

TECNOLOGIAS EMERGENTES DE ENERGIA RENOVÁVEL OFFSHORE.

Resumo

Este artigo apresenta uma análise técnica e crítica das tecnologias marítimas emergentes no setor da energia renovável offshore, com foco nas fontes provenientes das ondas e marés. Através de uma abordagem estruturada via análise SWOT, são exploradas as oportunidades, limitações e potencial de evolução destas tecnologias, oferecendo uma visão comparativa e fundamentada do panorama atual. Apesar dos avanços registados, conclui-se que ambas as tecnologias se encontram ainda em fase de desenvolvimento, sendo prematuro afirmar qual apresenta maior vantagem competitiva. A escolha da solução tecnológica mais adequada está intrinsecamente ligada a fatores geográficos e ambientais, como a profundidade e a morfologia da costa, a intensidade e regularidade das ondas e marés, bem como as características das correntes, salinidade e ecossistemas locais. A energia das ondas revela maior viabilidade em regiões com forte agitação marítima, como as costas ocidentais da Europa e dos Estados Unidos. Já a energia das marés demonstra maior eficácia em zonas costeiras com grande amplitude de maré, como estuários e baías. Este estudo reforça a importância de uma análise contextualizada para a adoção estratégica de soluções energéticas sustentáveis em ambiente marítimo.

Palavras-chave: Análise SWOT, Energia Renovável Offshore, Produção, Tecnologias.

1. Introdução

A energia renovável marítima (offshore) refere-se à produção de energia a partir de recursos naturais disponíveis no ambiente marinho, como o vento, as ondas, as marés, as correntes oceânicas e a diferença de temperatura entre camadas de água. Estas fontes são inesgotáveis à escala humana e oferecem um elevado potencial de contribuição para a transição energética e a descarbonização da economia.

A produção offshore apresenta vantagens significativas, como maior disponibilidade de espaço, recursos energéticos mais intensos e redução do impacto visual e sonoro em comparação com instalações em terra. No entanto, também implica desafios técnicos, ambientais e económicos que requerem investigação contínua e soluções tecnológicas inovadoras.

O aumento da construção de parques renováveis offshore em várias zonas do planeta deve-se à cada vez mais escassa área disponível em terra. A energia offshore é inesgotável, não poluente e as perdas de transmissão e distribuição são relativamente baixas. Como a área disponível no mar é vasta e desimpedida, permite a construção de instalações e equipamentos de elevada capacidade instalada. O vento no mar é estável, logo gera potências mais constantes e produz maior energia elétrica [1].

Apesar dos desafios que a energia renovável offshore enfrenta, esta apresenta vantagens fortes, como produção de energia verde, redução da dependência de combustíveis fósseis e consequente diminuição dos preços da eletricidade aos consumidores. À vista disso, desempenha um papel promissor para atender os objetivos da transição energética e neutralidade climática até 2050 [2].

A União Europeia (UE), com recurso das suas políticas e investimentos proporcionou o desenvolvimento da energia renovável offshore, sendo o cerne para a concretização do Pacto Ecológico Europeu [3].

Para a estratégia ser cumprida, a UE pretende atingir a instalação de cerca de 111 GW até 2030 [4], entre 215 e 248 GW até 2040 [5] e 317 GW até 2050. Estas metas são essenciais para garantir os objetivos energéticos e climáticos e, ao mesmo tempo, reduzir as importações de energia, aumentar a competitividade e acessibilidade de eletricidade [6].

A Europa enfrenta um desafio urgente sobre a transição energética, por isso o oceano começa a ser a resolução para o problema. Para além do vento, também as ondas e marés serão a revolução do futuro energético a contribuir para o aumento da produção de energia *offshore* [7].

O foco deste artigo é caracterizar as tecnologias emergentes da energia das ondas e marés, com o intuito de dar a conhecer qual a tecnologia mais vantajosa para o futuro. Este estudo tem como base uma análise SWOT realizada para as tecnologias emergentes *offshore*. Estas energias não pretendem competir com a energia eólica *offshore*, mas sim assumirem-se como alternativas *offshore* emergentes.

