [18].

-*AWS* (absorção pontual submerso), um dispositivo *nearshore* e *offshore*, dependendo de sua aplicação, tem uma potência de 250 kW que foi implantada pela empresa em 2010 [5].

### **Coluna de Água Oscilante**

São dispositivos que além de utilizar como base a onda para captação de energia, também utiliza a pressão do ar que se altera de acordo com o volume de água que aumenta e diminui com o movimento das ondas, podendo ser flutuantes ou estruturas fixas na costa. Seus principais dispositivos de conversão são:

-*Limpet*, um dispositivo *shoreline*, ou seja, fixo na costa e tem uma potência de 500 kW, e oferece energia a 400 habitações da ilha escocesa de Islay [4].

-*Ocean Energy*, um dispositivo *offshore*, pois foi criado para resistir às severas condições impostas pelo oceano e suas tempestades com um poderoso sistema de amarração [17].

### **Galgamento**

São dispositivos que se baseiam no movimento da onda para encher uma espécie de laje ou reservatório, com a saída dessa água retida movimentada-se uma turbina e a captação de energia é realizada. Podem ser flutuantes ou estruturas fixas na costa. Seu principal dispositivo de conversão é o *Wave Dragon*, um dispositivo *offshore* que preferencialmente pode ser instalado em locais acima de 40 metros da costa e apresenta uma potência nominal entre 4 a 11 MW [28].

## **Aplicação dos Dispositivos de Conversão no Brasil**

O Brasil tem uma costa que se estende pelo oceano Atlântico, cobrindo 7.367 km e com a Plataforma Continental estendida (911 mil km<sup>2</sup>), cuja área equivale a cerca de 52% da superfície continental brasileira com base no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Desta forma, com o intuito de aproveitar essa vasta área marítima para a geração de energia, o Brasil vem realizando estudos na área de conversão da energia das ondas em eletricidade com desenvolvimento de protótipos.

No Brasil, dois projetos se destacam, ambos desenvolvidos pela COPPE, o Centro de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Baseado em testes realizados na COPPE, “o potencial energético das ondas no Brasil é estimado em 87 gigawatts. Esses dados indicam que é possível converter cerca de 20% desse potencial em energia elétrica, o que equivale a cerca de 17 % da capacidade total instalada no país” [8]. O Brasil, por suas características geográficas, nunca foi incluso em debates ou fóruns especializados nos temas de geração de eletricidade através das ondas.

A resiliência inerente do Brasil no que se refere à investimentos em ciência, tecnologia e desenvolvimento reforça o atraso do investimento em novas tecnologias de geração de energia, como também em captação de energia das ondas; todavia o potencial desse tipo de energia no Brasil não pode ser desprezado, principalmente pela constância desse fenômeno e também por possuir um litoral com 8 mil km. Estefen, professor de Engenharia oceânica da COPPE, em uma entrevista realizada pela “O Globo”, com relação à exploração da energia limpa das ondas, afirma que “não basta ter ondas grandes, elas atuam em apenas 20% do ano. Já as ondas brasileiras batem de forma constante em 70% do ano” [8].

O primeiro projeto no Brasil, uma usina próxima a um quebra-mar, trata-se de um dispositivo *onshore*, localizado no Porto de Pecém/CE em parceria com a empresa Tractebel Energia SA, foi testado em 2012 e está agora em fase de aprimoramento e com uma potência nominal de 50 kW (Figura3), que equivale à produção de 180MWh. A própria energia gerada pelo dispositivo é consumida no porto onde está localizada, porém há planos de ampliação e mais pesquisas pertinentes a maior eficiência energética do mesmo a partir de 2017 [8].

Figura 3. Dispositivo da COPPE/RJ em operação no porto de Pecém/CE.



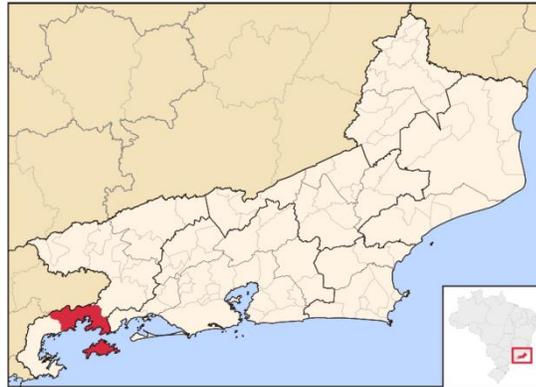
Figura 4. Esquema de funcionamento do dispositivo de Ilha Rasa [8].



