Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.05, 2025
ISSN 2178-6925

IMPORTÂNCIA DA ENERGIA MAREMOTRIZ NA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE: VANTAGENS E DESVANTAGENS

IMPORTANCE OF TIDAL ENERGY IN ELECTRICITY PRODUCTION: ADVANTAGES AND DISADVANTAGES

Letícia Ferreira de Araújo
Técnica em Sistemas de Energia Renovável pelo IFPB – Campus Esperança.
E-mail: ferreira.leticia@academico.ifpb.br

Aldeni Barbosa da Silva
Doutor em Agronomia (Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Campus II). Professor de Biologia do IFPB - Campus Esperança. E-mail: aldeni.silva@ifpb.edu.br
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9454-7450

Marcelo Máximo Purificação
Doutor em Ciências da Religião (Pontifícia Universidade Católica de Goiás – PUC Goiás). Centro Universitário de Mineiros, UNIFIMES, Brasil. E-mail: maximo@unifimes.edu.br
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4788-016X

Edmilson Dantas da Silva Filho
Doutor em Engenharia Agrícola (Universidade Federal de Campina Grande – UFCG - Campus I). Professor de Química do IFPB - Campus Campina Grande.
Email: edmilson.silva@ifpb.edu.br
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1981-7558

Renan Antônio da Silva
Doutor em Educação Escolar, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP. E-mail: renan@ufscar.br
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1171-217X

Avaetê de Lunetta e Rodrigues Guerra

Doutorando em Ciência, Tecnologia e Sociedade, Universidade Federal de São Carlos, UFSCar. E-mail: avaete.guerra@gmail.com

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7834-4362

Resumo

Esse trabalho teve o objetivo de abordar a energia maremotriz como uma alternativa sustentável para a geração de eletricidade, destacando a importância de fontes renováveis em um contexto de crescente demanda energética e esgotamento de combustíveis fósseis. O estudo teve como método de pesquisa o de natureza exploratória, com análises de revisão bibliográfica qualitativa, a partir de materiais já elaborados utilizados para compor a investigação. A coleta de dados ocorreu através do levantamento das produções científicas, cujas referências bibliográficas foram baseadas em Livros, Artigos, Scopus, Scielo, trabalhos de conclusão de curso, teses de mestrado e doutorado. Os trabalhos científicos foram pré-selecionados e os considerados mais relevantes foram armazenados para melhor leitura e compreensão. Seguiu-se as normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) para organizar as referências e citações. Observou-se que a energia maremotriz é uma alternativa viável e sustentável para a geração de eletricidade, com potencial significativo no Brasil, mas sua implementação deve ser feita de forma responsável, considerando os impactos ambientais e sociais. Essa forma de geração de energia é renovável e traz benefícios como a previsibilidade de produção. Terá reduções de custos no futuro e um ótimo potencial no Brasil. Conclui-se que a energia maremotriz é uma alternativa viável e sustentável, mas sua implementação deve ser acompanhada de um compromisso com a preservação ambiental e a responsabilidade social, garantindo que os benefícios sejam amplamente distribuídos e que os ecossistemas costeiros sejam protegidos para as futuras gerações.

Palavras-chave: Energia das marés; energia renovável; Energia sustentável; ondas.

Abstract

This paper aims to address tidal energy as a sustainable alternative for electricity generation, highlighting the importance of renewable sources in the context of growing energy demand and the depletion of fossil fuels. The research method used was exploratory in nature, with qualitative bibliographic review analyses, based on already developed materials used to compose the investigation. Data collection occurred through the survey of scientific productions, with bibliographic references based on books, articles, Scopus, Scielo, theses, and dissertations. The scientific papers were pre-selected, and the most relevant ones were stored for better reading and understanding. The ABNT (Brazilian Association of Technical Standards) guidelines were followed to organize the references and citations. It was observed that tidal energy is a viable and sustainable alternative for electricity generation, with significant potential in Brazil, but its implementation must be carried out responsibly, considering environmental and social impacts. The form of energy generation addressed in this paper offers benefits such as production predictability, being a renewable source, cost reductions in the future, and great potential in Brazil. It is concluded that tidal energy is a viable and sustainable alternative, but its implementation must be accompanied by a commitment to environmental preservation and social responsibility, ensuring that benefits are widely distributed and coastal ecosystems are protected for future generations.