2. Caracterização da Indústria *Offshore*

2.1 Evolução das Instalações de Produção

A Europa tem 278 GW de capacidade de energia eólica, dos quais 243 GW são em terra (*onshore*) e 35 GW no mar (*offshore*). A UE prevê que sejam construídos anualmente parques eólicos, entre 2024 e 2030 com 22 GW em média. Assim, é necessário que a UE instale 350 GW até 2030, sendo que a meta é de 425 GW [8].

A Figura 1 [9] ilustra a evolução da energia eólica *offshore* que, não sendo objeto de estudo deste trabalho, apenas é

apresentada pois é a mais avançada comparativamente às tecnologias emergentes, não existindo estatísticas concretas sobre as mesmas. Esta demonstra que a capacidade instalada tem aumentado significativamente, no entanto ainda é preciso realizar um trabalho árduo, até atingir os objetivos.

2.2 Tecnologias de Produção de Energias Renováveis *Offshore*

A evolução da produção da energia *offshore* depende da inovação técnica e comercial dos sistemas de desenvolvimento tecnológicos da energia das ondas e marés [10].

2.2.1 Energia das ondas

A energia das ondas é uma forma de energia renovável gerada pelo movimento das ondas no oceano. Esse movimento é resultado da ação do vento sobre a superfície da água, que cria ondulações que podem ser captadas e convertidas em eletricidade.

Esse tipo de energia é considerado uma das formas mais promissoras de energia oceânica devido ao seu alto potencial de produção e previsibilidade.

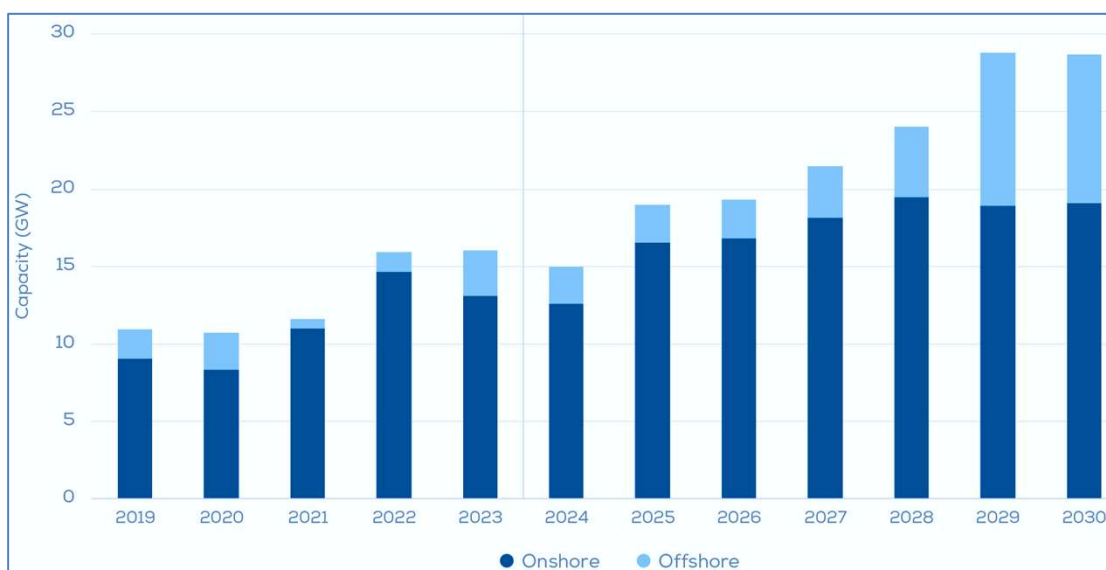


Figura 1. Instalações anuais de energia eólica 2024-2030 na UE

As ondas são caracterizadas principalmente pela sua altura, comprimento e frequência. A altura das ondas indica a distância vertical entre o ponto mais baixo e o mais alto da onda. O comprimento das ondas refere-se à distância horizontal entre dois picos consecutivos, e a frequência está relacionada à quantidade de ondas que passam por um ponto em um determinado período.