### Situação da Energia das Ondas em Angra dos Reis

Angra dos Reis é uma cidade localizada ao sul do Estado do Rio de Janeiro na região Sudeste do Brasil, tem uma área territorial de 825.082 km<sup>2</sup> e uma população de aproximadamente 184.940 habitantes de acordo com o IBGE conforme mostra a Figura 5. A cidade possui um vasto litoral contido na baía da Ilha Grande e é composta por centenas de ilhas.

Figura 5. Mapa da localização de Angra dos Reis



A zona costeira de Angra dos Reis apresenta características fisiográficas favoráveis à instalação de terminais portuários e atividades de apoio à indústria naval. Fatores como um litoral altamente recortado, com muitas enseadas, ilhas, áreas abrigadas e canais naturais profundos. Aspectos que por sua vez, necessitam de uma maior capacidade energética para atender, com eficiência, as empresas e a crescente população decorrente da alta atividade industrial, pesca e turismo. Portanto, a região apresenta uma alta capacidade de crescimento industrial e populacional, e o aproveitamento da energia das ondas iria ajudar a suprir essa grande demanda [16].

As empresas em destaques são de atividade naval e portuária, caso haja algum futuro investimento nesta região, a transmissão e a implantação de um sistema de geração de eletricidade através das ondas oceânicas iria ser facilitada por serem empresas costeiras [16]. As empresas em destaque são:

- O estaleiro Brasfels, que têm contribuído para a autossuficiência na área de petróleo e gás natural, construindo plataformas, embarcações de apoio, e realizando reparos nas plataformas operantes na bacia de Campos.
- O terminal portuário de Angra dos Reis, administrado pela *Technip*, é um importante centro logístico para a movimentação de cargas e apoio a projetos *offshore*, especializado em carga geral, produtos siderúrgicos, trigo, petróleo e seus derivados.
- O terminal marítimo da baía da Ilha Grande (TEBIG), que atua no recebimento e exportação de petróleo, realizando operações de transporte duto viário de petróleo e derivados,

carregamento e descarregamento de navios-tanque, abastecimento de combustíveis para navios e armazenamento e transferência de petróleo e derivados.

A região de Angra dos Reis apresenta as únicas usinas nucleares do Brasil, Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (Angra 1, 2 e 3), sendo que somente a Angra 3 está em fase de construção e está prevista para entrar em operação somente em 2018. Estas usinas estão localizadas na costa leste de Angra dos Reis, especificamente na praia de Itaorna, é considerada um tipo de energia limpa, ou seja, praticamente não emite poluentes. Angra 1 apresenta cerca de 657 MW de potência e Angra 2 cerca de 1350 MW de potência [7], e toda a energia gerada é distribuída para a rede nacional, nenhuma porcentagem dessa energia é consumida em Angra dos Reis.

Dessa maneira, a energia proveniente das ondas teria um papel ímpar na região, pois essas demandas industriais localizadas, próximas à costa, poderiam ser supridas de forma similar ao porto de Pecém/CE. Pequenas vilas situadas ao longo da Ilha Grande também poderiam ser supridas, no ponto de vista energético, por essa energia proveniente das ondas, o que geraria certa autonomia energética e, também, uma facilidade no que se refere às linhas de transmissão.

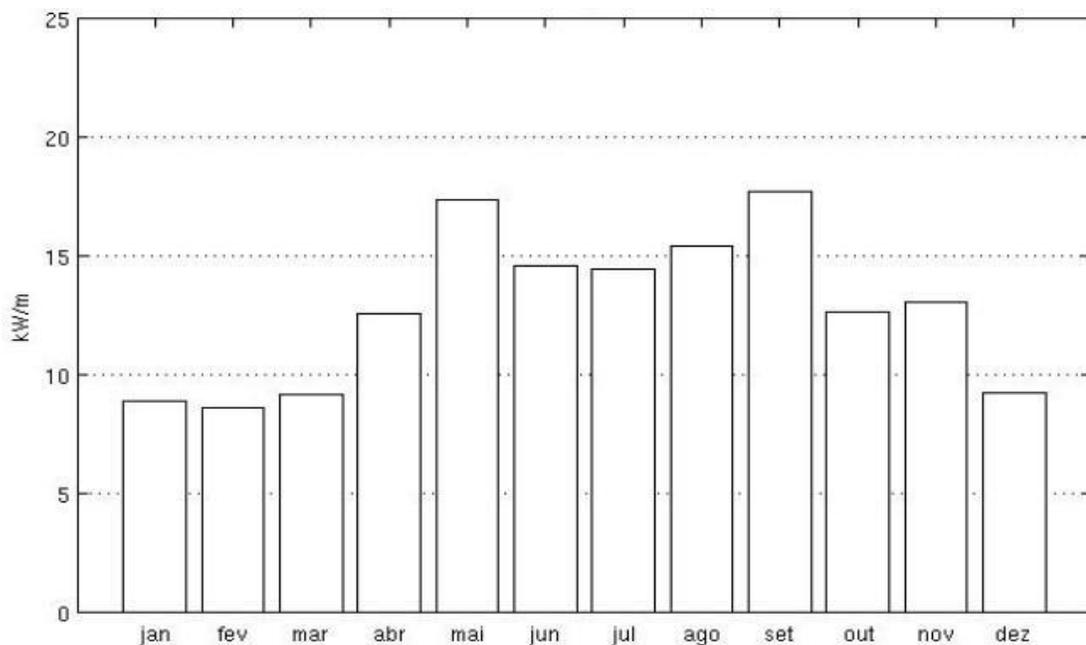
Tendo em mente o conceito de energia das ondas e os mecanismos de como se converter a energia cinética das ondas em energia elétrica, é necessário realizar alguns estudos, analisando condições primordiais, tais como: fatores climáticos e aspectos geográficos de Angra dos Reis.

