

Review

O Oceano como Fonte de Energia: uma revisão da literatura

Cisco, L.A.¹, Koch, A.H.S.¹, Condotta, M.P.¹, Hofstatter, R.¹, Harras, L.M.¹, Oleinik, P.H.², Paiva, M.S.^{1,3}, Isoldi, L.A.² and Machado, B.N.^{1,4*}

¹ Atlantis – Grupo de Estudos em Energia das Ondas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tramandaí, Brasil; lenon.cisco@ufrgs.br; augusto.koch@ufrgs.br; matheus.condotta@ufrgs.br; dicln@ufrgs.br; lucas.harras@ufrgs.br.

² Programa de Pós Graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Brasil; phe.h.o1@gmail.com; liercioisoldi@furg.br.

³ Graduando em Matemática Aplicada, Universidade Federal de Rio Grande, Rio Grande, Brasil; mayconpaiva@furg.br.

⁴ Programa de Pós Graduação em Matemática Aplicada, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tramandaí, Brasil; bianca.machado@ufrgs.br.

* Correspondente: bianca.machado@ufrgs.br.

Received: 06/11/2020; Accepted: 05/12/2020; Published: 31/12/2020

Resumo: O aumento da demanda mundial por energia elétrica aliado à preocupação em relação à emissão de gases causadores do efeito estufa faz com que haja um crescimento na busca por fontes de energias renováveis. Energias renováveis são aquelas obtidas através de fontes naturais e que estão disponíveis de forma cíclica na natureza, assim, o presente estudo aborda o oceano enquanto fonte de energia renovável. Para tanto, foi realizado um levantamento bibliográfico a respeito das diversas formas de energia contidas no oceano, com foco em: energia das ondas, formadas pelo atrito do vento com a superfície oceânica; energia das marés, causadas pela interação gravitacional entre a Terra, o Sol e a Lua; energia das correntes, formada pela alta e baixa das marés; e energia térmica, originada pelo gradiente de temperatura entre a superfície e regiões mais profundas do oceano. Ao longo do texto são apresentados os fenômenos naturais que originam tais energias, além disso, são apresentados dispositivos conversores de energias oceânicas e seus princípios de funcionamento, bem como classificações destes dispositivos, quando existirem. Em síntese, este trabalho apresenta a diversidade energética contida nos oceanos.

Palavras chave: Energias Oceânicas; Energia das Marés; Energia das Ondas; Energia Térmica; Energia das Correntes Oceânicas.

The Ocean as an Energy Source: a literature review

Abstract: The increase in global demand for electricity, aligned to concerns regarding the emission of greenhouse gases, has caused a growth in the search for renewable energy sources. Renewable energies are those obtained through natural sources and that are available cyclically in nature, thus, the present study addresses the ocean as a source for renewable energy. Therefore, a bibliographic survey was carried out regarding the various forms of energy contained in the ocean, the focus being on: wave energy, formed by the friction of the wind with the ocean surface; tidal energy, caused by the gravitational interaction among the Earth, the Sun and the Moon; current energy, formed by the high and low tides; and thermal energy, originated by the temperature gradient between the surface and deeper regions of the ocean. Throughout the text the natural phenomena that originate such energies are presented, in addition, devices that convert ocean energies and their operating principles are presented, as well as classifications regarding these devices when available. In summary, this work presents the energy diversity contained in the oceans.

Keywords: Ocean Energy; Tidal Energy; Wave Energy; Thermal Energy; Energy from Ocean Currents.

1. Introdução

Com o contínuo desenvolvimento tecnológico mundial, a demanda por energia tem crescido cada vez mais. Aliado a este fato, existe também a necessidade de reduzir a emissão de gases causadores do efeito estufa, gerando assim, um maior interesse em pesquisas por fontes de energias renováveis. Segundo Assis (2010), energia renovável é definida como a energia obtida a partir de fontes naturais, estando disponível de forma cíclica.

De acordo com Pecher e Kofoed (2017), a grande demanda por energias renováveis e a necessidade de diversificar a matriz energética podem ser observadas pelo significativo aumento de investimento global no setor, como, por exemplo, em energia solar e eólica. No entanto, para Soerensen e Weinstein (2008) os oceanos representam um dos maiores recursos renováveis disponíveis no planeta, contendo diferentes formas de energia que podem ser utilizadas para geração de energia elétrica.

O presente estudo busca a realização de uma revisão bibliográfica a respeito das diversas formas de obtenção de energia oriunda dos oceanos, tendo como foco a energia das ondas, energia das marés, energia das correntes e energia do gradiente de temperatura. Tais energias, segundo Fleming (2012), são extraídas, respectivamente, das ondas em superfície e subsuperfície do mar; da componente cinética (turbina) e potencial (barragem) das marés; da energia cinética das correntes marinhas; do diferencial de temperatura entre as águas quentes superficiais e as águas frias profundas.

Portanto, ao longo do artigo são apresentados os fenômenos naturais que originam as energias oceânicas citadas, bem como, o princípio físico de funcionamento dos dispositivos capazes de convertê-las em energia elétrica de forma limpa, ou seja, sem emissão de gases poluentes causadores do efeito estufa. Elucidando, assim, a diversidade e potencialidade energética contida nos oceanos.

2. Energia das correntes oceânicas

2.1 Fenômeno Físico

Correntes oceânicas (vide Figura 1) consistem, basicamente, em escoamentos subaquáticos (comparados ao movimento de rios) onde grandes massas de água se deslocam por um caminho regular, carregando consigo águas quentes ou frias, organismos e matéria orgânica. Correntes formadas pelo atrito dos ventos são chamadas de correntes superficiais, enquanto correntes que se formam por conta da diferença de massa específica, causada pela diferença de temperatura e salinidade, são chamadas de correntes profundas ou correntes termohalinas. Por sua vez, correntes formadas por conta das marés são chamadas de correntes de maré (Fischer, 2014).

