

## AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA ENERGIA ONDOMOTRIZ COSTEIRA NO LITORAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

Adriano Silva Bastos<sup>1</sup>  
Carlos Barreira Martinez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Universidade Federal de Itajubá*

DOI: 10.47168/rbe.v28i3.676

### RESUMO

O planejamento energético objetiva sobretudo assegurar a oferta e o acesso à energia. Porém, atualmente, essa energia deve ser de fonte limpa e renovável, estando de acordo com as premissas de preservação ambiental e transição energética, visando uma matriz descarbonizada que contribua efetivamente com a minimização dos efeitos da mudança climática. Observando a geomorfologia brasileira é notório o grande potencial de energia oceânica disponível. Dispondo de 7.491km de costa, foi auferido ao litoral brasileiro um potencial total estimado da ordem de 998.640 GWh.ano<sup>-1</sup>, distribuído entre energia ondomotriz e maremotriz. Este trabalho objetivou prospectar, identificar e quantificar energeticamente, localidades propícias à instalação de parques geradores ondomotrizs com dispositivos conversores do tipo coluna de água oscilante. A pesquisa partiu de um levantamento georreferenciado da costa paulista, que resultou em 94 localidades com afinidade à implantação desses parques, conferindo ao litoral uma potencialidade bruta de 25.259 GWh.ano<sup>-1</sup> (2,88 GW), similar ao consumo total de eletricidade no Estado de Santa Catarina em 2020. A energia ondomotriz é sinérgica com os conceitos de sustentabilidade preconizados pelos tratados e metas ambientais visando a mitigação das mudanças climáticas, podendo ser considerada um fator de aceleração para a transição energética, sendo propícia a ser considerada nas análises futuras pelo planejador do sistema.

Palavras-chave: Energia oceânica; Energia ondomotriz; Coluna de água oscilante.

### ABSTRACT

The energy planning aims to ensure the supply and access to energy. However, nowadays, this energy must be clean and renewable,

complying with the principles of environmental preservation and energy transition, targeting a decarbonized matrix that effectively contributes to minimize the effects of climate change. Observing the Brazilian geomorphology, it is notorious the great ocean energy potential available. With more than 7,491 km of coastline, the Brazilian coast has an estimated total potential of 998,640 GWh.year<sup>-1</sup> distributed between wave and tidal energy. This paper aimed to identify and energetically quantify sites suitable for the installation of wave power generating plants with oscillating water column converters. The research started from a georeferenced survey of the São Paulo coast, which resulted in 94 sites with affinities to the implementation of these farms, resulting a gross potential of 25,259 GWh.year<sup>-1</sup> (2.88 GW), like the total electricity consumption of the State of Santa Catarina in 2020. The wave energy is synergetic with the sustainability concepts preconized by the environmental treaties and goals and can be an accelerating factor for the energy transition, being able to be included in future analyses by the system planner.

Keywords: Ocean energy; Wave energy; Oscillating water column.

## 1. INTRODUÇÃO

Garantir a oferta e o acesso à energia elétrica, é premissa do planejador do setor elétrico nacional. Entretanto, é necessário considerar qual fonte a está ofertando. É preciso garantir que essa esteja de acordo com conceitos de sustentabilidade amplamente discutidos e implementados pelo conjunto de nações desenvolvidas do mundo. A “Transição Energética” é aspecto fundamental desses conceitos. Segundo Smil (2010), as transições passadas e futuras da base energética da humanidade são processos inerentes a evolução natural, sendo realizadas por meio de mudanças na tecnologia, na economia e na sociedade. O modelo de “Transição” atualmente discutido no mundo preconiza mudanças na economia, por meio da tecnologia juntamente com o compromisso da sociedade, visando transformar a base energética atual em uma base de menor consumo de carbono. Portanto, é papel do indivíduo, do setor produtivo e do Governo, na figura do Planejador, assegurar o uso consciente e sustentável dos recursos naturais. Permitindo o desenvolvimento econômico sem prejuízo ao meio ambiente.

No Brasil, o Planejamento Energético é balizado nas diretrizes do Plano Nacional de Energia – PNE (BRASIL, 2020). O documento visa explanar as estratégias e metas do Planejamento para um horizonte de 30 anos. O documento mais recente, PNE 2050, partiu da premissa de um cone de incertezas, haja visto o cenário atual da pandemia do SARS-COV 2 (COVID19). Nele, foram estabelecidos dois cenários

extremos, um cenário de crescimento econômico estagnado, bem pessimista, com a manutenção da demanda de energia elétrica atual, e outro bem otimista, com crescimento econômico, demandando uma oferta de eletricidade 330% maior que a atual. Caso o cenário otimista se concretize, o Planejamento terá grandes desafios para o atendimento da demanda. A oferta de eletricidade terá que ser elevada dos 621.219 GWh.ano<sup>-1</sup> registrados no ano de 2020, para 2.111.160 GWh.ano<sup>-1</sup>, em 2050 (BRASIL, 2020; EPE, 2021).

O PNE 2050 (BRASIL, 2020) considera a expansão da matriz sob a ótica da Transição Energética, sendo essa pautada como uma de suas questões transversais e avaliada no planejamento na forma de dois cenários. O primeiro, expandindo de uma forma 100% renovável, em que não há incremento de fonte fóssil. O segundo, admitindo o incremento fóssil, desde que haja sequestro de carbono, tornando a expansão 0% emissora. Caso o cenário de estagnação econômica venha a se concretizar, a expansão da matriz se dará de forma natural, sem requerer do planejador uma estratégia mais agressiva. Por outro lado, se o cenário de alto crescimento econômico vier a se concretizar, a expansão da matriz deve ocorrer de forma acelerada, impondo ao planejador desafios para assegurar a oferta. Como solução aos desafios de atendimento da alta demanda, o Plano propõe incentivar projetos fotovoltaicos e eólicos, que são fontes limpas e renováveis, totalmente sinérgicos com os conceitos de sustentabilidade e Transição Energética. Entretanto, também considera a implantação de projetos térmicos a base de carbono e de novos projetos de grandes usinas hidrelétricas, incluindo, se necessário, usinas com restrições ambientais de Unidades de Conservação ou Terras Indígenas, o que não condiz com os conceitos de sustentabilidade e Transição Energética apresentados anteriormente (SMIL, 2010). Outras soluções apresentadas no Plano incluem o armazenamento químico (baterias) e físico (reversibilidade das hidrelétricas), a repotenciação de usinas existentes e a inserção de unidades geradoras auxiliares para um melhor aproveitamento da energia hidráulica existente.

Em vista do exposto, o Planejamento Energético necessita considerar com mais afinco a inserção de outras fontes alternativas, como opção à geração fóssil ou às usinas hidrelétricas que têm restrições ambientais. Mesmo que essas alternativas sejam disruptivas, como é o caso da energia oceânica, da energia geotermal, dos concentradores solares e hidrogênio. Considerando ainda desenvolver outras novas tecnologias por meio da geração distribuída, ampliando os aspectos regulatórios e incluindo incentivos e subsídios fiscais para o seu desenvolvimento.