A energia das ondas é a energia cinética dos movimentos verticais e horizontais das ondas ou a energia potencial gravítica das colunas de água, sendo captada a partir dos absorventes flutuantes, atenuadores, colunas de água oscilantes, dispositivos overtopping ou diferenciais de pressão submersos [11].

O absorvente pontual, Figura 2 [12], capta a energia das ondas e absorve o movimento das ondas em várias direções. Consiste em boias ou flutuadores que se movem verticalmente com as ondas, ligados a uma placa de reação submersa ou estrutura fixa. O movimento entre a boia e o componente submerso liga um sistema de tomada de força (PTO), que converte a energia mecânica em eletricidade.



Figura 2. Absorvente pontual

O atenuador flutua paralelamente à direção das ondas e aciona bombas hidráulicas ou outros PTO, para converter a energia das ondas em energia elétrica [13]. O atenuador Pelamis é um exemplo desta tecnologia, como apresenta a Figura 3 [14].



Figura 3. Atenuador Pelamis

A coluna de água oscilante da Figura 4 [15], comprime e descomprime o ar dentro da câmara através do movimento ascendente e descendente das ondas. À medida que as ondas entram na câmara, elas forçam o ar através de uma turbina, gerando eletricidade [16].



Figura 4. Coluna de água

O dispositivo *overtopping* da Figura 5 [17], conduz as ondas para um reservatório de captura de energia. Quando o reservatório está repleto, a energia potencial da água armazenada transforma-se em energia cinética e, no momento que é libertada pelas turbinas gera eletricidade [18].



Figura 5. Overtopping

O dispositivo diferencial de pressão submerso, Figura 6 [19], utiliza a diferença de pressão entre a coluna de água induzida pelas ondas oscilantes e a coluna de água estática para acionar um sistema PTO para produzir eletricidade. Um exemplo disto é o *WaveRoller* [20].



Figura 6. WaveRoller

2.2.2 Energia das marés

A energia das marés advém das subidas e descidas do nível da água, originadas pela força gravitacional realizada pela Lua e pelo Sol sobre a Terra. Este recurso natural contém dois tipos de energia: a cinética, por causa das correntes marítimas e a potencial, devido à diferença de alturas entre as marés altas e baixas [21].

A energia das marés é captada a partir de barragens, eclusas e unidades de energia em zonas costeiras, na qual o nível da água altera significativamente com as marés, como se verifica na Figura 7 [22]. É um sistema idêntico ao das centrais hidrelétricas. As barragens são construídas próximas do mar e os diques captam e armazenam a água durante a maré alta. Quando a maré está baixa, a água é devolvida ao mar e passa por uma turbina que produz energia elétrica [23].



Figura 7. Barragem marítima

No caso das correntes marítimas, estas aproveitam o movimento horizontal das massas de água, através das turbinas localizadas no fundo do mar, como é visível na Figura 8 [24], de modo a transformar a força das correntes em eletricidade através de um gerador [25].

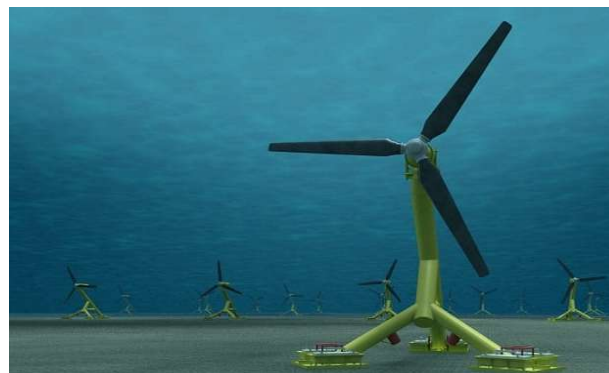


Figura 8. Turbina marítima

3. Análise SWOT

As fontes de energia renovável *offshore* emergentes têm ambas um grande potencial, no entanto, tanto a energia das ondas como a das marés enfrentam consideráveis desafios tecnológicos, económicos e ambientais. A escolha entre elas (ou a combinação de ambas) depende de fatores como localização, viabilidade económica e os objetivos de sustentabilidade de cada projeto.