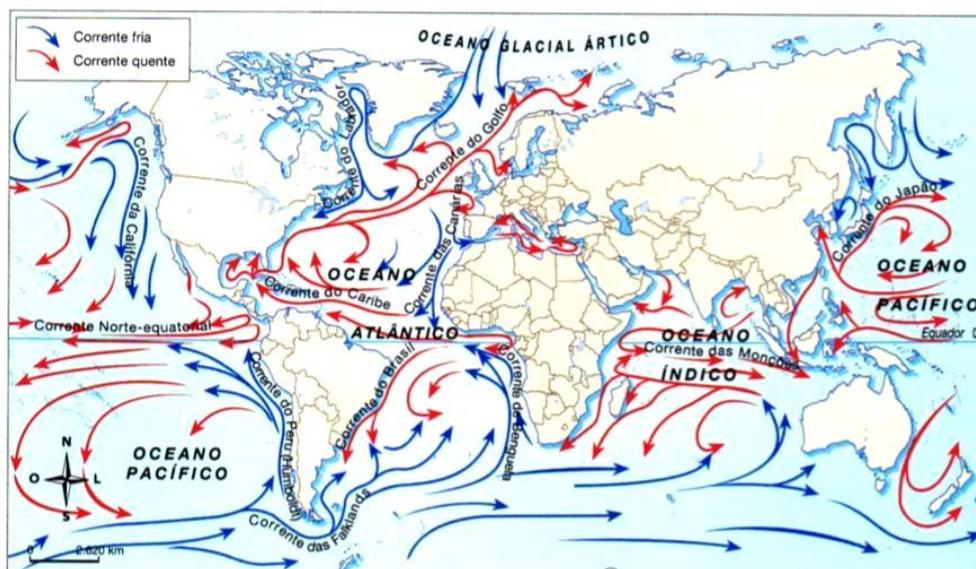


Figura 1. Ilustração das correntes oceânicas: correntes frias representadas por linhas azuis e correntes quentes representadas por linhas vermelhas (Iguiecolgia, 2020).

De acordo com Fischer (2014), as correntes se formam a partir de uma dinâmica que envolve diversos fatores. Correntes quentes são formadas perto das baixas latitudes, mais especificamente na zona entre o equador e os trópicos. Esta zona apresenta, também, ventos alísios, cujo atrito com a superfície oceânica forma as correntes superficiais, que conseqüentemente são quentes. As correntes frias são formadas em latitudes altas, mais especificamente nas zonas polares. Ao contrário das correntes quentes, que são superficiais por serem correntes menos densas, as correntes frias são mais densas, tornando-as assim, correntes profundas. A Figura 1 ilustra o movimento das correntes no globo terrestre.

Segundo Silva (1978), o potencial de exploração mundial das correntes oceânicas é de aproximadamente 5×10^6 MW e a potência disponível de uma corrente marítima a ser convertida em energia mecânica, pode ser definida pela equação (Bahaj, 2013):

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho A v_0^3 \quad (1)$$

onde, P_0 (W) é a potência disponível na corrente marítima, ρ (kg m^{-3}) é a massa específica do fluido, A (m^2) é a área da seção transversal do rotor e v_0 (m s^{-1}) é a velocidade do fluido sem perturbação. Bahaj (2013), cita que a massa específica da água é cerca de 800 vezes maior que a do ar. Com isso, turbinas submersas não necessitam de grandes pás e, também, o fluido não necessita apresentar grandes velocidades.

2.2 Princípio Físico de Funcionamento

Os mecanismos de conversão de energia das correntes oceânicas podem ser divididos de acordo com o princípio físico de funcionamentos (vide Figura 2) em: turbinas de eixo horizontal, turbinas de eixo vertical, hidrofólios oscilantes, entre outros (Fischer, 2014).

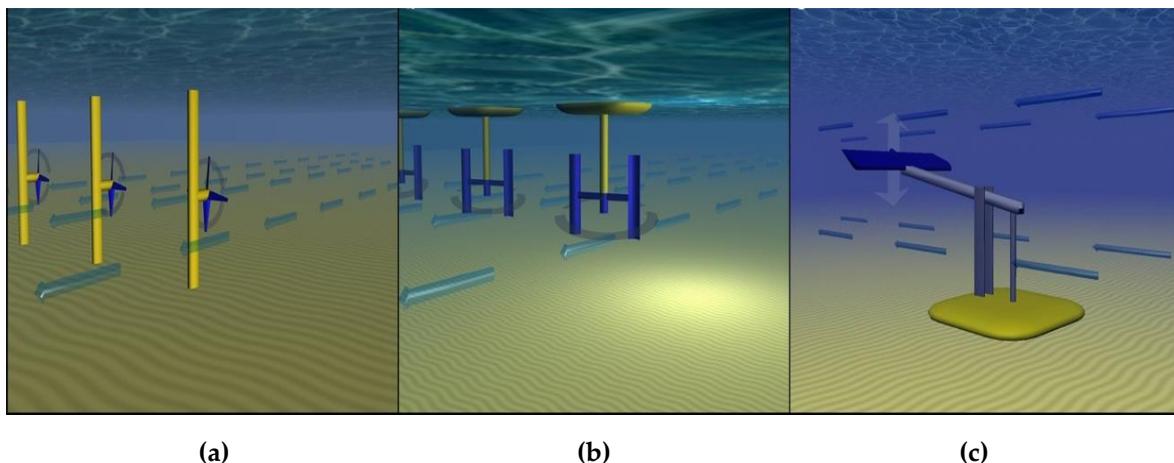


Figura 2. Dispositivos de conversão de energia das correntes: (a) turbinas de eixo horizontal; (b) turbinas de eixo vertical; (c) hidrofólios oscilantes (Aquaret, 2020).