Observando as características geomorfológicas do Brasil, é de extrema relevância considerar a inserção da energia oceânica na matriz energética e no planejamento futuro. No território brasileiro há

uma faixa litorânea de 7.491 km, que inclui diversas geometrias e morfologias de orla, algumas extremamente propícias a implantação de parques geradores oceânicos. Segundo Tolmasquim (2016), o oceano é considerado um enorme reservatório de energia térmica e mecânica. Porém, com as atuais tecnologias é possível explorar com eficiência somente a energia mecânica. Considerada uma fonte limpa, com alta densidade energética e de escala mundial, a energia oceânica vem a cada dia ganhando mais espaço nos debates e pesquisas em diversos países. Contudo, ainda se trata de uma tecnologia em fase de desenvolvimento, o que impacta significativamente seu custo de implementação e geração de eletricidade, mas futuramente pode ter uma grande representatividade na matriz energética mundial (FALCÃO, 2010; KHALIGH & ONAR, 2010; IRENA, 2020).

A energia oceânica pode ser dividida em cinco distintas formas de conversão: a energia do gradiente de salinidade; a energia do gradiente de temperatura; a energia cinética das correntes de marés; a energia potencial da amplitude das marés; e a energia potencial e cinética das ondas (ZABIHIAN & FUNG, 2011; TOLMASQUIM, 2016). Cada tipo de energia possui um dispositivo conversor adequado, e cada uma possui uma região de exploração diferente, podendo ser na linha costeira (*onshore*) como afastada dela (*nearshore* e *offshore*). Assim como as demais fontes renováveis, a fonte oceânica possui sazonalidade definida e pode ser inserida na matriz com vistas a uma complementariedade entre as demais fontes. Por se tratar de uma energia ainda não desenvolvida no Brasil, é relevante considerar sua exploração na linha costeira, devido a facilidade de acesso para a implantação e manutenção e, sobretudo, conexão com a rede elétrica. Dentre as energias oceânicas a energia ondomotriz é objeto de estudos desde a década de 1970, principalmente utilizando o dispositivo conversor de coluna de água oscilante – CAO (*oscillating water column* – OWC) (FALCÃO & HENRIQUES, 2016).

Os dispositivos conversores ondomotrizados do tipo coluna de água oscilante possuem um arranjo simples, composto por uma câmara de compressão com abertura para captar as ondas do mar e um conduto de saída de ar onde está alocado o conjunto turbogerador. Estes são inspirados nas cavidades ressonantes naturais que se formam em encostas rochosas e expõem a água do mar na forma de um Geisel (*blowholes*), os quais são exemplificados pela Figura 1.

Este trabalho se propôs a identificar quantitativamente a potencialidade da energia oceânica ondomotriz no litoral paulista. Foi realizada uma prospecção, por meio da ferramenta de informações geográficas QGIS®, de locais propícios a implantação de parques geradores ondomotrizados e a contabilização energética desses locais. O trabalho se estrutura com a contextualização do cenário brasileiro e das

cinco diferentes energias contidas no oceano, seguido pela apresentação do potencial energético global e local. Apresenta, ainda, a forma energética contida em uma onda e seus equacionamentos de obtenção da energia, o processo de desenvolvimento da pesquisa e os resultados obtidos.

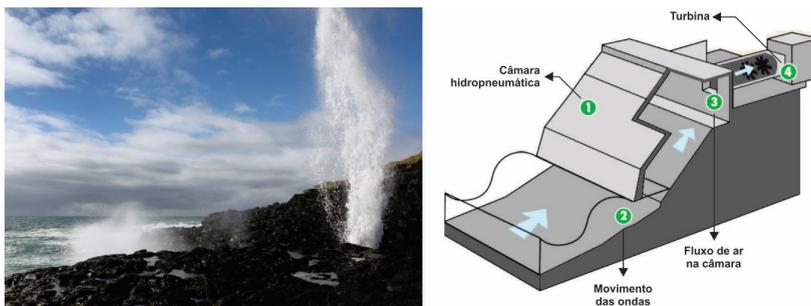


Figura 1 - Blowhole e um dispositivo característico de coluna de água oscilante. Fonte: researchgate.net

## 2. ENERGIA OCEÂNICA

### 2.1 Formas de conversão

Como visto, a energia oceânica pode ser dividida em cinco distintas formas de conversão. Elas são descritas a seguir.

#### 2.1.1 Energia do gradiente de salinidade

Dentre as cinco formas de aproveitamento das energias contidas no oceano, a do gradiente de salinidade é a mais recente, estando ainda em fase de pesquisas. O aproveitamento energético é obtido por meio do diferencial de concentração salina entre a água do mar e a água doce, ou somente aproveitando o diferencial da água do mar. Até o momento existem dois processos viáveis de obtenção de energia elétrica por meio do gradiente de salinidade, sendo o primeiro a Eletro-Diálise Reversa (RED), que extrai energia de forma direta do processo químico, na forma da diferença entre o potencial químico das soluções de diferentes concentrações, utilizando membranas para a diálise elétrica. O segundo modo é a Pressão Osmótica Retardada (PRO), que utiliza o diferencial de pressão resultante da osmose. No processo, a água doce filtrada migra através da membrana para o lado da água salgada pressurizada, promovendo um aumento na pressão, que é utilizado para movimentar uma turbina e gerar energia (OES, 2021; POST et al., 2007).

### 2.1.2 Energia do gradiente de temperaturas

O aproveitamento energético é baseado na diferença de temperaturas da água nos oceanos. A irradiação solar aquece a camada superficial oceânica, porém, nas camadas inferiores, essa energia se dissipa, gerando um diferencial de temperaturas. O processo de conversão em energia elétrica utiliza um ciclo Rankine com emprego de um fluido térmico em circuito fechado. O aquecimento do fluido ocorre com emprego da água quente da superfície, que é bombeada para o evaporador, enquanto o vapor do fluido é condensado pela água fria do mar profundo, também bombeada. Para se realizar esse processo é exigido um mínimo de 20°C de diferença de temperatura, que só é encontrado abaixo de 800 m de profundidade (TOLMASQUIM, 2016; ZHANG et al., 2018).

### 2.1.3 Energia das correntes de marés

O aproveitamento da energia das correntes de marés se dá pela transformação da energia hidrocínética do movimento ascendente e descendente da maré astronômica (descrita no próximo item) em energia elétrica, por meio de um conjunto turbina gerador. Esse aproveitamento apresenta estreita semelhança com a energia eólica, mas possui a capacidade de produzir quatro vezes mais energia por ano do que a energia eólica, se comparadas a sua potência nominal. O fato é devido a densidade da água e a continuidade sistêmica do ciclo de marés. A maior densidade da água também permite a conversão de energia em velocidades bem mais baixas que a do ar, chegando a atingir velocidades de 2 m/s. Seu posicionamento para um melhor aproveitamento energético está entre 20m e 30m de profundidade, afastados a 1 km da costa (ZABIHIAN & FUNG, 2011; HUSSAIN et al., 2017).

### 2.1.4 Energia da amplitude das marés

Dentre as cinco formas de energias oceânicas, a energia da amplitude de maré é a mais consolidada, e possui aplicação comercial desde a década de 1960 (TOLMASQUIM, 2016). Seu potencial energético é devido ao movimento ascendente e descendente das marés, resultado da interação das forças rotacionais e gravitacionais formadas entre o Sol, a Lua e a Terra (maré astronômica). Nos períodos de lua cheia e lua nova, quando há o alinhamento entre o Sol, a Terra e a Lua, as forças gravitacionais exercidas por esses corpos celestes são somadas, ocasionando uma maré com maior amplitude. Nas luas crescente e minguante, por não haver o alinhamento, resulta em uma maré de menor amplitude. Além desses fatos, a posição geográfica também

também influencia. A região Equatorial possui menor distância em relação à Lua, portanto, sofre uma ação maior da força gravitacional. O princípio de funcionamento é semelhante ao consolidado pelas usinas hidrelétricas. Com o movimento ascendente do fluxo de maré, a água é reservada por meio de um barramento. Quando a maré abaixa e o fluxo se torna descendente, a água acumulada é então turbinada, gerando eletricidade (KHALIGH & ONAR, 2010; TOLMASQUIM, 2016; HUSSAIN et al., 2017).