Keywords: Tides, renewable, sustainable, waves.

1. Introdução

Um dos grandes desafios para a sociedade neste século é garantir um futuro energético sustentável, devido a diversos fatores sociais, tecnológicos, econômicos e políticos que são inerentes ao progresso e a exploração de recursos naturais (HOSENUZZAMAN et al., 2015). Neste contexto, os temas relacionados à sustentabilidade e eficiência energética não se trata apenas da necessidade de oferecer uma demanda adequada de energia para atender as necessidades futuras, mas como fazê-la de modo que esteja em consonância com a preservação dos recursos naturais, que ofereça os serviços básicos com energia renovável a população que ainda não têm acesso e minimize os conflitos geopolíticos entre países, devido à alta demanda energética (GOLDEMBERG; CHU, 2010; ARAÚJO et al., 2022).

Os combustíveis fósseis além de liberar dióxido de carbono, estão começando a ter suas reservas esgotadas. Além desses problemas, há ainda a questão do petróleo e o gás natural precisarem ser extraídos de poços cada vez mais profundos em mar aberto. Isto, além de desferir um custo elevado com instalações, manutenção e transporte; causa grandes riscos ao trabalhador e insatisfação por ter que passar longos períodos em alto-mar. Essa insatisfação e os riscos refletem diretamente em investimentos elevados em segurança e diminuem a produtividade do profissional (DÁRIO et al., 2013).

Na busca pela diminuição dos impactos ambientais e sociais causados pelas fontes de energia tradicionais e buscando a preservação dos recursos naturais deu-se início a busca por fontes de energias alternativas com baixo custo ambiental, chamadas energias renováveis. Essas energias alternativas não prejudicam a natureza, e cada vez mais vêm ganhando espaço e competindo com as energias já existentes (AGUILAR et al., 2012). De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2013), as fontes renováveis de energia provavelmente terão uma participação cada vez mais relevante na matriz energética global durante as próximas décadas. Seu uso na geração de energia elétrica é amplamente aplicável, inclusive no Brasil.

No rol das energias renováveis destacam-se as energias das marés que constituem uma fonte energética bastante promissora e, portanto, tem sido apontada como uma das mais importantes fontes de energia renovável (ASTARIZ; IGLESIAS, 2015), estando incluída neste grupo a energia maremotriz a qual pode ser gerada pelas marés tanto pelas oscilações de suas correntes, quanto pela diferença de altura entre maré alta e maré baixa (GUIMARÃES et al., 2019).

Considerando a extensa costa brasileira e a expertise do Brasil em construções oceânicas como plataformas de gás e petróleo, há possibilidade viável para obtenção desse tipo de energia. Embora sua construção seja mais custosa que a dos parques eólicos, especialistas apontam um potencial significativo nos 9,2 mil quilômetros do litoral brasileiro, com uma capacidade para abrigar usinas capazes de gerar 87 gigawatts (CAVINATO, 2021). De acordo com Alexandre et al. (2022), observa-se que o Brasil possui elevada capacidade para geração de energia elétrica por meio de usinas maremotrizes, com destaque das regiões do litoral Norte e Nordeste.

Diante disso, esse trabalho teve o objetivo de estudar as vantagens e desvantagens da energia maremotriz na produção de eletricidade.

2. Metodologia

Esse trabalho teve como método de pesquisa o de natureza exploratória, com análises de revisão bibliográfica qualitativa, a partir de materiais já elaborados utilizados para compor a investigação, que segundo Vosgerau e Romanowski (2014) se caracteriza como o processo de busca do referencial teórico.

Em relação ao tipo de pesquisa dessa revisão de literatura, o trabalho enquadra-se como uma pesquisa explicativa, visto que, essa modalidade tem como objetivo central identificar os fatores que determinam ou contribuem para fenômenos ocorrentes na sociedade (GIL, 2002). De acordo com o mesmo autor, acerca dos procedimentos técnicos da elaboração da revisão de literatura, esse trabalho se classifica puramente como uma pesquisa bibliográfica, vez que, a pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado.

A coleta de dados ocorreu através do levantamento das produções científicas, cujas referências bibliográficas foram baseadas em Livros, Artigos, Scopus, Scielo, trabalhos de conclusão de curso, teses de mestrado e doutorado. Os trabalhos científicos foram pré-selecionados e os considerados mais relevantes foram armazenados para melhor leitura e compreensão. Seguiu-se as normas ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) para organizar as referências e citações.