A análise SWOT (Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças) é uma ferramenta estratégica útil para avaliar as vantagens e desafios de uma tecnologia ou setor. Nesta secção aplicamos a análise SWOT para as duas tecnologias *offshore* emergentes, estabelecendo uma relação entre os fatores externos e internos.

Com isto, é possível identificar os aspetos a melhorar, as oportunidades de crescimento, os aspetos positivos e os problemas que podem causar [26].

3.1 Energia das Ondas

A Tabela 1 demonstra a análise SWOT relativamente à tecnologia da energia das ondas.

Tabela 1. Análise SWOT: Energia das ondas

| Forças | Oportunidades |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> Potencial energético Introduzir eletricidade em sistemas isolados ao largo (<i>offshore</i>) ou na costa | <ul style="list-style-type: none"> Fornecimento contínuo de energia Utilização em áreas remotas e ilhas Incentivos governamentais |
| Fraquezas | Ameaças |
| <ul style="list-style-type: none"> Tempestades reduzem o desempenho Irregularidade das ondas Equipamentos em desenvolvimento | <ul style="list-style-type: none"> Condições climáticas extremas Desafios técnicos Impacto na vida marinha e na dinâmica costeira Financiamento e investimentos limitados |

3.2 Energia das Marés

A Tabela 2 indica as oportunidades e desafios da energia das marés referentes à análise SWOT.

Tabela 2. Análise SWOT: Energia das marés

| Forças | Oportunidades |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> Movimento periódico das marés Elevada densidade energética Potencial de armazenamento | <ul style="list-style-type: none"> Integração em sistemas de armazenamento Parcerias público-privadas |
| Fraquezas | Ameaças |
| <ul style="list-style-type: none"> Custos competitivos Reduzida diferença entre o nível entre a maré cheia e baixa-mar Limitação geográfica | <ul style="list-style-type: none"> Afeta a navegação e a vida marinha em estuários Volatilidade de investimentos e subsídios Exige condições específicas de profundidade |

3.3 Análise e Interpretação

Ao interpretar a análise SWOT verifica-se que ambas as tecnologias proporcionam a transição para um futuro energético sustentável, porque são fontes renováveis, sem emissões diretas de gases de efeito de estufa. Contudo, apresentam desvantagens e desafios. O custo, a manutenção e o desgaste de equipamentos são fraquezas abrangentes às duas tecnologias. Para além disto, são uma ameaça para a vida marinha e por vezes, para as navegações. Os financiamentos e investimentos são um incentivo para a realização dos projetos, mas são limitados, tornando-se

assim numa ameaça para as duas tecnologias. A superação dos desafios mencionados depende dos avanços tecnológicos, políticas públicas adequadas e investimentos contínuos no desenvolvimento.

A energia das ondas introduz eletricidade em sistemas isolados ao largo (*offshore*) ou na costa. Ao largo, a geração de energia possibilita fornecer energia, sem custos de transporte para atividades, nomeadamente de aquacultura ou produção de hidrogénio. Na costa, as centrais de ondas geram eletricidade que permitem apoiar as redes locais das zonas portuárias, climatização de edifícios ou dessalinização.

Relativamente à energia das marés, tem como força o movimento periódico das marés, pois estão relacionadas com a força gravitacional exercida pela Lua e pelo Sol sobre a Terra.

Tendo tudo em consideração, atualmente, ainda não é possível afirmar globalmente qual é a melhor tecnologia, sendo apenas possível ditar a melhor com base na localização geográfica. A tecnologia da energia das ondas é promissora em locais com ondas fortes e consistentes, por exemplo na costa oeste da Europa e costa oeste dos Estados Unidos. Já a tecnologia da energia das marés deve ser aplicada em mares com grande amplitude, como estuários e baías.