### 2.1.5 Energia das ondas

Dentre as cinco formas de aproveitamento da energia oceânica, a energia das ondas é a que possui maior densidade energética, chegando a ser 30 vezes mais densa que a solar (TOLMASQUIM, 2016). O processo constitutivo de uma onda concentra a energia eólica e solar em forma de energia cinética e potencial, e transporta energia de um lugar a outro. O efeito do aquecimento da atmosfera, por meio da irradiação solar, gera um diferencial de pressão entre as camadas de massas de ar, ocasionando um deslocamento vertical dessas massas. Ao se deslocarem, essas camadas formam um duto de empuxo e sucção, que originam os ventos. Por sua vez, esses ventos entram em contato com a superfície oceânica, imprimindo uma tensão de cisalhamento, dando origem a uma deformação superficial. Quanto mais forte e contínuo for o vento, maior será a amplitude da deformação. Uma vez iniciado esse processo, as ondas podem viajar milhares de quilômetros com perdas insignificantes de energia. Em uma onda há a energia cinética, proveniente do deslocamento horizontal da massa de água, e a energia potencial, proveniente do movimento circular orbital das partículas de água contida na massa deslocada (KHALIGH & ONAR, 2010; ZABIHIAN & FUNG, 2011; TOLMASQUIM, 2016).

## 2.2 Potencial oceânico

Segundo os dados da *International Renewable Energy Agency* – IRENA (IRENA, 2020), o potencial teórico estimado para o aproveitamento das energias oceânicas é da ordem de 76.350 TWh.ano<sup>-1</sup>. Esse potencial é subdividido em 1.200 TWh.ano<sup>-1</sup> de energia maremotriz de amplitude, 29.500 TWh.ano<sup>-1</sup> de energia ondomotriz, 44.000 TWh.ano<sup>-1</sup> de energia do gradiente de temperatura e 1.650 TWh.ano<sup>-1</sup> do gradiente de salinidade, conforme a Figura 2a (IRENA, 2020).

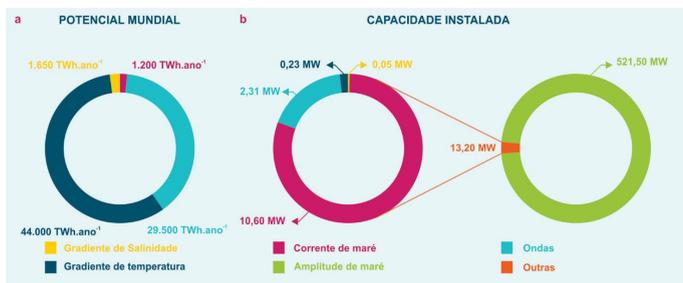


Figura 2 - Potencial teórico de energias oceânicas.  
Baseado em IRENA (2020)

Atualmente, existe uma capacidade instalada e operativa de 534,69 MW em todo o mundo. Essa capacidade se subdivide nas cinco formas de aproveitamento de energia, sendo, maremotriz de amplitude (barramento), responsável por 521,50 MW do total instalado, cinética de corrente, com 10,60 MW, ondomotriz por 2,31 MW, gradiente de temperatura com 0,23 MW e gradiente de salinidade com 0,05 MW. As proporções são apresentadas graficamente na Figura 2b (IRENA, 2020). Entretanto, em cenário de curto prazo serão agregados mais 1.907 MW de energia de corrente de maré e 149,7 MW de energia ondomotriz, o que fará com que a capacidade instalada seja de 2.591,36 MW. Estima-se que até 2030, a energia oceânica atinja 10 GW de potência instalada (IRENA, 2020).

O potencial teórico oceânico calculado para o Brasil é da ordem de 114 GW, distribuídos em cinco regiões e duas formas de conversão de energia, conforme apresentado na Figura 3, em uma adaptação de (TOLMASQUIM, 2016).



Figura 3 - Potencial teórico brasileiro para aproveitamento oceânico.  
Adaptado de Tolmasquim (2016)

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo visa a prospecção e quantificação de localidades propícias à implantação de parques geradores ondomotrizs no Estado de São Paulo. Como dispositivo conversor, foi selecionado o tipo coluna de água oscilante (CAO) costeiro (*onshore*). Esses dispositivos consistem em uma câmara hidropneumática preenchida com ar e que, por meio de uma abertura voltada para o oceano, permite que a ação de elevação e rebaixamento de uma onda exerça uma força de pressurização e despressurização dessa câmara, forçando o ar deslocado na saída a acionar uma turbina (FALCÃO, 2010; LEKUBE et al., 2018). A instalação do dispositivo requer que a área seja de encosta rochosa, para sua construção ou fixação. Essas áreas, em sua maioria, possuem uma declividade mais acentuada, o que também é requerido, pois além de permitir a instalação da porção submersa do dispositivo, também contribui com uma menor dissipação da energia pelo atrito com o fundo. Para tanto, foi realizado o levantamento georreferenciado do litoral paulista com a determinação do potencial energético de geração.

#### 3.1 Levantamento georreferenciado

Para o desenvolvimento do trabalho foi utilizado o *software* QGIS 3.16 Hannover® como ferramenta de georreferenciamento, a fim de determinar os possíveis locais de implantação dos parques geradores ondomotrizs. Inicialmente, foi realizado um levantamento de dados geográficos disponíveis nas autarquias, agências e ministérios. Esses dados coletados serviram de suporte para orientar a pesquisa e formaram as seguintes camadas vetoriais: i) divisão territorial das unidades estaduais da Federação (IBGE, 2021); ii) perfil detalhado da costa brasileira (CPRM, 2021); iii) batimetria oceânica com curvas de nível de 20 em 20 metros (CPRM, 2021); iv) geolocalização dos recifes de corais e ilhas (INDE, 2021); e v) unidades de conservação ambiental (IBGE, 2021).

O levantamento teve início no extremo sul do Estado de São Paulo, na coordenada (25°18'47.01" S, 48°5'54.66" W) e se estendeu até o ponto mais norte do litoral, na coordenada (23°22'2.494" S, 44°43'25.58" W). O processo se deu por uma varredura de 1 km em 1 km em toda a extensão litorânea, identificando as localidades que atendessem as condições de serem afloramentos rochosos e possuírem uma declividade mais acentuada (acima de 0,01 m/m). Esses requisitos são para que a estrutura possa ser instalada e para que haja uma menor dissipação energética por conta do atrito com o fundo, e também seja uma área fora da zona de rebentação (Figura 4). Camadas

vetoriais suplementares foram utilizadas para a coleta dos dados. Quando da identificação positiva de um ponto, foi realizada a coleta das coordenadas geográficas, seguida da contabilização da extensão do local e cálculo da declividade a partir do centroide do vetor de extensão. A pesquisa resultou em um mapa georreferenciado (*shapefile*) e um arquivo de dados (*dataset*) com as localidades propícias.