3. Revisão da Literatura

3.1. Energia proveniente dos oceanos

A Energia proveniente dos oceanos, também conhecida como energia das marés, é uma forma de captação de energia que pode ser explorada de diversas formas, sendo as principais através do desnível da água do mar provocado pelo fenômeno da maré e pelas ondas (LEITE NETO et al, 2011). A captação de energia utilizando o desnível da água do mar é feita pela transformação da energia cinética das correntes de maré ou pela transformação da energia potencial em usinas semelhantes às hidrelétricas convencionais (SAAVEDRA, 2016). Já a energia das ondas, a sua conversão em eletricidade ainda está em fase pré-comercial. Ela ocorre por meio de um conceito chamado “coluna oscilante de água”, que modifica a pressão do ar dentro de uma câmara, acionando a turbina para produção de eletricidade (NASCIMENTO et al, 2017).

A geração de energia elétrica a partir das correntes de marés emprega turbinas similares as que são usadas na geração eólica, como apresentado na Figura 1.

Também existem outras tecnologias, como as turbinas de eixo vertical (Kobold e Gorlov, por exemplo) e geradores, como o Stingray, que são objetos de pesquisa (NASCIMENTO, 2017).

Já o aproveitamento da energia potencial das marés é feito por meio de um reservatório formado junto ao mar, com a construção de uma barragem contendo uma turbina e um gerador (MME, 2007). O aproveitamento pode ser realizado nos

dois sentidos. Na maré alta, a água enche o reservatório, passando através da turbina e produzindo energia elétrica. Na maré baixa, quando a água esvazia o reservatório, passando novamente através da turbina, agora em sentido contrário ao do enchimento, e produzindo energia elétrica. Essas usinas são classificadas como de ciclo único, quando operam apenas durante o enchimento ou esvaziamento do reservatório, ou de ciclo duplo, quando operam nos dois sentidos (Figura 2).

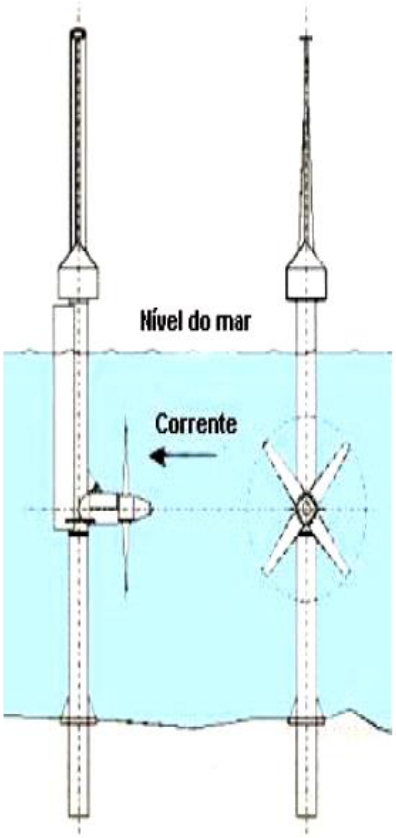

Figura 1. Turbinas de aproveitamento de energia das correntes marinhas.

Fonte: MME (2007).

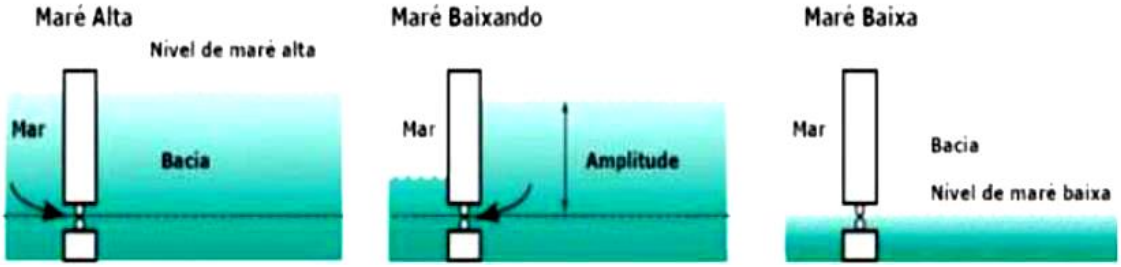

Figura 2. Ilustração do funcionamento de uma usina maremotriz. Fonte: OLIVEIRA (2016).