As turbinas de eixo horizontal (Figura 2(a)) e de eixo vertical (Figura 2(b)) possuem o mesmo princípio de funcionamento, sendo a principal diferença o posicionamento do eixo. Segundo Fischer (2014), o princípio de funcionamento é baseado na conversão da energia cinética da água em energia elétrica, esta conversão resulta do movimento de rotação das pás da turbina, que transforma a energia cinética da corrente em energia mecânica, acionando um gerador elétrico. As turbinas podem apresentar gerador de forma submersa ou não, porém, as que possuem gerador submerso apresentam maior eficiência.

De acordo com Campos *et al.* (2015), o funcionamento dos dispositivos hidrofólios oscilantes (Figura 2(c)) baseia-se no movimento combinado e no torque gerado pelas forças hidrodinâmicas. Ainda, conforme mencionado, existem dispositivos que se utilizam de princípios físicos de conversão de energia não citados neste trabalho, dentre estes dispositivos, cita-se: THAWT, StarTider e Blue Tec.

3. Energia das Marés

3.1 Fenômeno Físico

Marés são um fenômeno de variação cíclica da altura dos oceanos que possui origem gravitacional. O planeta Terra, apesar de ter geometria aproximadamente esférica, é um corpo extenso, dessa forma, as forças gravitacionais exercidas pelo Sol e pela Lua sobre o globo apresentam uma diferença de valores nos seus extremos opostos (Kepler e Saraiva, 2014).

Segundo Kepler e Saraiva (2014), a diferença entre as forças gravitacionais nos distintos pontos é chamada de força gravitacional diferencial ou força de maré. Para a obtenção da expressão da força de maré são considerados três corpos, onde um deles possui massa M , muito maior que as massas m_1 e m_2 dos demais corpos. Ambos estão situados a uma distância de aproximadamente D do corpo de maior massa, e com uma distância d entre os mesmos, conforme ilustra a Figura 3.

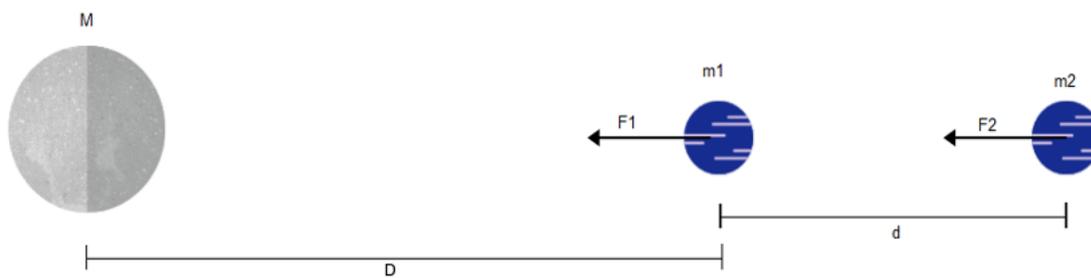


Figura 3. Dois corpos são atraídos gravitacionalmente por um terceiro corpo com massa M .

De acordo com Nussenzveig (2002), a expressão da força gravitacional entre dois corpos é:

$$F = \frac{Gm_1m_2}{d^2} \quad (2)$$

onde G é a constante gravitacional universal ($6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$) e as demais variáveis consideradas em unidades do Sistema Internacional (SI).

Para as massas m_1 e m_2 :

$$F_1 = \frac{GMm_1}{D^2} \quad (3)$$

$$F_2 = \frac{GMm_2}{(D+d)^2} \quad (4)$$

assim, a força gravitacional diferencial entre as partículas é dada por:

$$\Delta F = F_1 - F_2 = GM \left[\frac{m_1}{D^2} - \frac{m_2}{(D+d)^2} \right] \quad (5)$$

considerando as massas dos corpos 1 e 2 iguais, ou seja $m_1 = m_2 = m$ e $D \gg d$, após tratamento algébrico, chega-se à expressão que define a força de maré:

$$\Delta F = \frac{2GMm}{D^3} d \quad (6)$$

Por fim, de acordo com Silva (1978), o potencial para exploração, a nível mundial, da energia contida nas marés é de aproximadamente $2,7 \times 10^6$ MW.

3.2 Princípio Físico de Funcionamento

Como as marés são um fenômeno cíclico constante que gera o movimento de grandes massas de água, pode-se aproveitar este fenômeno para a conversão de energia, visando a produção de energia elétrica. Os movimentos das marés podem ser resumidos em duas formas: subida e descida periódica da altura da coluna d'água e formação de correntes de maré no fundo do mar. Dispositivos pensados para aproveitar estes movimentos podem converter energia potencial e cinética em energia elétrica de forma renovável, com impacto ambiental controlado e ciclos constantes, indo ao encontro dos ideais de desenvolvimento sustentável mundial, redução da emissão de carbono e reversão dos impactos climáticos causados pelo consumo de combustíveis fósseis (Khare *et al.*, 2019).

Um dispositivo capaz de aproveitar a energia contida nas marés é denominado maremotriz, o qual é formado por represas e se comporta como uma hidrelétrica tradicional, com diferença no enchimento e esvaziamento periódico de seu reservatório. As represas aproveitam a variação de altura da água entre as marés altas e baixas, convertendo energia potencial em energia elétrica, tanto no enchimento quanto no esvaziamento do reservatório (Khare *et al.*, 2019).