Figura 4 – Representação dos pontos prospectados considerando o afloramento rochoso e a declividade

### 3.2 Determinação do potencial energético

Partindo de estudos apresentados na literatura, foi realizado um levantamento da climatologia de ondas pertinente ao litoral do Estado de São Paulo a fim de determinar a Altura Significativa ( $H_s$ ) e o período de pico ( $T_e$ ) característicos a área de estudo. A Altura Significativa é definida como sendo o parâmetro do espectro de ondas que representa a média das alturas do terço (1/3) superior da amostra, sendo um dado estatístico diferente da altura de onda individual ( $H$ ). Já o período de pico, se refere ao tempo necessário para uma onda se deslocar em um determinado comprimento, de crista a crista (DEAN & DALRYMPLE, 1991: 188). Em Pianca, Mazzini & Siegle (2010), os autores procederam com uma reanálise do clima de ondas brasileiro utilizando 11 anos de dados pretéritos (1997 a 2007) do modelo de ondas *WaveWatch III* (TOLMAN, 2014). Os autores subdividiram o litoral em seis setores ao longo da quebra da plataforma continental brasileira, estando o Estado de São Paulo incluído na região Sudeste (W2). Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 1 na forma de média aritmética dos valores sazonais. Os autores concluíram que há uma diminuição nos níveis de energia do sul para o norte, ao longo de toda a costa brasileira. Mostraram que nos setores W1 a W4 W4 (do extremo

sul do Rio Grande do Sul até o norte de Alagoas) as ondas são mais energéticas no período de inverno, e nos setores W5 e W6 (do Norte de Alagoas ao Amapá) as ondas são mais energéticas no período de verão. Espindola (2017), também realizou uma reanálise do clima de ondas, tendo como entrada do modelo 35 anos de dados pretéritos do projeto ERA-Interim (1979 a 2014). O autor utilizou 49 pontos ao longo de toda a costa brasileira (SP, 36 a 41) e determinou as alturas significativas e períodos de pico, apresentando os resultados em dados relativos à média da amostra (Tabela 1) e do percentil de 95% (ESPINDOLA & ARAÚJO, 2017). Carvalho (2010) também realizou um estudo sobre a climatologia do litoral brasileiro, com uma série de 12 anos de dados pretéritos do modelo *WaveWatch III* (1997 a 2009). O estudo foi separado em 10 áreas de semelhanças referentes aos seus sistemas de ondas, estando o Estado de São Paulo situado na área 4 (A4). O autor caracterizou o clima de ondas determinando as alturas significativas e os períodos de pico, como também a média mensal e anual da energia das ondas (Tabela 1). A parte superior à esquerda da Figura 5 apresenta os pontos de levantamento da climatologia de ondas e suas correlações, enquanto a maior parte da Figura 5 apresenta o detalhamento dos pontos específicos ao Estado de São Paulo.

Tabela 1 - Altura significativa (HS) e Período de Pico (T) médios para o litoral de São Paulo

Correlação entre os pontos			HS médio [m] e T médio [s]			HS [m]	
ESPINDOLA	CARVALHO	PIANCA	ESPINDOLA	CARVALHO	PIANCA	Média	
P36	P20	A4	W2	1,68 m 9,2 s	1,59 m 10,0 s	1,95 m 8,0 s	1,75 m 9,0 s
P37	P19						
P38	P18						
P39	P17						
P40	P16						
P41	P15						

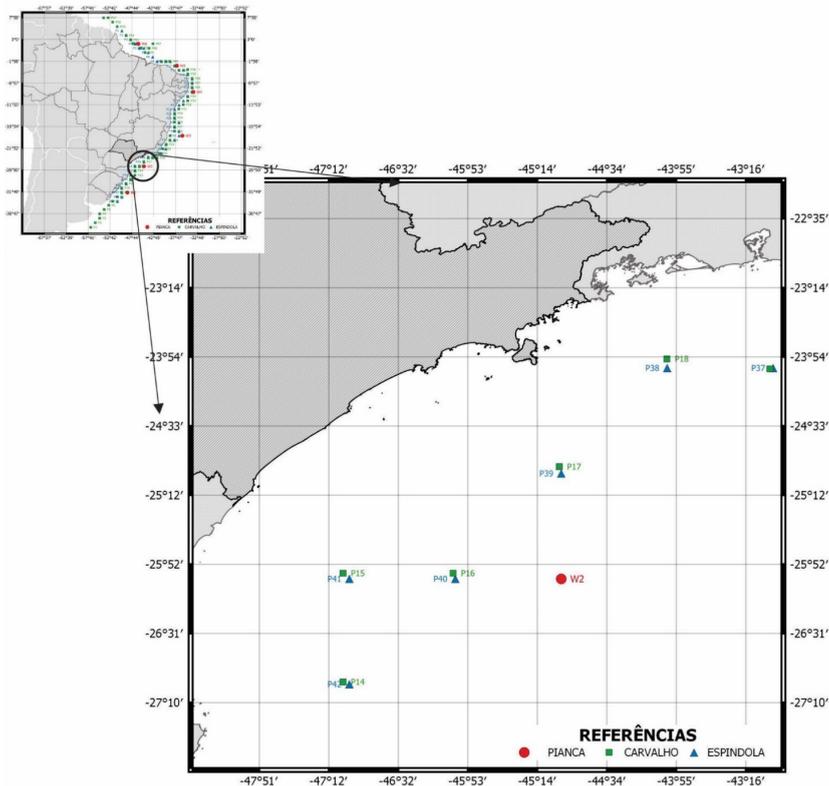


Figura 5 - Levantamento da climatologia de ondas para o estado de São Paulo

Uma onda possui energia potencial ( $EP$ ) e energia cinética ( $EC$ ), sendo ambas determinadas pela altura da onda ( $H$ ), densidade da água do mar ( $\rho$ ) e aceleração da gravidade ( $g$ ), expressas pelas Equações 1 e 2, a seguir. Sendo um sistema conservativo, a energia total, ou seja, a Densidade Energética disponível (equação 3) é obtida pela soma das energias potencial e cinética, sendo expressa em  $[N/m^2]$  (DEAN & DALRYMPLE, 1991; KHALIGH & ONAR, 2010).

$$EP = \frac{1}{16} \rho g H^2 \tag{1}$$

$$EC = \frac{1}{16} \rho g H^2 \tag{2}$$

$$E = EP + EC = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad (3)$$

Para a determinação do Fluxo Energético ( $Ef$ ), que representa a quantidade de energia disponível por metro de frente de onda [W/m], é necessário multiplicar a Densidade Energética pela velocidade de grupo  $Cg$  [m/s], que por sua vez é um fator da celeridade da onda, dada por  $C=\omega/k$ , onde  $Cg=nC$ . Segundo Dean & Dalrymple (1991: 98), o fluxo é dado pela equação 4.

$$Ef = EnC = \left( \frac{1}{8} \rho g H^2 \right) \cdot \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right) \cdot \frac{\omega}{k} \quad (4)$$

Sendo:  $Ef$  o fluxo energético,  $E$  a densidade energética,  $n$  fator de celeridade da onda,  $C$  a celeridade da onda,  $\rho$  a densidade da água do mar,  $g$  a aceleração da gravidade,  $H$  a amplitude da onda,  $k$  o número de onda, que é dado por ( $k=2\pi/L$ ),  $\omega$  a frequência angular ( $\omega=2\pi/T$ ),  $h$  a profundidade local,  $L$  o comprimento da onda e  $T$  o período da onda.