A energia das marés tem sido aproveitada usando grandes barragens em áreas de altas amplitudes de marés. Muitos países, como Reino Unido, Rússia, China e França possuem grandes amplitudes de marés e locais viáveis para instalações de captação desse tipo de energia (OLIVEIRA, 2016). A energia maremotriz poderia ser facilmente aproveitada no Brasil por conta da extensa faixa litorânea que cerca o país, mesmo que necessite de condições geográficas específicas para sua implantação e da criação de uma barragem resistente as alterações de marés (FONTES, 2022).

3.2. Componentes de uma usina maremotriz

Os principais componentes de uma usina maremotriz são: barragem, comportas, equipamentos eletromecânicos, além de um ou mais reservatórios. Na Figura 3 são esquematizados os principais componentes de uma usina maremotriz.

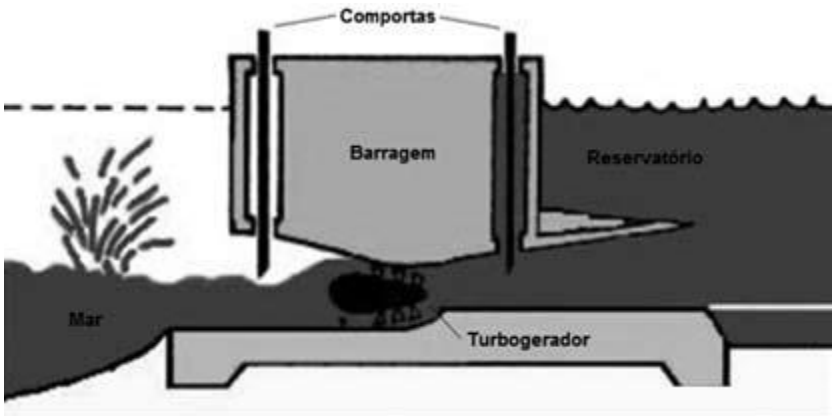

Figura 3. Esquema ilustrativo dos componentes de uma usina maremotriz. Fonte: MASSOUD et al., 2001.

Barragem

A construção da barragem representa uns dos fatores mais relevantes em uma usina maremotriz, principalmente por se relacionar de forma bastante significativa com os custos totais de implantação da usina.

O projeto da barragem, em uma usina maremotriz, deve prever uma série de condições que são especificas pra este tipo de aproveitamento (CLARK, 2007):

• A barragem deve prever os efeitos das ondas que se chocam contra ela. Estes efeitos podem ser bastantes severos devido à variação constante de pressão entre ambos os lados;

• A localização e o formato da barragem podem alterar os fenômenos de ressonância e reflexão que ocorrem dentro de um estuário. Desta forma, é possível elevar ou atenuar a amplitude da maré e, consequentemente, a energia produzida pela usina. Portanto, este é um fator que deve ser analisado cuidadosamente.

Comportas

As comportas incorporadas à barragem de uma usina maremotriz tem a função principal de controlar o nível de água do reservatório, sendo que a frequência em que estas são abertas está relacionada ao tipo de maré e ao modo de operação da usina. As comportas usadas em uma usina maremotriz operam com muito mais frequência do que em uma hidrelétrica convencional. Portanto, é necessário que estas operem com maior rapidez e com elevado grau de confiabilidade, de modo a evitar problemas operacionais e manutenções constantes. Outro importante fator que deve ser considerado é o ambiente de operação das comportas. Os constantes impactos das ondas e a corrosão podem resultar em problemas operacionais às comportas e, portanto, devem ser levados em consideração (LEITE NETO et al., 2011).

Reservatório

A principal função do reservatório em uma usina maremotriz é o armazenamento de água, de modo a gerar a queda d'água necessária para geração de eletricidade através dos turbogeradores. Estes reservatórios podem ser reentrâncias costeiras, enseadas, corpos de águas entre ilhas e continentes, ou estuários (CHARLIER, 1982).