Como mostrado nas Figuras 1 e 2, os ventos são fatores primordiais na geração das ondas, os Ventos Aliseos são os que predominam nesta região, que por sua vez, geram ondas com baixas alturas e, conseqüentemente, não remetem uma grande eficiência no aproveitamento energético.

A análise do potencial teórico das ondas em Angra dos Reis baseia-se nas Bibliografias [10] e [4], onde se utilizam o modelo numérico espectral *Wave Watch* III (WW3), para obter dados sobre altura, pico e direção de onda através do espectro, que descreve as condições de uma onda em um determinado momento, por influência dos ventos locais e oceânicos.

A partir das informações supracitadas, foi adaptado um gráfico (Figura 6) que se estende de Santa Catarina ao Sul do Rio de Janeiro, que abrange a região do litoral de Angra dos Reis onde se mostra as médias mensais em 15 kW/m entre maio e setembro, com um pico nestes dois meses. Nota-se que no verão esses valores caem para 10 kW/m. A média anual do potencial energético, proveniente das ondas, é de 12,73 kW/m [10].

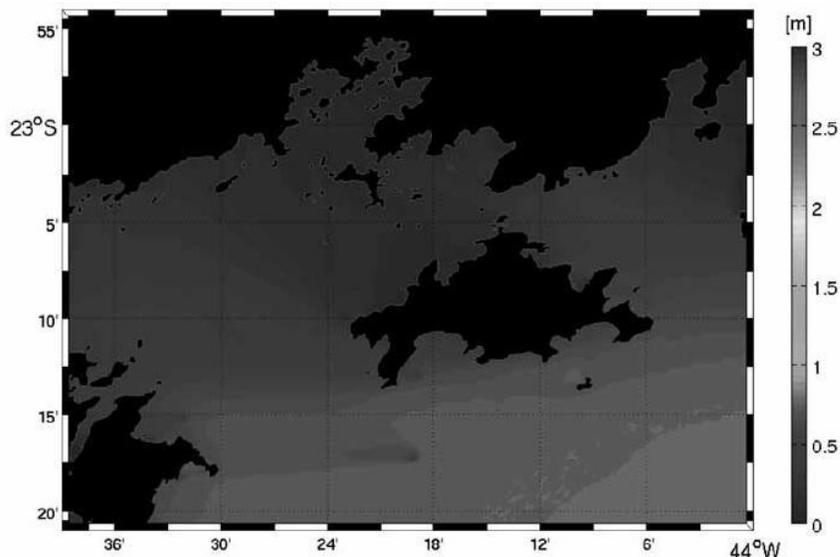
**Figura 6. Médias Mensais de energia das ondas entre Santa Catarina ao Sul do Rio de Janeiro, abrangendo o litoral de Angra dos Reis [10].**



Foram realizados estudos sobre a propagação das ondas geradas pelo vento, via modelagem numérica, na baía da Ilha Grande, diante de dois cenários diferentes: em situação recorrente e em situação de ressaca. Esse estudo permite entendermos melhor o comportamento e a altura significativa de uma onda na região de Angra dos Reis [12].

A Figura 7 mostra a altura significativa da onda no dia 04/01/2009, encontrada na baía da Ilha Grande na ausência de eventos de ressacas. Apresentam alturas médias de 0,5m a 1m em águas marinhas que abrange Angra dos Reis [12].