Uma usina maremotriz funciona de acordo com os ciclos de maré, os quais ocorrem cerca de duas vezes por dia. A operação das turbinas não é constante, devido à necessidade de uma diferença de altura suficiente para iniciar a geração de energia, conforme ilustra a Figura 4. Além disso, o dispositivo pode contar com a presença de bombas que auxiliam no enchimento da represa.

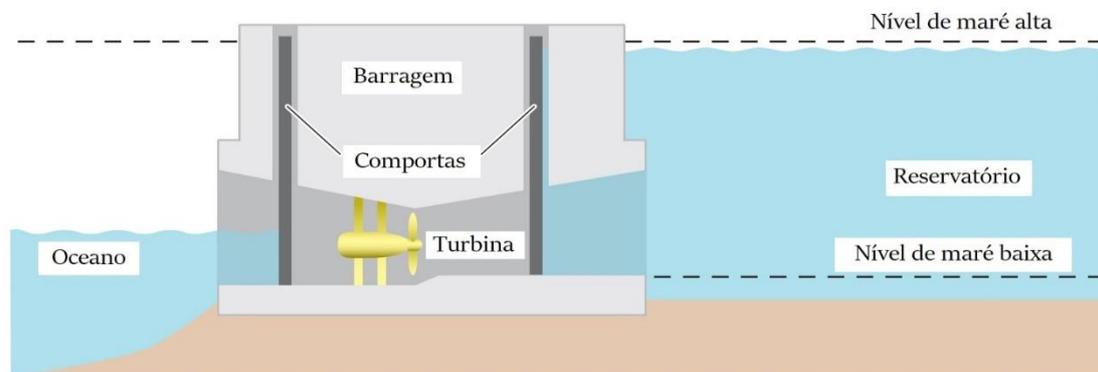


Figura 4. Ilustração da usina maremotriz (adaptado de Selin (2020)).

Outros dispositivos capazes de converter energia das marés denominam-se usinas de corrente de maré e são formados por turbinas que aproveitam a energia cinética presente nas correntes constantes geradas pelo movimento de maré, similares a aerogeradores, porém, com estrutura subaquática (Sesmil, 2013). Tais correntes são formadas a partir das marés, no entanto, por se tratar do aproveitamento energético de correntes marítimas, o método de conversão de energia foi abordado na seção 2 do presente artigo.

4. Energia das ondas

4.1 Fenômeno Físico

O aquecimento da superfície terrestre, majoritariamente coberta por água, ocorre através da radiação solar de forma não uniforme devido ao formato irregular da mesma, bem como, pela inclinação do eixo de rotação do planeta. Este aquecimento origina os ventos, os quais são provocados pelo deslocamento das massas de ar em busca do restabelecimento do equilíbrio térmico. A interação desse deslocamento de massas de ar com a superfície dos oceanos provoca ondulações, podendo variar conforme a intensidade do vento que às gerou (Grimmler, 2013; Omar, 2018). Ainda, segundo Dean e Dalrymple (1991), a topografia oceânica influencia o comportamento das ondas em regiões de baixa profundidade.

De acordo com Mendes (2011), as ondas oceânicas representam energia mecânica em transição resultante da soma das energias cinética e potencial das ondas superficiais. E, de acordo com Silva (1978), seu potencial de exploração mundial é de aproximadamente $2,5 \times 10^6$ MW.

Segundo a teoria linear das ondas, a energia cinética é igual a energia potencial e expressada por (Dean e Dalrymple, 1991):

$$E_c = \frac{\rho g_a H^2}{16} = E_p \tag{7}$$

assim, a energia total contida na onda é dada por:

$$E = E_c + E_p = \frac{\rho g_a H^2}{8} \tag{8}$$

onde g_a (m/s^2) é a aceleração da gravidade, H (m) a altura da onda e λ (m) representa o comprimento de onda. Conforme indicado na Figura 5, o comprimento de onda (λ) é a distância entre duas cristas consecutivas ou duas cavas consecutivas e a altura de onda (H) a distância entre as cristas e as cavas sucessivas.

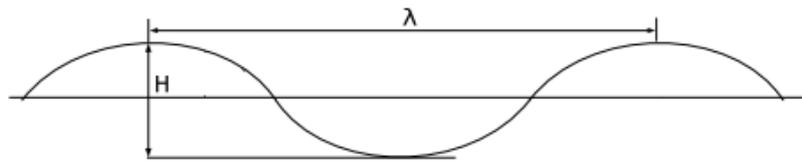


Figura 5. Notação dos parâmetros físicos (adaptado de Mendes (2011)).

4.2 Princípio Físico de Funcionamento

Os dispositivos de conversão de energia das ondas existentes na literatura podem ser classificados de duas maneiras, uma delas conforme a profundidade de instalação, na qual os dispositivos são classificados em: *onshore* – dispositivos que possuem acesso por terra, podendo ser encontrados junto a estruturas de quebra-mar; *nearshore* – instalados em regiões que a profundidade varia entre 8 e 25 m; *offshore* – instalados em regiões com profundidade acima de 25 m (Scarparo *et al.*, 2017).

Ainda, é possível classificar os dispositivos quanto à tecnologia utilizada para realizar a conversão de energia das ondas em energia elétrica. A Figura 6 ilustra a categorização utilizada pela IEA – *Ocean Energy Systems*.