O projeto de uma usina maremotriz pode envolver um ou mais reservatórios, sendo que a primeira alternativa é a mais comum e mais econômica, embora tenha menos flexibilidade. Um dos principais projetos maremotrizes em que há propostas de se utilizar múltiplos reservatórios (ou múltiplos lagos) é no estuário de Severn, no Reino Unido (SUSTAINABLE DEVELOPMENT COMMISION, 2007). Na Figura 4 é apresentada uma destas propostas.

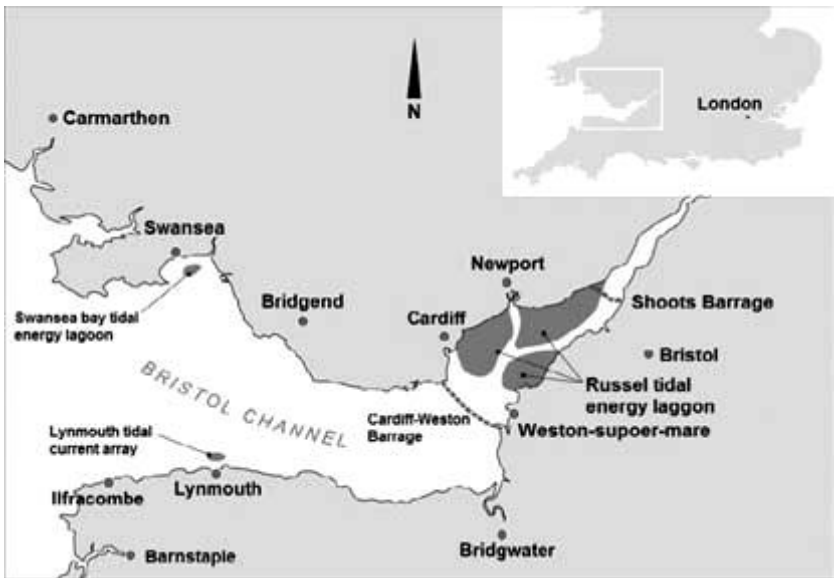

Figura 4. Representação de uma das propostas de utilização de múltiplos lagos no estuário de Severn, Reino Unido. Fonte: SUSTAINABLE DEVELOPMENT COMMISION (2007).

Equipamentos Eletromecânicos

Os equipamentos destinados à conversão de energia são uma das principais parcelas que compõem o custo total de uma usina maremotriz, podendo ser responsáveis por cerca de 45 a 55% destes custos (CLARK, 2007).

De acordo com o mesmo autor, em uma usina maremotriz, os equipamentos eletromecânicos devem levar em consideração os seguintes fatores:

• A variação contínua da altura da queda d'água requer turbinas que operem de forma relativamente eficiente sob tais condições;

• A baixa queda requer um grande volume de água passando pelas turbinas resultando em grandes dimensões físicas para as passagens da água;

• A operação cíclica (início e parada da geração de acordo com as marés) impõe nos equipamentos geradores, fadigas maiores do que na geração convencional em hidrelétricas;

• As dimensões físicas de cada unidade geradora deve ser a menor possível, visto que afetam diretamente os custos das obras civis;

• Os materiais são expostos às ações corrosivas da água do mar e, portanto, precisam ser cuidadosamente selecionados e protegidos;

• A eficiência global da geração pode assumir uma prioridade menor devido à ampla fonte de água envolvida no processo.

Os principais modelos de turbinas utilizadas para conversão da energia maremotriz são as do tipo *Kaplan, STRAFLO* e as do tipo *Bulbo*. Nas Figuras 5 e 6 são ilustradas a turbina *STRAFLO*, empregada na usina maremotriz de Annapolis Royal, no Canadá e a do tipo *bulbo*, utilizada na usina maremotriz de La Rance, respectivamente.