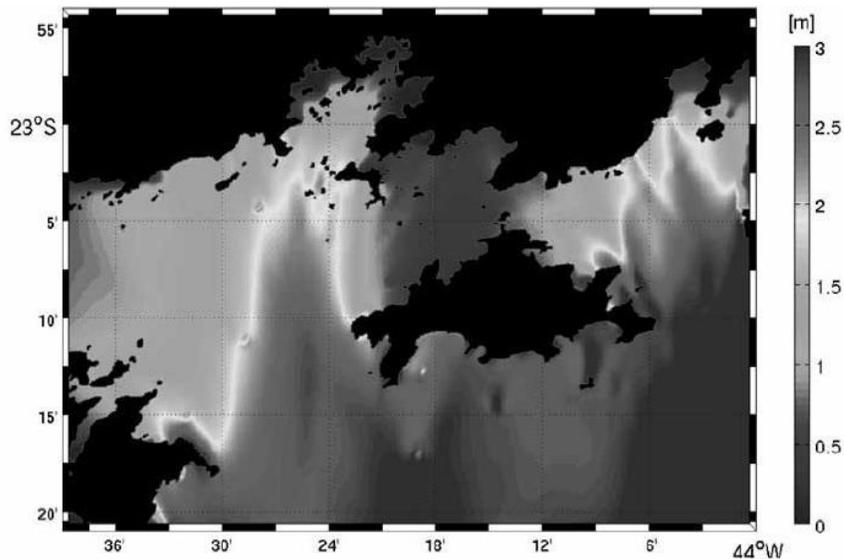
Figura 7: Altura significativa de onda em situação normal na Baía da Ilha Grande no dia 04/01/2009 [12].



A Figura 8 mostra a altura significativa das ondas no dia 08/04/2009, obtidas na baía da Ilha Grande com a presença de um intenso evento de ressaca. Apresentam alturas médias de 0,5 m a 2,5m em águas marinhas que abrange Angra dos Reis [12].

Claramente é visto um campo de ondas heterogêneo, com uma zona de sombra ao norte da Ilha Grande, na enseada de Angra dos Reis. Essa sombra é devida ao fato da Ilha servir como anteparo, ou seja: a Ilha Grande bloqueia parte dos ventos do Atlântico, bloqueando, conseqüentemente, as ondas, fazendo com que essa área seja de baixo aproveitamento energético. É possível observar também que as ondas diminuem gradativamente à medida que penetram na Baía, sugerindo a influência dos fenômenos não conservativos presentes em águas rasas, acarretando perda de energia [12].

Figura 8. Altura significativa de onda com ressaca na baía da Ilha Grande no dia 08/04/2009 [12].



Com base no referido estudo sobre a energia das ondas em Angra dos Reis e, em detrimento da falta de dados oceanográficos na cidade em questão serão descritas três áreas que apresentam condições, aparentemente, propícias para o aproveitamento e conversão da energia das ondas de acordo com aspectos econômicos, proximidades à população e potencial teórico. São elas: Baía do Retiro, Baía ou Enseada de Angra dos Reis e Sul da Ilha Grande. Será discutido, em paralelo, vantagens/desvantagens e os tipos de dispositivos que poderiam ser utilizados nessas áreas, dado o perfil de cada local.

**Figura 9: Mapa satélite de Angra dos Reis, mencionando áreas de possíveis aproveitamentos da energia das ondas**



#### **A- Área 1**

Localizada na baía, ou enseada, de Angra dos Reis, abrangendo toda a parte frontal do centro de Angra dos Reis e grande parte das atividades econômicas do município como o turismo, pesca, indústrias portuárias e navais.

#### **Vantagens da Utilização de Conversores de Ondas**

Trata-se de uma área com intensa atividade industrial, reparos de plataformas, descarregamento de petróleo, importação e exportação de produtos portuários e com grande densidade demográfica. O uso de conversores de ondas em eletricidade neste local poderia suprir parte da demanda de energia nessa região, principalmente, por questão de proximidade ao mar e das indústrias próximas à costa.

### **Desvantagens da Utilização de Conversores de Ondas**

É uma área com grande fluxo de embarcações. A implementação dos conversores poderiam atrapalhar o tráfego naval ou até mesmo acarretar acidentes. Além disso, essa região apresenta uma baixa altura de onda, como observado na Figura 8, cerca de 0,5m, decorrente do bloqueio natural da Ilha Grande que faz com que os ventos, e as ondas, cheguem com menos intensidade nessa área.