A equação 4 representa o fluxo de energia para ondas individuais e pode ser reescrita em sua forma resumida. Segundo Dean & Dalrymple (1991: 98), o fator  $n$  assume o valor 1/2 para águas profundas e valor 1 para águas rasas. Isso quer dizer que em águas profundas a energia é transmitida à metade da celeridade das ondas, enquanto em águas rasas o fluxo de energia acompanha a mesma velocidade das ondas. Porém, o estado de mar real é descrito como sendo a soma de um grande número de ondas regulares que possuem diferentes frequências, amplitudes e direções, sendo melhor descrita pela variação espectral da função de densidade ou espectro de onda 2D,  $S(f,\theta)$  (CORNETT, 2008 apud FLEMING, 2012). Para análise do fluxo de energia em um espectro, considera-se a energia total (cinemática e potencial) por unidade de área como a integral da densidade energética em função do espectro de ondas  $\theta$  (HOLTHUIJSEN, 2007 apud CARVALHO, 2010). Dada como:

$$Ef = \int_0^{\infty} \rho g E(\omega) \cdot \frac{1}{2} \frac{\omega}{k(\omega)} \left( 1 + \frac{2k(\omega)h}{\sinh(2k(\omega)h)} \right) d\omega \quad (5)$$

$$Ef = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_s^2 T_e \quad (6)$$

Sendo  $Ef$  estabelecido para águas profundas no ponto de análise espectral,  $k$  o número de onda dado por ( $k=2\pi/VL$ ),  $\omega$  a frequência angular ( $\omega=2\pi/VT$ ),  $h$  a profundidade local,  $L$  o comprimento da onda ( $L=(gT^2)/2\pi$ ) e  $T$  o período da onda. O desenvolvimento matemático é demonstrado em Folley (2017).

No entanto, o sistema energético contido no espectro de ondas, ou em uma onda solitária, é conservativo, ou seja, seu fluxo energético ( $Ef$ ) é conservado ao longo do raio de propagação da onda. Mas ao se propagar em sentido a costa há uma mudança na velocidade e altura da onda devido a empolgação e refração, compensando o sistema e mantendo-o conservado. Contudo, há uma dissipação energética por meio do atrito com o fundo do mar. Segundo Ostritz (2012), há uma perda energética entre 5 e 10% durante a aproximação das ondas à costa. Como este trabalho considera o ponto de localização de instalação dos dispositivos conversores em promontórios, ou pontos de acentuada declividade e em afloramentos rochosos, será considerado uma perda de 5% por atrito do ponto de análise espectral do fluxo energético até a costa.

Para determinar a quantidade de energia, para este trabalho foi considerada a altura significativa média ( $H_s$ ) para o Estado de São Paulo como 1,75m e um período de pico de 9 segundos (Tabela 1). O valor de fluxo energético obtido por meio da equação 6 é 12,84 kW/m, já incluído 5% de perda por atrito.

O clima de ondas, o dimensionamento geométrico da câmara de captura e o rendimento da turbina são os fatores que determinam rendimento global de um dispositivo coluna de água oscilante. Para equipar o dispositivo CAO, turbinas de fluxo reversível, auto retificadoras, são a opção mais aceita até o momento (FALCÃO, 2010), podendo ser citada a turbina Wells e suas variantes, apresentadas na Figura 5 (SHEHATA, 2016), a turbina de ação com pás guias e a turbina bi-radial (LOPES, 2017). A turbina Wells é uma máquina de fluxo axial, geradora, que utiliza pás de aerofólio simétrico, dispostas radialmente a 90°. A força tangencial produzida pelo escoamento nas pás do rotor depende apenas do ângulo de incidência do escoamento relativo, independentemente do sentido do escoamento (FALCÃO & HENRIQUES, 2016).

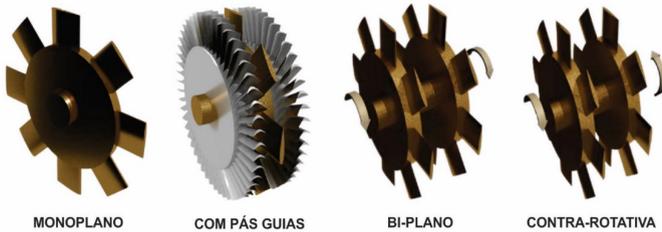


Figura 7 - Turbina Wells e suas variantes

Falcão, Henriques & Gato (2018) analisaram comparativamente modelos de turbinas auto-retificadoras para determinar sua eficiência, e estimaram eficiência entre 53,8% e 63,7% ( $\bar{\eta}=59,04\%$ ) para turbinas Wells monoplano sem aletas guia (em função dependente da solidez do rotor e número de pás); de 62,5% a 70,1% ( $\bar{\eta}=66,3\%$ ) para Wells monoplano com aletas; bi-plano  $\bar{\eta}=53,35\%$  e contra-rotativa  $\bar{\eta}=60,9\%$ . Os autores também concluíram que a turbina Wells monoplano sem pás direcionadoras é a mais barata do conjunto apresentado e que o uso das aletas só se justifica após uma análise de custo e retorno de investimento, pois seu ganho de eficiência em relação ao modelo sem aletas é de apenas 10%.

Falcão (2010) salienta o conceito de Largura Máxima de Captura, que determina uma maior eficiência entre a relação de oscilação de elevação da onda e absorção, sendo apresentado pela equação 7, onde:  $P_{m\acute{a}x}$  é a potência máxima,  $Ef$  o fluxo energético,  $\lambda$  o comprimento da onda,  $g$  a aceleração da gravidade e  $T$  o período da onda.

$$L_{m\acute{a}x} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{Ef} = \frac{\lambda}{2\pi} = \frac{gT^2}{4\pi^2} = \frac{g(9)^2}{4\pi^2} = 20,12m \quad (7)$$

Dizadji & Sajadian (2011) afirmam que a eficiência geral de um CAO depende das eficiências individuais da coluna de ar oscilante e da própria turbina. No seu estudo sobre a geometria da câmara, os autores concluem um rendimento global de 32% para a melhor geometria, com a abertura da câmara em angulação de 30° em relação ao plano vertical. Ibarra-Berastegi et al. (2018) analisaram o desempenho da Usina Ondomotriz de Mutriku entre os anos de 2014 e 2016, e estimaram um rendimento global de conversão de 41%.

Em Babarit (2015), o autor realizou um estudo comparativo sobre rendimento de conversores ondomotrizes e sua largura de captura,

apresentando os rendimentos globais de diversos CAO's. No estudo de Babarit (2015, p. 612), o autor aponta rendimentos globais variando de 7% a 20% para CAO's de primeira geração, e de 22% a 72% para CAO's de terceira geração, do que se estima uma média geral de aproximadamente 44% para o rendimento global.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A prospecção de sítios para a instalação de parques geradores ondomotriz costeiros resultou em 94 localidades apropriadas que apresentaram correspondência positiva quanto às especificidades de instalação de dispositivos CAO costeiro, sendo afloramentos rochosos, com declividade acentuada e fora de área de arrebentação. A varredura se iniciou ao sul do Estado de São Paulo, na coordenada (25°18'47.01" S, 48°5'54.66" W), se estendendo até o norte do Estado na coordenada (23°22'2.494" S, 44°43'25.58" W). A Figura 6, apresenta os sites identificados e o agrupamento pelas Regiões Sul, Central e Norte do Estado, com a apresentação dos valores agrupados pela Tabela 2.