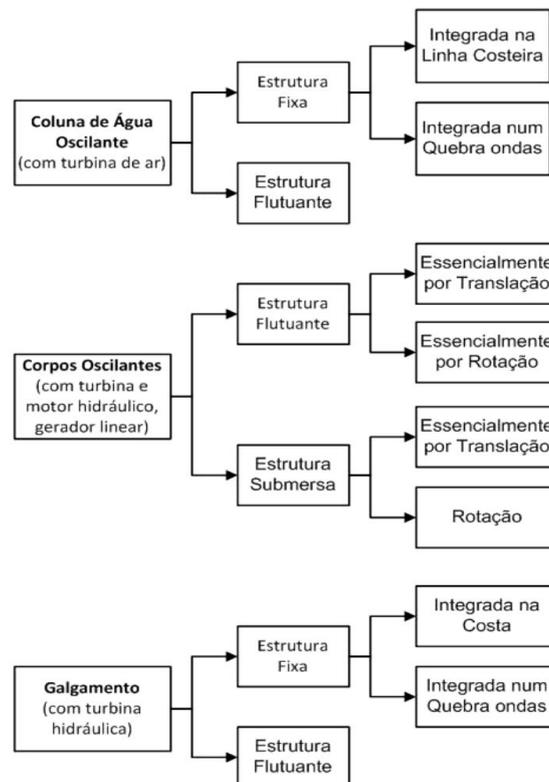


Figura 6. Tecnologias de conversores de energia das ondas (adaptado de Pecher e Kofoed (2017)).

Conforme é observado na Figura 6, as principais tecnologias de conversão da energia das ondas do mar em energia elétrica podem ser classificadas em: dispositivos de Coluna de Água Oscilante, dispositivos de Corpos Oscilantes e dispositivos de Galgamento. Entretanto, essa classificação não abrange todos os princípios de funcionamento existentes. Um exemplo disso é o conversor do tipo Placa Horizontal Submersa (PHS), maiores informações acerca deste dispositivo podem ser obtidas em Seibt (2019).

Dispositivos de coluna de água oscilante (Figura 7(a)) são estruturas flutuantes ou fixas, podendo, neste segundo caso, ser integrados à linha costeira ou a dispositivos de quebra mar. Seu princípio físico de funcionamento baseia-se na utilização do movimento das ondas para pressurização e despressurização do ar no interior de uma câmara hidro-pneumática parcialmente submersa, na qual há uma abertura sob a superfície da água, fazendo com que o ar tenha sua passagem forçada através de uma turbina acoplada a um gerador elétrico (Grimmler, 2013; Scarparo *et al.*, 2017).

Já os dispositivos do tipo corpos oscilantes podem ser apresentados como flutuantes ou submersos, podendo ser de absorção pontual (Figura 7(c)(e)) ou progressivos (Figura 7(d)). Na absorção pontual, o flutuador se move em relação a uma estrutura fixa ao fundo, podendo ser instalado parcialmente submerso (Figura 7 (c)) ou totalmente submerso (Figura 7(e)). Enquanto, nos progressivos, os componentes acompanham o movimento oscilatório das ondas, tendo seu movimento relativo a própria estrutura quando a onda passa. No caso de sistemas totalmente submersos, a oscilação da parte móvel relativa à parte fixa deve-se à pressão causada pela coluna de água acima do sistema (Grimmler, 2013; Mendes, 2011).

E os dispositivos de galgamento (Figura 7(f)) são estruturas fixas ou flutuantes, podendo ser aplicados *offshore* ou *onshore*. O princípio físico de funcionamento é baseado em uma estrutura parcialmente submersa que utiliza uma rampa inclinada para conduzir água através do galgamento. A água é acumulada em um reservatório sobrelevado em relação ao nível médio da superfície livre do mar e devolvida ao oceano, passando por turbinas hidráulicas que acionam geradores elétricos de fabricação comum (Machado, 2016; Scarparo *et al.*, 2017).

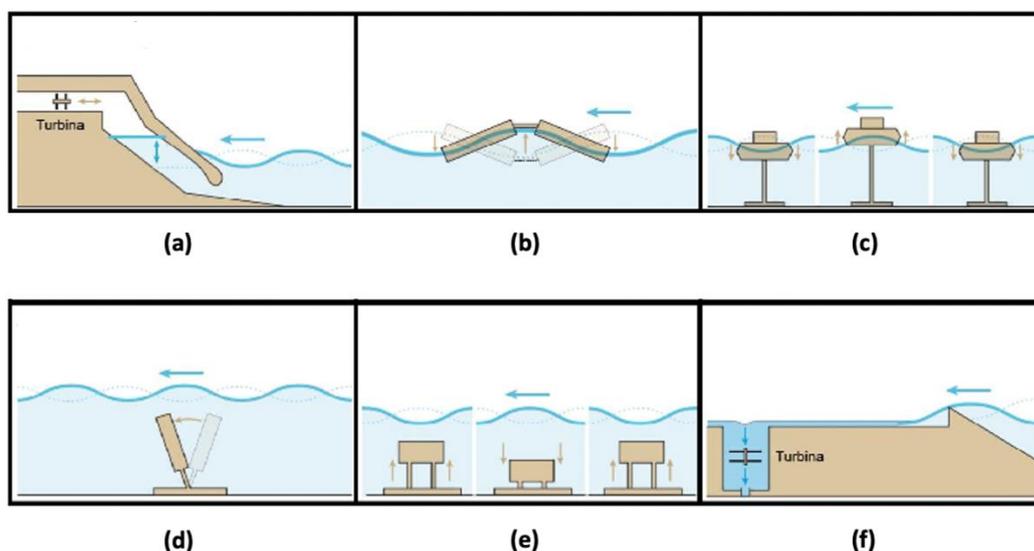


Figura 7. Ilustração dos princípios de funcionamento de conversores de energia das ondas: (a) Coluna de Água Oscilante; (b) Corpos Flutuantes – Progressivo; (c) Corpos Flutuantes – Absorção Pontual; (d) Corpos Submersos – Pendular; (e) Corpos Submersos - Absorção Pontual; (f) Galgamento (adaptado de Callaway (2007)).