### **Dispositivos de Ondas que Poderiam ser Utilizados**

Com base nos aspectos apresentados, os dispositivos que poderiam ser utilizados na área 2 também podem ser utilizados na área 1, devido à semelhança dos dados geográficos e demográficos. De uma forma geral, os aspectos geográficos locais fariam com que os dispositivos de conversão não operassem em sua capacidade total, tendo em vista o baixo potencial energético das ondas locais. Apesar dos dados locais não serem favoráveis à captação da energia das ondas de uma forma abrangente e com grande potencial, a utilização de um dispositivo de conversão, conforme o ilustrado na Figura 4 poderia suprir a demanda de uma empresa, pequenos bairros e ilhas presentes na região.

### **B- Área 2**

Localizada na baía da Ribeira, a maior reentrância da costa dentro da baía da Ilha Grande. Em seu interior ficam as enseadas da Japuíba, do Ariró e de Bracuí. Tem como características grande número de ilhas rochosas e com vegetação abundante, geralmente rodeada por pedras descobertas e submersas, com profundidades de 3m a 14m [22].

### **Vantagens da utilização de Conversores de Ondas**

Trata-se de uma área onde se tem uma grande porcentagem da população de Angra dos Reis, consequentemente grande demanda de energia domiciliar, abrangendo os bairros mais populosos como Japuíba, Frade e Bracuí. Portanto a geração de energia elétrica através das ondas poderia suprir parte da demanda de energia das residências locais. Outro aspecto relevante é que essa área apresenta um fluxo de embarcações moderado.

## **Desvantagens da Utilização de Conversores de Onda**

Apresenta uma característica em comum com a área 1: apresentam ondas de alturas significativas baixas decorrente da geografia local. Outro aspecto da região é que as margens são muito sinuosas, podendo ser um obstáculo à utilização de dispositivos costeiros.

## **Dispositivos de ondas que poderiam ser utilizados**

A escolha do dispositivo será baseada de acordo, basicamente, em cima de dois fatores: geografia da região e potência nominal. Critérios baseados no mesmo princípio dos dispositivos criados pela COPPE/RJ foram desenvolvidos propriamente para atuar naquela região, realizando estudos prévios a respeito de amplitude de onda, ventos, margens, leito marinho e entre outros, para o desenvolvimento e o anexo do dispositivo. Com isso, os dispositivos que poderiam ser instalados nesta área apresentariam características para captação da energia em medianos ou baixos regimes de ondas comparados aos dispositivos utilizados nos mares europeus. Levando em consideração esses fatores, os dispositivos poderão ser flutuantes ou submersos. Com exceção dos costeiros que podem não ser um bom investimento, decorrente de margens sinuosas e de manguezais, com áreas de proteção ambiental por parte do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) e com o projeto da APA Tamoios, é necessário um licenciamento prévio para utilização destas áreas costeiras para fins industriais. Assim como na área 1, os dispositivos não operariam em sua capacidade total devido às características das ondas locais.

### **C- Área 3**

Localizada na parte sul da Ilha Grande, abrangendo todo litoral sul da ilha com praias exuberantes, grandes reservas ecológicas e áreas de preservação da biodiversidade e do bioma local. Também tem como característica uma área voltada ao mar aberto com apenas uma ilhota no sudeste, chamada Jorge e Grego.

### **Vantagens da utilização de conversores de ondas**

Trata-se de uma área voltada ao alto mar, portanto, estão sujeitos a grandes ventos e maiores regimes de ondas. As médias de ondas nesta área variam entre 1m e 3m, fazendo com que a área 3 tenha uma maior rentabilidade energética, comparada às áreas 1 e 2, de um equipamento conversor. Por ser uma área que oferece uma captação de energia das ondas de uma forma mais rentável, a utilização de um conversor nesta área supriria a população da Ilha Grande de forma eficiente.

No Brasil a média do consumo de energia elétrica por pessoa atualmente é aproximadamente 49 kWh/mês [15], além disso, de acordo com dados (2010) do IBGE, estima-se que a população da Ilha Grande seja aproximadamente 7.000 habitantes [6], ou seja, através da aplicação desses dados na Equação (1), concluímos que o consumo total de energia na Ilha Grande é cerca de 343.000 kWh/mês

$$E = E_1 * H \quad (1)$$

Para obter um resultado que facilite na identificação de um tipo de equipamento conversor necessário para suprir a demanda energética da Ilha, é necessário que transforme a unidade de kWh para kW<sup>(P)</sup>(P), conforme mostra a equação (2), sendo T o tempo de 720 horas que equivale a 1 mês (30 dias).

$$P = \frac{E}{T} \quad (2)$$

Concluímos que o potencial total da Ilha Grande é aproximadamente 476 kW.