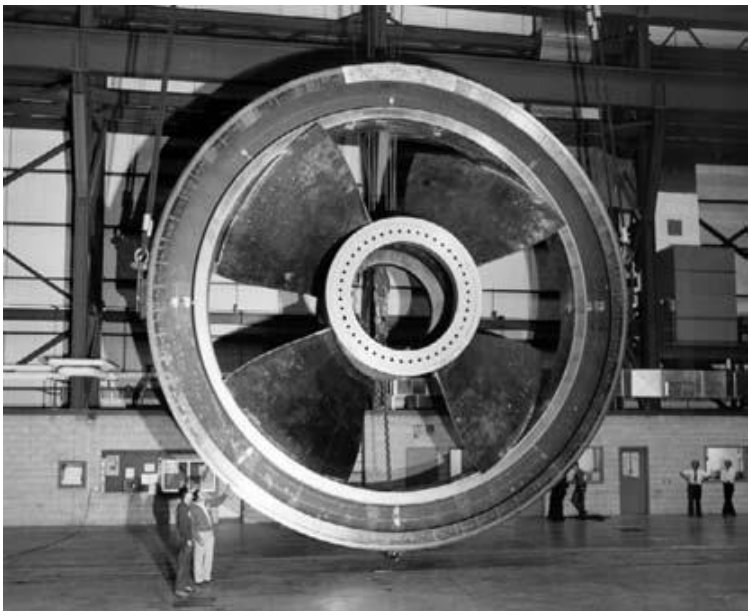

Figura 5. Detalhes da turbina *STRAFLO* antes de sua instalação na usina maremotriz de Annapolis Royal, Canadá (ANDRITZ, 2010).

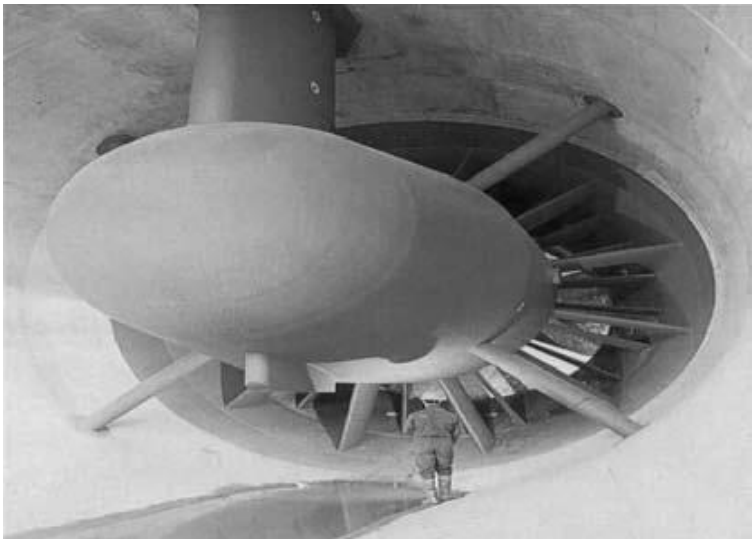

Figura 6. Detalhes da turbina *bulbo* instalada na usina maremotriz de La Rance, França (FAITES LE PLEIN D'AVENIR - LE BLOG DES ENERGIES RENOUVELABLES, 2008).

Uma enorme parcela do potencial energético maremotriz global ainda se encontra inexplorado, por se tratar de locais com amplitudes de maré relativamente menores. O aproveitamento de lugares de queda muito baixa é geralmente possível tecnicamente, porém não é viável economicamente devido aos custos de

obras civis associados a uma produção energética em menor escala (LEITE NETO, 2011).

Entretanto, novas tecnologias em equipamentos eletromecânicos têm promovido uma redução significativa nos custos de obras civis, de modo a permitir a exploração de locais com queda muito baixa. Dentre estas novas tecnologias estão os modelos VLH (*Very Low Head*) e a HYDROMATRIX®.

O modelo *VLH*, ilustrado na Figura 7, foi projetado para aplicações de quedas entre 1,4 e 3,2 m. O modelo possui uma turbina *Kaplan* e pode produzir uma potência entre 100 kW e 500 kW (MJ2 TECHNOLOGIES, 2010).

O sistema HYDROMATRIX® é composto de pequenas unidades geradoras dispostas em uma "matriz", conforme ilustrado na Figura 8, sendo facilmente integrado a uma barragem já existente, e projetada para quedas entre 3 a 30 m. A potência gerada por cada unidade vai de 200 kW té 700 kW (ANDRITZ, 2010).



Figura 7. Vista do modelo *VLH* após a sua instalação em Milau, França (MJ2 TECHNOLOGIES, 2010).