5. Energia térmica

5.1 Fenômeno Físico

Conforme descrito anteriormente, aproximadamente 70% da superfície terrestre é coberta por água que armazena a energia solar em temperaturas próximas a 25°C. O gradiente de temperatura existente entre a água da superfície, aquecida pelo sol, e águas profundas, mais frias, pode ser utilizado para conversão de energia térmica em energia elétrica, dia e noite, através de distintas metodologias.

De acordo com Silva (1978), o potencial aproximado referente a exploração do gradiente térmico entre superfície e fundo é de 4×10^{10} MW. Onde, a eficiência da conversão está associada ao gradiente de temperatura

existente entre as fontes quente e fria: quanto maior o gradiente, maior a eficiência. A tecnologia OTEC (*Ocean Thermal Energy Conversion*) é viável sobretudo em regiões equatoriais, onde o gradiente de temperatura ao longo do ano é de pelo menos 20°C, conforme ilustrado na Figura 8.

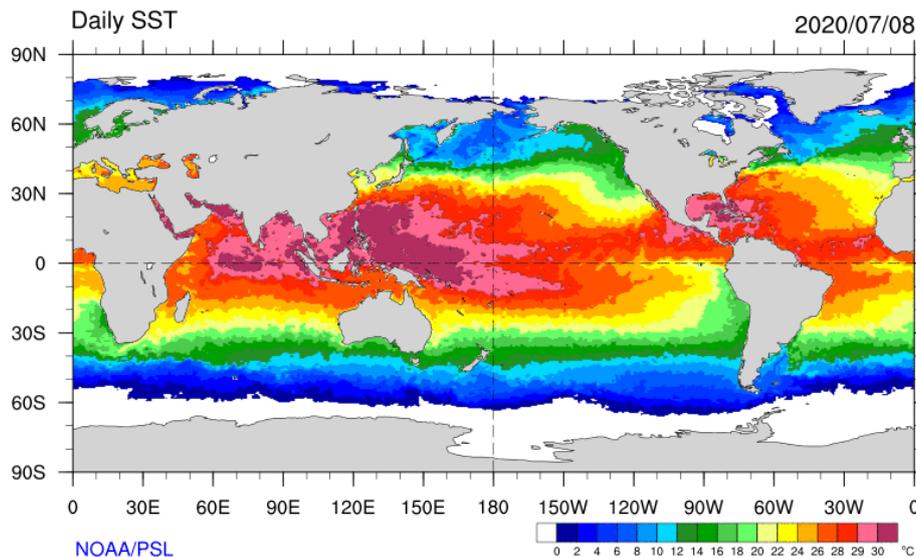


Figura 8. Temperatura da superfície oceânica (PSL MapRoom - Sea Surface Temperature (SST)). Disponível em: <https://psl.noaa.gov/map/clim/sst.shtml>, acesso 10/07/2020).

5.2 Princípio Físico de Funcionamento

O princípio físico de funcionamento de uma usina OTEC, para conversão de energia térmica em energia elétrica, baseia-se na utilização do calor armazenado na água quente da superfície para criação de vapor. O vapor é utilizado para acionar uma turbina acoplada a um gerador. Paralelamente, é realizado o bombeamento de água fria, proveniente de regiões profundas, até à superfície para condensar o vapor, reaproveitando o fluido de trabalho como um ciclo de Rankine (vide Figura 9) (Dijoux *et al.*, 2017; Etamedi *et al.*, 2011). O fluido de trabalho trata-se de um líquido ou gás que permite a realização da troca de energia entre o sistema e o exterior. A exemplo da OTEC, o fluido de trabalho evaporado movimentava a turbina, e pode ser reutilizado após ser condensado. Logo, através do fluido de trabalho, a energia térmica fornecida pelo exterior é convertida em energia mecânica a partir do acionamento da turbina, que produz a energia elétrica.

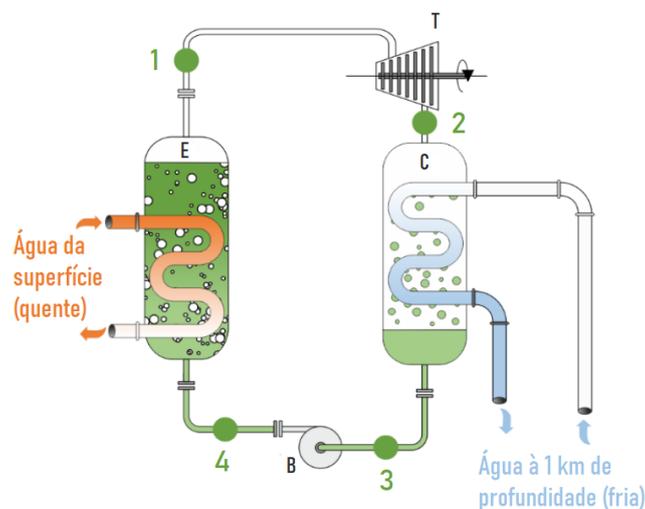


Figura 9. Esquema de um ciclo de Rankine básico aplicado à OTEC (adaptado de Dijoux *et al.*, (2017)).

Conforme pode-se observar na Figura 9, o ciclo é composto por quatro componentes: uma bomba (B), um evaporador (E), uma turbina (T) e um condensador (C). Além disso, conforme destacado na Figura 9, seu funcionamento é descrito em 4 etapas (Dijoux *et al.*, 2017):

1. Um fluido de trabalho no estado líquido é evaporado usando o calor da fonte quente.
2. O vapor obtido a alta pressão é expandido na turbina produzindo trabalho mecânico, convertido em eletricidade.
3. O vapor à baixa pressão é então resfriado e condensado usando a fonte fria.
4. Uma bomba recicla o fluido de trabalho, encaminhando o material reciclado de volta ao evaporador.