### **Desvantagens da Utilização de Conversores de Ondas**

Por ser uma área mais distante do continente, os gastos com manutenção de equipamentos e transmissão de energia através de cabos submarinos poderia ser mais elevado, isso ocorreria se a energia fosse direcionada até a região continental de Angra dos Reis. Dessa forma, a produção de energia, a partir dos equipamentos de conversão, seria restrita, a princípio, à Ilha Grande.

### **Dispositivos de Ondas que Poderiam ser Utilizados**

Baseado nos dados obtidos do potencial de 476 kW da Ilha Grande, os dispositivos poderiam

ser desde submersos como o *AWS* que tem uma potencia de 250 kW com a capacidade de suprir metade da Ilha Grande, ou flutuantes como o *Pelamis* que tem uma potência de 750 kW com capacidade para suprir totalmente a Ilha Grande. Os dispositivos costeiros apresentam um entrave nessa área, como já citado, o litoral sul da Ilha Grande apresenta grandes áreas de proteção ambiental, algumas com o bioma totalmente preservado, utilizado apenas para estudos da biodiversidade terrestre e marinha, outras áreas utilizadas apenas para o turismo. Com base no contexto já apresentado, é sugerido que sejam feitos estudos prévios mais precisos sobre dados da região para a escolha do dispositivo de conversão, para que ele opere em sua capacidade total de acordo com o aspecto da área em que o mesmo está localizado.

## **CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Neste artigo foram feitas análises sobre o aproveitamento da energia das ondas, para a conversão em energia elétrica, no Brasil e no mundo, com ênfase no litoral de Angra dos Reis. Mesmo com escassos materiais para pesquisas referenciais, foram coletados dados teóricos, gráficos, estudos geológicos e ambientais, para melhor compreensão das regiões estudadas. Não foram apresentados cálculos sobre energia cinética, potencial e características de uma onda e nem sobre o melhor dispositivo a ser usado com os tipos de ondas/correntes a serem encontradas na região.

De acordo com os dados coletados, podemos constatar o grande potencial da energia dos oceanos, que tem como característica o seu amplo potencial para produção de energia. O referido trabalho debate sobre a constante evolução desse tipo de aproveitamento energético. Gradativamente têm-se aprimorado os dispositivos de conversão de energia, possibilitando, então, diminuir os custos de produção e aumentar o rendimento energético. Estimativas mostram que a energia elétrica proveniente dos oceanos irá abranger, aproximadamente, 15% da demanda mundial em 2050 com base em pesquisas realizadas pela *European Ocean Energy Association* (EU-OEA).

No Brasil, o potencial teórico energético das ondas é estimado em 87 GW, desse potencial é possível converter cerca de 20% em energia elétrica, o que equivale a cerca de 17% da capacidade total do país. Além disso, de acordo com Fleming [10] “as ondas possuem um fator de capacidade consideravelmente alto no Brasil, maior do que o de outras energias renováveis, como da eólica, por exemplo”. Essa capacidade pressupõe um aspecto muito promissor no que se refere à utilização desse

tipo de matriz energética no país, servindo de motivação para novos estudos e investimentos na área.

Foram apresentados métodos para conversão da energia das ondas em diversos locais, com base nas características de ondas de cada região, pois vimos que aspectos geográficos e climáticos, como os ventos, têm grande influência no potencial e rentabilidade do aproveitamento da energia das ondas. Um exemplo dessa influência é o caso dos países mais ao norte ou ao sul do globo, que apresentam condições mais favoráveis à captação da energia das ondas do que os países mais ao centro do globo.

O recomendável seria desenvolver um dispositivo próprio através de estudos e dados do referido local, como os dois dispositivos de conversão criados e desenvolvidos pela COPPE/RJ, dispositivos nos quais foram projetados levando em consideração condições específicas do local.

No desenvolvimento do presente estudo percebeu-se a falta de dados oceanográficos do local escolhido, que no caso da energia de ondas foram utilizados dados gerados por um modelo numérico, que podem servir de subsídio para levantamentos de climas de ondas reais. Portanto, é claramente notável que as energias das ondas estão em um estado de poucos avanços e desenvolvimento. Entretanto, há um oceano de possibilidades e um potencial que não pode ser ignorado. Com base nesse contexto, recomenda-se que sejam feitos estudos, pesquisas e levantamento de dados mais precisos das energias, assim como também das formas, das ondas em Angra dos Reis e, mostrando áreas específicas, potenciais técnicos e teóricos.