Tabela 2 - seção regional das localidades identificadas para a costa do estado de São Paulo

REGIÃO	COORDENADAS		LOCALIDADES
Região Sul	25°9'59.63"S;	24°11'27.77"S;	18
Região Central	24°1'55.28"S;	23°45'52.80"S;	17
Região Norte	23°45'53.44"S;	23°22'17.17"S;	59

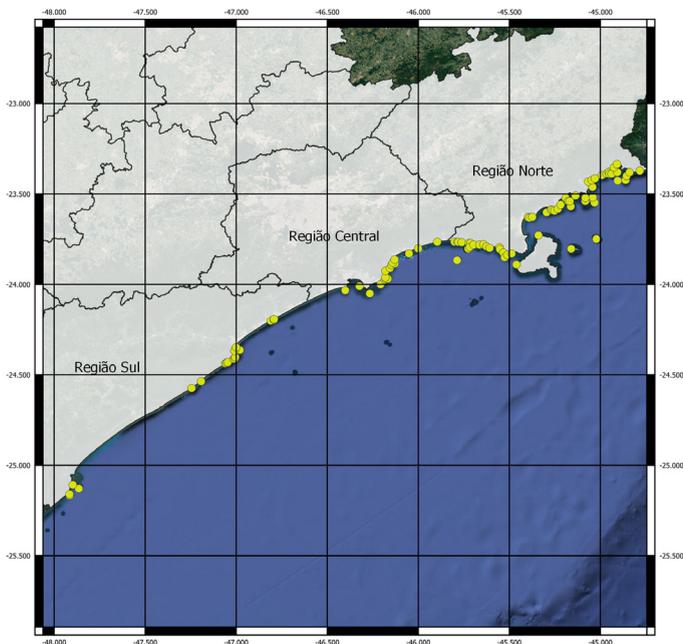


Figura 7 – Localidades identificadas para instalação de parques geradores ondomotrízes

Ao se considerar a extensão total do litoral do Estado de São Paulo, 622 km, pode-se verificar a potencialidade bruta total da costa, que é de 7,99 GW, ou seja,  $69.961 \text{ GW/h.ano}^{-1}$ . Esse valor se refere ao resultado da equação de determinação do Fluxo Energético (equação 6), cujo valor auferido foi de  $12,84 \text{ kW/m}$ . O Estado de São Paulo é uma área bastante propícia para a alocação de parques geradores oceânicos, pois todo o litoral central e norte possui áreas afins para a instalação. Esse fato se deve a formação geológica da Serra do Mar, que apresenta numerosos afloramentos de rochas Pré-cambrianas.

Com a equação 7 foi determinada a Largura Máxima de Captura, que impõe o limite máximo de abertura sem a perda de eficiência, cujo valor é de 20,12 m para a área de estudo. Este trabalho propõe a utilização de dispositivos modulares com abertura da câmara de 6 m, permitindo os parques geradores serem escalonados no tempo. A adoção dos 6 m de abertura implica uma potência máxima de 77 kW por unidade instalada, que corresponde a  $0,67 \text{ GW/h.ano}^{-1}$  de energia bruta por unidade. A Tabela 3 apresenta o resultado energético final obtido, considerando a abertura da câmara de 6 m, espaçamento técnico entre módulos de 3 m (1,5 m esquerda e 1,5 m direita) e um rendimento global de 44%, conforme apresentado por Babarit (2015). Da tabela

observa-se que o resultado energético é de 11.113 GWh ao ano, proveniente de mais de trinta e sete mil módulos de geração, passíveis até de implementação por meio da Geração Distribuída (RN 482 ANEEL). No Apêndice A é apresentada a Tabela 4, com os resultados na sua forma estendida, com a identificação das 94 localidades propícias à implantação e suas respectivas contabilizações energéticas. Na Figura 8 é apresentada a estimativa da distribuição mensal da energia bruta e líquida. Observa-se ainda que os períodos mais energéticos são os meses de inverno, quando há baixa precipitação, o que indica complementariedade à fonte hídrica.

Tabela 3 - Potencial energético disponível por região para o estado de São Paulo

REGIÃO GEOGRÁFICA	UNIDADES GERADORAS	POTÊNCIA [MW]	ENERGIA BRUTA [GW/h.ano <sup>-1</sup> ]	RENDIMENTO [%]	ENERGIA [GW/h.ano <sup>-1</sup> ]
Região Sul	2.767	213	1.867,37	44	821,64
Região Central	5.396	415	3.641,60	44	1.602,30
Região Norte	29.265	2.253	19.750,08	44	8.690,04
<b>TOTAL</b>					11.113,98

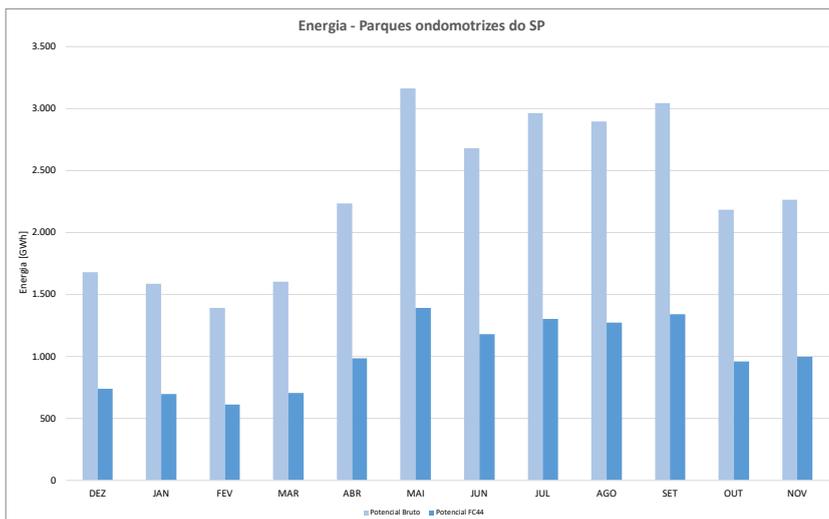


Figura 8 - Energia acumulada bruta e líquida (FC44) anual considerando o total do estado de São Paulo

## 5. CONCLUSÕES

A matriz de geração elétrica brasileira se apresenta majoritariamente hidráulica desde o início da eletrificação nacional. Apenas duas décadas atrás essa matriz era composta basicamente pela hidroeletricidade e uma parcela de geração térmica (incluindo a term nuclear). Na atualidade, a fonte hidráulica ainda é responsável por mais de 60% de toda a oferta nacional. Contudo, nos últimos vinte anos intensificou-se o processo de diversificação da matriz, que hoje conta com diversos empreendimentos eólicos, solares, a biomassa e gás natural. Nesse processo de diversificação, a geração eólica ganhou representatividade e hoje já é responsável por 11% de toda a oferta, contando com uma projeção de curto prazo que elevará sua participação para mais de 14%. O processo de consolidação da fonte eólica contou com a criação de um arcabouço legal que gerou incentivos (PROINFA) e possibilitou sua maturação, fixação e o *status* de fonte comercial com rentabilidade financeira. Outra fonte que ganhou destaque principalmente nos últimos seis anos foi a energia solar, que hoje tem 2% de participação, mas com projeção para mais de 8% no curto prazo, tendendo a crescer ainda mais no longo prazo. Sua consolidação também é devida a incentivos fiscais que possibilitaram a redução do custo, assim como a criação da figura do micro gerador na Geração Distribuída, viabilizando o crédito de energia junto a concessionária local. Assim fica explícito que o processo de consolidação de uma nova fonte é diretamente dependente da criação de um estatuto regulatório próprio, bem como de incentivos financeiros e investimentos (fiscais, industriais ou pessoais, como no caso do micro gerador). Novas tecnologias emergentes, mesmo que disruptivas, como é o caso das energias oceânicas, devem fazer parte da pauta do Planejamento, bem como deve haver a criação de um arcabouço regulatório próprio com incentivos voltados a sua maturação e consolidação. Na Europa, a energia oceânica já é objeto de estudos há quase 50 anos e possui uma agência de fomento própria, além de verba destinada exclusivamente para o seu desenvolvimento.