Os dispositivos de conversão presentes na literatura contemplam três processos distintos: na OTEC de ciclo aberto (vide Figura 10 (a)) a água quente da superfície é bombeada até uma câmara de vácuo onde é evaporada instantaneamente, o vapor resultante aciona uma turbina e, então, é condensado por água fria trazida à superfície, retornando ao meio ambiente; em uma planta de ciclo fechado a água quente do mar aquece um fluido de trabalho com um baixo ponto de ebulição, seu vapor, então, move uma turbina acionando um gerador, a seguir, o vapor é condensado pela água fria e retornado ao sistema; já as plantas híbridas (Figura 10 (b)) utilizam a geração em ciclo fechado combinada com um evaporador instantâneo de segundo estágio para dessalinizar a água (Etamedi *et al.*, 2011).

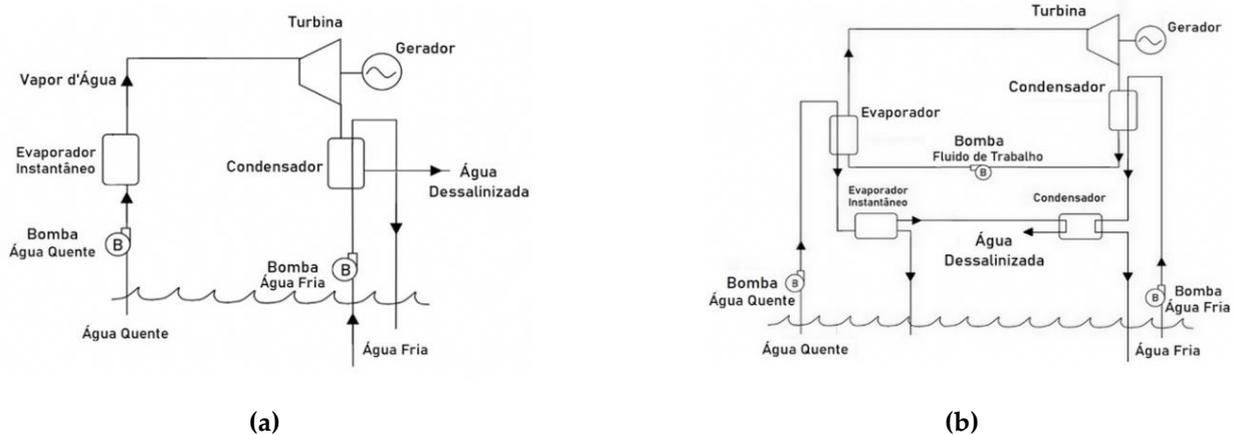


Figura 10. Topologias das plantas OTEC: (a) ciclo aberto, (b) ciclo híbrido (adaptado de Yamada *et al.* (2009)).

Na Figura 11 é possível observar o sistema de geração de energia proposto por Yamada *et al.* (2009) e denominado SOTEC (*Solar-boosted Ocean Thermal Energy Conversion*). Este modelo de conversão diferencia-se da OTEC devido à utilização de coletores solares que, por sua vez, ampliam o gradiente de temperatura entre a fonte quente e fria do ciclo de Rankine, de forma a aumentar a eficiência do sistema.

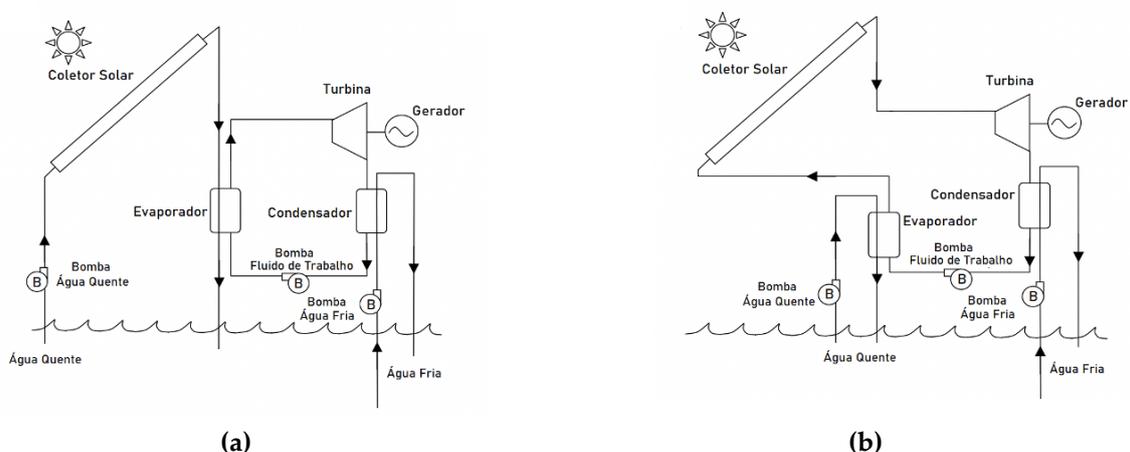


Figura 11. Esquema de operação de uma SOTEC de ciclo fechado: (a) Coletor solar instalado na linha de água quente; (b) Coletor solar instalado na linha do fluido de trabalho (adaptado de Yamada *et al.* (2009)).

6. Conclusões

Através da conversão das energias provenientes dos oceanos, tem-se potencial para suprir parte significativa da crescente demanda mundial por energia elétrica, principalmente no que tange a exploração de energias limpas e renováveis. Conforme pode-se observar ao longo deste estudo, a energia contida nos oceanos apresenta-se de diferentes formas: na energia das correntes, na energia das marés, na energia das ondas e nos gradientes térmicos. A diversidade nas formas de energias oceânicas é vantajosa e contribui para sua utilização como fonte energética. Apesar das metodologias de extração de energia gerarem um impacto ambiental associado, de forma geral a extração ocorre de forma limpa e sem emissão de gases causadores do efeito estufa.