## **AGRADECIMENTOS**

O apoio financeiro fornecido pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio de Janeiro -CEFET /RJ- Campus Angra dos Reis

## **REFERÊNCIAS**

- [1]. ABRAHAM, N. J., et. al. *Early onset of industrial-era warming across the oceans and continents*, Nature, volume 536, 2016.
- [2]. ARKHIPKIN, V. S., et. al. Assessing the potential of wave energy in coastal waters of Crimea península. *Al'tern. Energy Ekol.*, N. 20, 25–35, 2015
- [3]. AQUA Marine Power. Disponível em <http://www.aquamarinepower.com/>. Acesso em: maio 2019.

- [4]. AQUARET. Disponível em: <http://www.aquaret.com/index.php?lang=pt>. Acesso em: maio 2019.
- [5]. AWS Oceanenergy. Disponível em <http://www.awsocan.com/home.aspx?ln=3>. Acesso em: maio 2019.
- [6]. BAÍA da Ilha Grande. Disponível em: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-publicacoes/publicacoes/rotcs/077-104b-Baia-da-Ilha-Grande.pdf>. Acesso em: maio de 2019.
- [7]. CENTRAL Nuclear de Angra dos Reis. Disponível em: <http://www.eletronuclear.gov.br/AEmpresa/CentralNuclear.aspx>. Acesso em: maio 2019.
- [8]. MOTA, Cláudio, *País começa a explorar energia limpa das ondas*. In: O Globo. Disponível em: <http://oglobo.globo.com/sociedade/ciencia/pais-comeca-explorar-energia-limpa-das-ondas-5122838>. Acesso em: maio de 2019.
- [9]. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). *Estudo de eficiência energética, consumo de energia elétrica no Brasil: Análises setoriais*, Rio de Janeiro, 116p, junho 2014 .
- [10]. Fleming, F. *Avaliação do potencial de energia oceânica no Brasil*. 2012. 100f. Dissertação de mestrado – UFRJ/ COPPE/ Programa Planejamento Energético, 2012.
- [11]. GLOBAL Ocean Associates. *An Atlas of Oceanic Internal Solitary Waves*. 2002.
- [12]. Godoi, V. A.; Calado, L.; Watanabe, W. B.; Yaginuma, L. E. & Bastos M. Evento extremo de ondas na Baía da Ilha Grande: um estudo de caso. *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*, Campos dos Goytacazes/RJ, 2011.
- [13]. HAMMACK, J. L., HENDERSON, D. M. Resonant interactions among surface water waves. *Annu. Ver. Fluid Mech.* 25, 55-97, 1993.
- [14]. HISTORY of EWP unit design. Disponível em <https://www.ecowavepower.com/history-of-ewp-unit-design/>. Acesso em: maio 2019.
- [15]. ILHA Grande. Disponível em <http://www.ilhagrande.com.br/ilha-grande/localizacao-e-dados/> . Acesso em: maio 2019.
- [16]. Instituto Estadual do Ambiente (INEA). *Diagnóstico do setor costeiro da baía da ilha grande: subsídios à elaboração do zoneamento ecológico-econômico costeiro*. Rio de Janeiro, 244 p. 2015.
- [17]. OCEAN Energy, a world of energy. OE Buoy. Disponível em <http://www.oceanenergy.ie>. Acesso em: maio 2019.
- [18]. OPT's Power Bouy. Disponível em: <http://www.oceanpowertechnologies.com>. Acesso em: maio 2019.