No Brasil, o Planejador Nacional considera em seu último estudo, o PNE 2050, a inserção de fontes de geração hidráulica com restrições ambientais e a inserção de fontes fósseis, caso o cenário de alta demanda se concretize. Esse fato segue no sentido contrário do que preconizam os principais conceitos ambientais e de Transição Energética, que foram considerados abertamente no PNE 2050. A menção da energia oceânica é apresentada no Plano apenas de forma qualitativa, quando da demonstração da abundância de recursos energéticos disponíveis. Contudo, ainda não é contabilizada como fonte a ser inserida na matriz energética. Como apresentado anteriormente, a

potencialidade das energias oceânicas no Brasil é da ordem de 998.640 GWh.ano<sup>-1</sup>, o que corresponde a 1,6 vezes a produção total de energia elétrica em 2020 (621.219 GWh). Portanto, trata-se de um recurso energético considerável, merecendo uma maior atenção por parte do Planejador Nacional.

Este artigo é a apresentação parcial de um inventário ondomotriz de todo o litoral brasileiro, em que é quantificada e apresentada uma parcela extremamente relevante desse potencial, e que pode ser considerado nas próximas análises do planejamento. Almeja-se que este estudo possa servir como um incentivo para que essa fonte passe a ser contabilizada nas próximas análises do planejamento, em detrimento do incremento de fontes fósseis ou de empreendimentos com restrições ambientais. A delimitação deste estudo é para o aproveitamento da energia ondomotriz por meio de dispositivos conversores do tipo coluna de água oscilante na costa paulista, o que resultou em uma potencialidade bruta de 25.259 GWh.ano<sup>-1</sup>, ou 11.113 GWh.ano<sup>-1</sup> considerando o rendimento global de 44%. O valor é superior ao consumo de eletricidade no Estado de Santa Catarina em 2020 (9.800 GWh), ou seja, bastante relevante para o Planejamento, principalmente quando considerados os desafios de atendimento da demanda caso o cenário de crescimento venha a se concretizar.

Tecnologias emergentes e disruptivas devem fazer parte recorrentemente do Planejamento. Percebe-se nos dias atuais um movimento crescente para a inclusão da conversão de energia por meio do hidrogênio, e tal movimento poderia se estender a energia ondomotriz, haja visto o imenso potencial da costa brasileira. Como se trata de uma fonte em desenvolvimento, diversas vertentes se apresentam factíveis para sua inserção na matriz, como por exemplo, o desenvolvimento por meio da Geração Distribuída, permitindo a grandes consumidores investirem em pequenos módulos de geração com a possibilidade de escalar a geração quando da necessidade. Outra vertente seria o deslocamento da geração hidroelétrica, que pode ser entendido como uma forma de armazenamento físico de energia, uma vez que a energia oceânica pode complementar a energia hidráulica no período de inverno. Além, claro, do aproveitamento comercial direto.

Muitas são as formas de se inserir a energia oceânica dentro do Planejamento atual, mas é preciso ter em mente que é necessário iniciar seus estudos e construir um arcabouço regulatório próprio, prevendo incentivos para maturação e fixação da mesma na matriz de geração.

## 6. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BABARIT, A. A database of capture width ratio of wave energy converters. *Renewable Energy*, v. 80, p. 610–628, ago. 2015.

BRASIL, M. DE M. E. Plano Nacional de Energia 2050 - PNE 2050. Brasília - DF: [s.n.].

CARVALHO, J. T. Simulação da distribuição de energia das ondas oceânicas ao largo do litoral brasileiro. [s.l.] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2010.

CORNETT, A. M. A Global Wave Energy Resource Assessment. The Eighteenth International Offshore and Polar Engineering Conference. Anais...Vancouver: 2008.

CPRM, S. G. DO B. GeoSGB. Disponível em: <<http://geosgb.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 5 maio. 2021.

DEAN, R. G.; DALRYMPLE, R. A. *Water wave mechanics for engineers and scientists*. 1. ed. New Jersey: World Scientific Publishing Co., 1991.

DIZADJI, N.; SAJADIAN, S. E. Modeling and optimization of the chamber of OWC system. *Energy*, v. 36, n. 5, p. 2360–2366, maio 2011.

EPE, E. DE P. E. Balanço Energético Nacional 2021 ano base 2020. Brasília - DF: [s.n.].

ESPINDOLA, R. L. Mapeamento de sites com potencial para geração de energia ondomotriz por meio de análise de decisão multicritério. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2017.

ESPINDOLA, R. L.; ARAÚJO, A. M. Wave energy resource of Brazil: An analysis from 35 years of ERA-Interim reanalysis data. *PLOS ONE*, v. 12, n. 8, p. e0183501, 17 ago. 2017.

FALCÃO, A. F. O. Wave energy utilization: A review of the technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 14, n. 3, p. 899–918, abr. 2010.

FALCÃO, A. F. O.; HENRIQUES, J. C. C. Oscillating-water-column wave energy converters and air turbines: A review. *Renewable Energy*, v. 85, p. 1391–1424, jan. 2016.

FALCÃO, A. F. O.; HENRIQUES, J. C. C.; GATO, L. M. C. Self-rectifying air turbines for wave energy conversion: A comparative analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 91, p. 1231–1241, ago. 2018.

FLEMING, F. P. Avaliação do Potencial de Energias Oceânicas no Brasil. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

FOLLEY, M. The Wave Energy Resource. In: [s.l.: s.n.]. p. 43–79.

HOLTHUIJSEN, H. *Waves in Oceanic and Coastal Waters*. [s.l.] Cambridge University Press, 2007.

HUSSAIN, A.; ARIF, S. M.; ASLAM, M. Emerging renewable and sustainable energy technologies: State of the art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 71, p. 12–28, maio 2017.

IBARRA-BERASTEGI, G. et al. Electricity production, capacity factor, and plant efficiency index at the Mutriku wave farm (2014–2016). *Ocean Engineering*, v. 147, p. 20–29, jan. 2018.

IBGE, I. B. DE G. E. Portal de mapas do IBGE. Disponível em: <<https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#homepage>>. Acesso em: 5 maio. 2021.

INDE, I. N. DE D. E. Portal INDE. Disponível em: <<https://www.inde.gov.br/>>. Acesso em: 5 maio. 2021.

IRENA, I. R. E. A. *Innovation Outlook: Ocean Energy Technologies*. Abu Dhabi: [s.n.].

KHALIGH, A.; ONAR, O. C. Ocean Wave Energy Harvesting. In: *Energy harvesting: solar, wind, and ocean energy conversion systems*. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2010. p. 223–303.

LEKUBE, J. et al. Output power improvement in oscillating water column-based wave power plants. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, v. 15, n. 2, p. 145, 5 mar. 2018.

LOPES, B. S. C. Construção e ensaio de um modelo de turbina de ar auto-retificadora de rotor duplo para sistemas de aproveitamento da energia das ondas. [s.l.] Universidade Técnica de Lisboa, 2017.