4. Conclusões

A energia renovável *offshore* tem experimentado um avanço significativo ao longo dos anos, refletindo o crescente compromisso do setor elétrico em desenvolver tecnologias que contribuam para os objetivos da transição energética e a neutralidade climática até 2050. No contexto das energias marinhas, a análise SWOT das tecnologias de energia das ondas e das marés revela que ambas ainda se encontram em fase de pesquisa e desenvolvimento, o que implica na ausência de uma solução única aplicável a todas as regiões. Em vez disso, a escolha da tecnologia ideal deve ser ajustada às características específicas de cada local.

A tecnologia de energia das ondas é mais adequada para regiões com ondas fortes e consistentes, como a costa oeste da Europa e dos Estados Unidos. Já a energia das marés é indicada para locais com grandes variações de amplitude, como estuários e baías, onde o movimento das marés é mais pronunciado.

Ao avaliar as oportunidades e desafios apresentados por essas tecnologias, observa-se que a energia eólica *offshore* provavelmente superará as limitações das tecnologias emergentes, devido ao seu maior grau de maturidade e

capacidade de produção. Contudo, a escolha da melhor tecnologia para cada projeto depende de uma análise detalhada das condições locais, incluindo profundidade, frequência das ondas e marés, correntes marítimas, salinidade, presença de vida marinha e viabilidade econômica.

Além disso, a dimensão do projeto, seja em pequena ou grande escala, tem um impacto significativo na escolha da tecnologia, pois ela influencia as necessidades de produção de energia e a capacidade de armazenamento. A obtenção das licenças ambientais e o apoio da comunidade portuária também são fatores cruciais para o sucesso de qualquer empreendimento *offshore*.

A médio e longo prazo, a combinação das tecnologias de ondas e marés pode emergir como uma solução altamente eficiente, aproveitando ao máximo o potencial energético dos oceanos. Essa integração representa não apenas uma expansão da economia azul, mas também uma contribuição significativa para a descarbonização do sistema energético global.

Em última análise, a energia marinha possui um grande potencial para a produção de energia renovável. No entanto, para se tornar uma alternativa competitiva e sustentável, é fundamental o investimento em I&D, de modo a garantir a maturidade tecnológica para o setor renovável *offshore*.

Referências Bibliográficas

- [1] Repsol, “Energia eólica *offshore*: como é produzida e as suas vantagens,” 2024. [Online]. Available: www.repsol.pt/particulares/assessoramento/energia-eolica-offshore-vantagens/.
- [2] Parlamento Europeu, “De que forma a UE impulsiona as energias renováveis?,” 12 junho 2024. [Online]. Available: www.europarl.europa.eu/topics/pt/article/20221128STO58001/como-esta-a-ue-a-impulsionar-as-energias-renovaveis.
- [3] Tribunal de Contas Europeu, “Energia marítima renovável na União Europeia,” 2023. [Online]. Available: www.eca.europa.eu/ECAPublications/SR-2023-22/SR-2023-22_PT.pdf