- [19]. PELAMIS Wave Power. Disponível em <http://www.pelamiswave.com>. Acesso em: maio 2019.
- [20]. Reis, Pedro. Nova tecnologia reduz custo de geração de eletricidade a partir da energia das ondas. *Portal da Energia: energias renováveis*. 2017. <https://www.portal-energia.com/nova-tecnologia-reduz-custo-geracao-eletricidade-energia-das-ondas/>. Acesso em: maio 2019.
- [21]. RENZI, E., Dias, F. Motion Resonant modes of large articulated damped oscillators in waves. *Journal of Fluids and Structures*. V. 49, 705-715, 2014.
- [22]. RONCHI, F. P.; SCHAEFFER L. Classificação das tecnologias para conversão de energia das ondas. *Classificação ondas*, 2010.
- [23]. SAAVEDRA, O. R. *Potencial Energético do Maranhão: Energia Oceânica*. Disponível em <http://www.seme.ma.gov.br/files/2016/11/Energias-de-Oce%C3%A2nicas-nov2016.pdf>. Acesso em: maio 2019.
- [24]. SOUZA, R. A. *Escolha da tecnologia de conversão da energia das ondas em energia elétrica*. 2011. 121f. Dissertação de mestrado. Curso de pós-graduação em Engenharia Oceânica. Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande, 2012.
- [25]. STAGG, A.; GOFF, M.; JEANS, G.; HARINGTON-MISSIN, L.; BASCHENIS, C. *Soliton Early Warning System for Offshore Applications*. 2010. Disponível em [http://www.ofeg.org/np4/file/85/Soliton\\_Early\\_Warning\\_System.pdf](http://www.ofeg.org/np4/file/85/Soliton_Early_Warning_System.pdf). Acesso em: maio de 2019.
- [26]. XIE, X.D.; WANG, Q., WU, N. Energy harvesting from transverse ocean waves by a piezoelectric plate. *International Journal of Engineering Science*, V. 81, 41-48, 2014.
- [27]. WAGNER, Felipe. Quais são as principais fontes energéticas na indústria? *RW Engenharia*. 2015. Disponível em <https://www.rwengenharia.eng.br/quais-sao-as-principais-fontes-energeticas-na-industria/>. Acesso em: maio 2019.
- [28]. WAVE Dragon. Disponível em <http://www.wavedragon.net/>. Acesso em: maio 2019.

**1 Wellerson A. REIS. Graduação em Engenharia Mecânica. Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, Brasil. [wellerson.reis@gmail.com](mailto:wellerson.reis@gmail.com)**

**2 Ronney M. A. BOLOY. Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade de Oriente (UO). Santiago de Cuba. Cuba. Mestre e Doutor em Engenharia Mecânica na área de Transmissão e Conversão de Energia pela Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (FEG) da Universidade Estadual Paulista (UNESP) Júlio de Mesquita Filho. Professor DIII-III associado ao Departamento de Engenharia Mecânica do CEFET/RJ sede Maracanã. Líder do Grupo de Pesquisa em Empreendedorismo, Energia, Meio Ambiente e Tecnologia (GEEMAT/CNPq). Atua principalmente nos seguintes temas de pesquisa: Modelagem e Simulação Computacional, Energias Renováveis, Sistemas de**

Cogeração de Energia, Termoeconomia, Eficiência Ecológica, Análise de Ciclo de Vida, Produção de Biocombustíveis, Produção de Bioenergia. Professor Permanente do Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Produção e Sistemas - PPPRO CEFET/RJ. Integrante do Comitê Institucional de Sustentabilidade do CEFET/RJ. Membro do Grupo Nacional de Aproveitamento Energético dos Resíduos Agropecuários para Produção de Biogás da Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica (REPCT). Coordenador Regional de Biocombustíveis na REPCT. Responsável pelos Programas de Dupla Diplomação no CEFET/RJ. Desde 2018, integra o Banco de Avaliadores do Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior - BASis INEP-MEC. Desde 2018 é pesquisador do Grupo VALORIZA-IPORTALEGRE, Portugal. [ronney.boloy@gmail.com](mailto:ronney.boloy@gmail.com)

3 Luis Fernando dos SANTOS. Possui graduação em Licenciatura Plena em Física pela Universidade Federal de Mato Grosso (2006), mestrado em Física pela Universidade Federal de Mato Grosso (2009) e doutorado em Física pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2013). Atualmente é professor ebtt do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Tem experiência na área de teoria quântica de campos, com ênfase em Sistemas integráveis. [lfsantos18@gmail.com](mailto:lfsantos18@gmail.com)

4 Jonni Guiller Ferreira MADEIRA. Jonni Guiller Ferreira Madeira is a mathematician with a Masters degree in Nuclear Engineering and PhD in Applied Math. He is a researcher and teacher at the Federal Center for Technological Education Celso Suckow da Fonseca (CEFET-Angra dos Reis(Brazil)). Experience in following scientific areas: - Biofuels production (Biogas, Syngas from Biomass, Biohydrogen); - Bioenergy production ; Thermoeconomic tools; Life Cycle Analysis; Ecological Efficiency, Mathematical Modeling, Nuclear Energy. researcher associated to the following research groups: Researcher at Group Nanoscience and the Environment (<http://dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/7334092806079383>) Researcher at Group Agromatemática (<http://dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/2905785665606353>) [gaiada123@hotmail.com](mailto:gaiada123@hotmail.com)

5. A. L. PEREIRA