Além disso, outro fator importante a ser considerado é que a distribuição destas formas de energia ocorre de forma geográfica, uma vez que determinadas regiões apresentam maior potencial energético de um tipo de energia do que de outras. Portanto, levando em conta a diversidade da matriz energética dos oceanos é possível avaliar a melhor forma de exploração desta fonte de energia para cada região.

Sendo assim, o presente estudo realizou uma revisão da literatura acerca dos fenômenos físicos que geram distintas formas de energia presentes nos oceanos, bem como, o levantamento a respeito do princípio físico de funcionamento de dispositivos que convertem estas fontes de energia em energia elétrica. Demonstrando, assim, a diversidade e potencialidade energética a serem exploradas nos oceanos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), à Fundação de Amparo à pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e à Fundação de Apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (FAURGS) pelo suporte financeiro para a realização desta pesquisa. P. Oleinik agradece o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências

1. Assis, L. E. "Avaliação e Aproveitamento da Energia de Ondas Oceânicas no Litoral do Rio Grande do Sul", Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2010.
2. Pecher, A. e Kofoed, J. "Handbook of Ocean Wave Energy", Springer Nature, Berlim, 2017. DOI 10.1007/978-3-319-39889-1
3. Soerensen, H. C. e Weinstein, A. "Ocean Energy: Position paper for IPCC". In: proceedings of IPCC Scoping Meeting on Renewable Energy Sources, Lübeck, Alemanha, 2008.
4. Fleming, F. P. "Avaliação do Potencial de Energias Oceânicas no Brasil". Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2012.
5. Fischer, A. "Avaliação do Potencial Energético de Correntes Oceânicas no Litoral Sul do Brasil". Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2014.
6. Iguiecologia. <https://www.iguiecologia.com/correntes-marinhas-sempre-em-movimento/> data de acesso: 26/05/2020. Hora: 13:40
7. Silva, P. C. M. "Usos do Mar". In Instituto de Pesquisas da Marinha, chapter Energias d, page 137-155. Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM), Brasília, 1978.
8. Bahaj, A. S. "Marine current energy conversion: the dawn of a new era in electricity production". Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, v. 371, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.2012.0500>
9. Aquaret. http://www.aquaret.com/index0350.html?option=com_content&view=article&id=113&Itemid=256&lang=pt, data de acesso: 31/05/2020. Hora: 13:00
10. Campos, G.; Silva, F.; Raptopoulos, L. e Dutra, M. "Concepção do dispositivo de geração de energia por correntes dos oceanos e rios", CONEM, 2015. DOI: 10.20906/CPS/CON-2016-0840.
11. Kepler, S. O. e Saraiva, M. F. O. "Astronomia e Astrofísica". Instituto de Física - UFRGS, Porto Alegre, 2014.
12. Nussenzveig, M. Curso de Física Básica. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2002.
13. Khare, V.; Khare, C. e Nema, S. "Tidal Energy Systems: design, optimization and control". Elsevier, Indore, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2017-0-02279-6>

14. Selin, N. E. "Tidal power". Londres: Encyclopædia Britannica, Inc., 2020. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/tidal-power>. Acesso em: 03 jun. 2020.
15. Sesmil, E. L. F. "Energia Maremotriz: Impactos Ambientais E Viabilidade Econômica No Brasil." 2013. 62 f. Monografia (Especialização) - Curso de Fontes Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.
16. Grimmler, J. "Conversor de Energia das Ondas em Energia Elétrica com Dispositivo de Coluna de Água Oscilante: Simulação Numérica e Estudo Geométrico". Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Brasil, 2013.
17. Omar, C. "Estudo de métodos para a conversão da energia das ondas oceânicas". Dissertação Mestrado, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2018
18. Dean, R. G. e Dalrymple, R. A. "Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists", World Scientific, Singapura, 1991.
19. Mendes, R. P. G. "Energia das ondas: desenvolvimento de uma tecnologia de geração: gerador tubular". Dissertação de Mestrado, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2011.
20. Scarparo, A.; Lima, J. J.; Silva, P. R. J.; Araujo, F. R. M. e Carvalho, J. B. "Fontes De Energia Renováveis: Energia das Ondas". Revista Conexão Eletrônica, v. 14, 2017.
21. Seibt, F. M. "Estudo Numérico de um Dispositivo de Placa Horizontal Submersa para Conversão de Energia das Ondas em Energia Elétrica Aplicando Design Construtal." 2019. 2016 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.
22. Machado, B. "Estudo Numérico Tridimensional De Um Dispositivo De Galgamento Para Conversão De Energia Das Ondas Do Mar Em Energia Elétrica Aplicando O Método Constructal Design". Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2016.
23. Callaway, E. "Energy: To Catch a Wave". Nature, v. 450, 2007. DOI: 10.1038/450156a
24. Dijoux, A.; Sinama, F.; Marc, Olivier; Clauzade, Bertrand; Lasvignottes, J. C. "Working Fluid Selection General Method and Sensitivity Analysis of an Organic Rankine Cycle (ORC): Application to Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)". HAL, 2017. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01653074>, acesso 03 de junho de 2020.
25. Etemadi, A.; Emdadi, A.; Asefashar, O. e Emami, Y. "Electricity Generation by the Ocean Thermal Energy". Energy Procedia, v. 12, 2011. DOI: 10.1016/j.egypro.2011.10.123
26. Yamada, N.; Hoshi, A. e Ikegami, Y. "Performance Simulation of Solar-boosted Ocean Thermal Energy Conversion Plant". Renewable Energy, v. 34, 2009. DOI: 10.1016/j.renene.2008.12.028