- [4] NOCTULA, “APREN organiza conferência dedicada às energias renováveis *offshore* em Portugal,” 2024. [Online]. Available: <https://noctula.pt/energias-renovaveis-offshore-em-portugal/>.
- [5] Menon Economics, “Scaling Floating Offshore Wind,” 2024. [Online]. Available: www.menon.no/wp-content/uploads/Menon-Economics_Floating-offshore-wind_why-scale-matters_6.2.24.pdf.
- [6] Parlamento Europeu, “Energia renovável,” 29 janeiro 2024. [Online]. Available: www.europarl.europa.eu/factsheets/pt/sheet/70/renewable-energy.
- [7] Denis Loctier, “UE ambiciona aumentar produção de energia offshore até 2030,” Euronews, 1 janeiro 2024. [Online]. Available: <https://pt.euronews.com/green/2024/01/30/ue-ambiciona-aumentar-producao-de-energia-offshore-ate-2030>.
- [8] EDP, “Revolucionar a Energia Eólica Offshore,” 20 março 2024. [Online]. Available: <https://www.edp.com/pt-pt/historias-edp/revolucionar-a-energia-eolica-offshore>.
- [9] WindEurope, “Latest wind energy data for Europe: Autumn 2024,” 12 setembro 2024. [Online]. Available: <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/latest-wind-energy-data-for-europe-autumn-2024/>.
- [10] D. Loctier, “Progresso das tecnologias de produção de energia a partir das ondas suscita cada vez mais interesse,” euronews, 30 janeiro 2024. [Online]. Available: <https://pt.euronews.com/green/2024/01/30/progresso-das-tecnologias-de-producao-de-energia-a-partir-das-ondas-suscita-cada-vez-mais->.
- [11] CorPower Ocean, “An overview of wave energy - Section 5/12,” 2024. [Online]. Available: <https://corpowerocean.com/a-short-history-of-wave-energy/>.
- [12] Environment Go, “8 Types of Wave Energy Converters and How Each Operates,” 12 julho 2023. [Online]. Available: <https://environmentgo.com/types-of-wave-energy-converters/>.
- [13] ENP -Estaleiros Navais de Peniche, “Pelamis,” 2017, [Online]. Available: <https://enp.pt/servicos/outros-projectos/pelamis/>.
- [14] P. Reis, “Vantagens e desvantagens da Energia das ondas e marés,” Portal Energia, 2024. [Online]. Available: www.portal-energia.com/energia-ondas-e-mares-vantagens-e-desvantagens/.
- [15] ScienceDirect, “Wave Energy,” 2023. [Online]. Available: www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/wave-energy.
- [16] Aquanet Power, “Technology,” 2023. [Online]. Available: www.aquanetpower.com/how-it-works.
- [17] M. Prado, “Após sobreviver a vagas de 18 metros em Portugal, CorPower procura mais €30 milhões para a energia das ondas,” Expresso, 14 março 2024. [Online]. Available: https://expresso.pt/economia/economia_energia/2024-03-14-Apos-sobreviver-a-vagas-de-18-metros-em-Portugal-CorPower-procura-mais-30-milhoes-para-a-energia-das-ondas-909a6bf8.
- [18] A. Falcão, “Overtopping devices,” Ocean Energy Systems, 2024. [Online]. Available: www.ocean-energy-systems.org/what-is-ocean-energy/waves/overtopping-devices/.
- [19] AWAY, “Energia das ondas pode impulsionar hidrogénio verde em África,” 18 maio 2023. [Online]. Available: <https://away.iol.pt/hidrogenio/renovaveis/energia-das-ondas-pode-impulsionar-hidrogenio-verde-em-africa/20230518/6466172dd34ef47b8753fdab>.
- [20] AW-Energy, “WaveRoller,” 2023. [Online]. Available: <https://aw-energy.com/waveroller/>.
- [21] N. Freire, “Energia das marés ou como aproveitar o potencial ilimitado do mar,” National Geographic, 30 junho 2024. [Online]. Available: www.nationalgeographic.pt/meio-ambiente/energia-mares-ou-como-aproveitar-potencial-ilimitado-mar_5157.
- [22] J. P. Malar, “Entenda como ondas e marés podem gerar energia no Brasil,” CNN Brasil, 11 setembro 2021. [Online]. Available: www.cnnbrasil.com.br/economia/macroeconomia/entenda-como-ondas-e-mares-podem-gerar-energia-no-brasil/.
- [23] Gold Energy, “Energia das Marés,” 2024. [Online]. Available: <https://goldenergy.pt/glossario/energia-das-mares/>.
- [24] offshoreWIND.biz, “Scottish Hydro Electric Transmission Delays Northern Isles Grid Connection Upgrade,” 25 dezembro 2012. [Online]. Available: www.offshorewind.biz/2012/12/25/scottish-hydro-electric-transmission-delays-northern-isles-grid-connection-upgrade/.
- [25] T. Bigordà, “Energia marinha: tipos, tecnologias e seu potencial renovável,” Renovables Verdes, 12 outubro 2024. [Online]. Available: <https://pt.renovablesverdes.com/energia-marinha-tamb%C3%A9m-gera-energia-renov%C3%A1vel/>.
- [26] Midori Nediger, “Venngage,” 30 janeiro 2024. [Online]. Available: <https://pt.venngage.com/blog/analise-swot-exemplo/>.