OES, O. E. S. OES | Ocean Energy Systems. Disponível em: <<https://www.ocean-energy-systems.org/>>. Acesso em: 17 abr. 2021.

OSTRITZ, F. F. Estimativa do Potencial Energético Gerado por Ondas na Costa do Brasil com ênfase no estado do Ceará. [s.l.] Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica)—COPPE. UFRJ, Rio de Janeiro, 2012.

PIANCA, C.; MAZZINI, P. L. F.; SIEGLE, E. Brazilian offshore wave climate based on NWW3 reanalysis. *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 58, n. 1, p. 53–70, mar. 2010.

POST, J. W. et al. Salinity-gradient power: Evaluation of pressure-retarded osmosis and reverse electrodialysis. *Journal of Membrane Science*, v. 288, n. 1–2, p. 218–230, fev. 2007.

SHEHATA, A. S. Investigation and Improvement of Wells Turbine Performance: Fluid Analysis & 2nd Law of Thermodynamics Study. [s.l.] University of Strathclyde, 2016.

SMIL, V. Energy transitions: history, requirements, prospects. 1. ed. Santa Barbara: ABC-CLIO, 2010. v. 1

TOLMAN, H. L. The WAVEWATCH III Development Group: User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 4.18. Environmental Modeling Center, National Centers for Environmental Prediction, National Weather Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, US Department of Commerce, 2014.

TOLMASQUIM, M. T. Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica. 1. ed. Rio de Janeiro - RJ: EPE, Empresa de Pesquisa Energética, 2016. v. 1

ZABIHIAN, F.; FUNG, A. S. Review of marine renewable energies: Case study of Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, n. 5, p. 2461–2474, jun. 2011.

ZHANG, W. et al. Review of the applied mechanical problems in ocean thermal energy conversion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 93, p. 231–244, out. 2018.

## APÊNDICE

Tabela 4 - Resultados energéticos por localidade identificada

REGIÃO GEOGRÁFICA	SITE ID	UNIDADES GERADORAS	POTÊNCIA [MW]	ENERGIA BRUTA [GW/h.ano <sup>-1</sup> ]	RENDIMENTO [%]	ENERGIA [GW/h.ano <sup>-1</sup> ]
REGIÃO SUL	86	130	10,01	87,73	44	38,60
	87	100	7,70	67,49	44	29,69
	88	317	24,41	213,93	44	94,13
	89	81	6,24	54,66	44	24,05
	90	368	28,34	248,35	44	109,28
	91	136	10,47	91,78	44	40,38
	92	26	2,00	17,55	44	7,72
	93	63	4,85	42,52	44	18,71
	94	385	29,65	259,83	44	114,32
	95	115	8,86	77,61	44	34,15
	96	149	11,47	100,56	44	44,24
	97	166	12,78	112,03	44	49,29
	98	33	2,54	22,27	44	9,80
	99	299	23,02	201,79	44	88,79
	100	183	14,09	123,50	44	54,34
	101	141	10,86	95,16	44	41,87
	102	32	2,46	21,60	44	9,50
103	43	3,31	29,02	44	12,77	
REGIÃO CENTRAL	104	474	36,50	319,89	44	140,75
	105	1436	110,57	969,11	44	426,41
	106	202	15,55	136,32	44	59,98
	107	717	55,21	483,88	44	212,91
	108	92	7,08	62,09	44	27,32
	109	17	1,31	11,47	44	5,05
	110	44	3,39	29,69	44	13,07
	111	565	43,51	381,30	44	167,77
	112	257	19,79	173,44	44	76,31
	113	152	11,70	102,58	44	45,14
	114	230	17,71	155,22	44	68,30
	115	36	2,77	24,30	44	10,69
	116	233	17,94	157,24	44	69,19
	117	184	14,17	124,18	44	54,64
	118	342	26,33	230,81	44	101,55
119	168	12,94	113,38	44	49,89	
120	247	19,02	166,69	44	73,34	

Tabela 4 - Resultados energéticos por localidade identificada (cont.)

REGIÃO GEOGRÁFICA	SITE ID	UNIDADES GERADORAS	POTÊNCIA [MW]	ENERGIA BRUTA [GW/h.ano <sup>-1</sup> ]	RENDIMENTO [%]	ENERGIA [GW/h.ano <sup>-1</sup> ]
REGIÃO NORTE	121	281	21,64	189,64	44	83,44
	122	32	2,46	21,60	44	9,50
	123	70	5,39	47,24	44	20,79
	124	102	7,85	68,84	44	30,29
	125	254	19,56	171,42	44	75,42
	126	76	5,85	51,29	44	22,57
	127	134	10,32	90,43	44	39,79
	128	232	17,86	156,57	44	68,89
	129	193	14,86	130,25	44	57,31
	130	206	15,86	139,02	44	61,17
	131	209	16,09	141,05	44	62,06
	132	108	8,32	72,89	44	32,07
	133	380	29,26	256,45	44	112,84
	134	289	22,25	195,04	44	85,82
	135	113	8,70	76,26	44	33,55
	136	207	15,94	139,70	44	61,47
	137	498	38,35	336,09	44	147,88
	138	150	11,55	101,23	44	44,54
	139	485	37,35	327,31	44	144,02
	140	313	24,10	211,23	44	92,94
	141	6589	507,35	4446,72	44	1956,56
	142	4113	316,70	2775,74	44	1221,33
	143	1385	106,65	934,70	44	411,27
	144	856	65,91	577,69	44	254,18
	145	65	5,01	43,87	44	19,30
	146	63	4,85	42,52	44	18,71
	147	250	19,25	168,72	44	74,24
	148	302	23,25	203,81	44	89,68
	149	55	4,24	37,12	44	16,33
	150	205	15,79	138,35	44	60,87
	151	243	18,71	163,99	44	72,16
152	754	58,06	508,85	44	223,90	
153	111	8,55	74,91	44	32,96	
154	494	38,04	333,39	44	146,69	
155	307	23,64	207,19	44	91,16	

Tabela 4 - Resultados energéticos por localidade identificada (cont.)

REGIÃO GEOGRÁFICA	SITE ID	UNIDADES GERADORAS	POTÊNCIA [MW]	ENERGIA BRUTA [GW/h.ano <sup>-1</sup> ]	RENDIMENTO [%]	ENERGIA [GW/h.ano <sup>-1</sup> ]
REGIÃO NORTE	156	118	9,09	79,63	44	35,04
	157	332	25,56	224,06	44	98,59
	158	808	62,22	545,30	44	239,93
	159	1351	104,03	911,75	44	401,17
	160	133	10,24	89,76	44	39,49
	161	474	36,50	319,89	44	140,75
	162	45	3,47	30,37	44	13,36
	163	1002	77,15	676,22	44	297,54
	164	179	13,78	120,80	44	53,15
	165	190	14,63	128,23	44	56,42
	166	451	34,73	304,37	44	133,92
	167	356	27,41	240,25	44	105,71
	168	114	8,78	76,94	44	33,85
	169	355	27,34	239,58	44	105,41
	170	154	11,86	103,93	44	45,73
	171	53	4,08	35,77	44	15,74
	172	177	13,63	119,45	44	52,56
	173	280	21,56	188,96	44	83,14
	174	20	1,54	13,50	44	5,94
175	79	6,08	53,31	44	23,46	
176	372	28,64	251,05	44	110,46	
177	254	19,56	171,42	44	75,42	
178	774	59,60	522,35	44	229,83	
179	1070	82,39	722,11	44	317,73	
					<b>TOTAL</b>	11.113,98