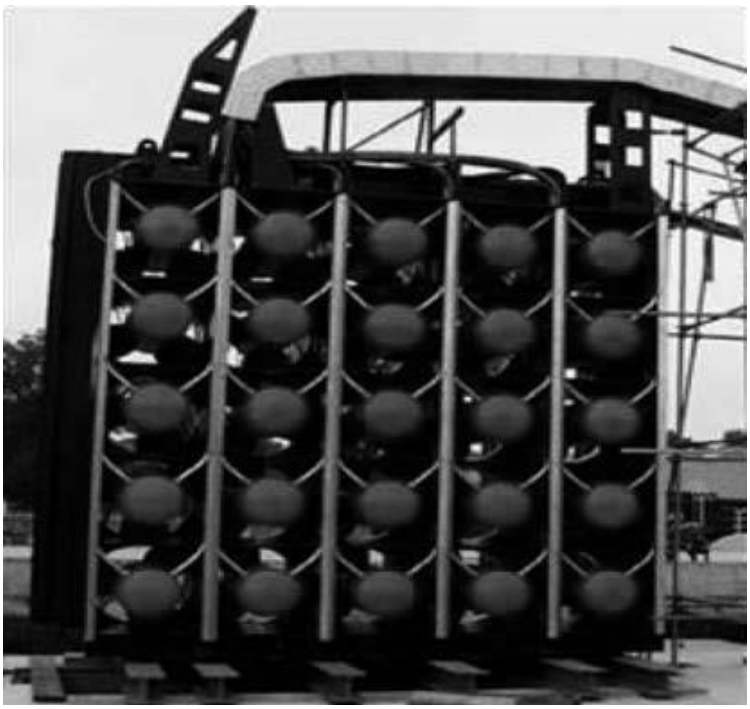

Figura 8. Detalhes do sistema HYDROMATRIX® antes de sua instalação em Freudenau, Áustria (ANDRITZ, 2010).

3.3. Vantagens e desvantagens

A energia maremotriz, assim como as demais formas de geração de energia, possui suas vantagens e desvantagens. Dentre suas vantagens, podemos citar a sua previsibilidade, o que permite saber exatamente a disponibilidade da energia, ou seja, é possível conhecer em que momento e em que quantidade uma usina maremotriz poderá produzir energia. Isto se deve ao fato de que as marés estão relacionadas principalmente a fenômenos astronômicos, que embora complexos, são bastante conhecidos e previsíveis (LEITE NETO et al, 2011). As vantagens econômicas e sociais resultantes de fontes renováveis são complicadas de serem notadas, e geralmente estão diretamente ligadas ao modelo de projeto a ser explorado. De acordo com o nível de potência acessível na costa brasileira, especialmente na região sul do país, pode-se perceber que a exploração de energia de ondas mais viável economicamente serão aqueles mais distantes da costa, onde a capacidade energética das ondas é maior (SINZATO, 2015).

Dentre suas desvantagens podemos citar que este tipo de sistema possui um longo período de instalação (normalmente 10 anos até estar totalmente operacional), limitação dos aspectos positivos das cheias e modificação dos ecossistemas, impedindo o fluxo natural dos sedimentos para as zonas costeiras, tendo como consequência o agravamento da erosão costeira e afetando negativamente a fauna e a flora aquáticas existentes a montante e a jusante da barragem (MENDONÇA et al., 2022).

Outro impacto negativo da implantação desses grandes empreendimentos é a mudança no modo de vida das populações que residem na região, ou no entorno do local, onde será implantada a usina, cuja sobrevivência depende da utilização dos recursos provenientes do local no qual vivem, e que possuem vínculos com o território de ordem cultural (AZEVEDO, 2024). Temos alguns desses aspectos apresentados, conforme a tabela 1.

Tabela 1. Vantagens e Desvantagens da energia maremotriz.

Vantagens	Desvantagens
Não é poluente	- O fornecimento da energia das ondas não é contínuo.
	- Apresenta baixo rendimento, cerca de 20%.
	- É fortemente dispendiosa.
Fonte renovável	- Destrói habitats naturais de diversas espécies de animais.
	- Impossibilita a navegação.
	- Fornece energia durante apenas dez horas por dia.
Não requer material muito sofisticado	- São necessárias amplitudes de marés superiores a 5 metros para que este tipo de energia seja rentável.

Fonte: Elaborado pelos autores, baseado nas informações SESMIL, p. 34. 2013.

3.4. Impactos ambientais

Assim como as outras formas de geração de energia, a energia maremotriz também causa impactos ambientais, sociais e/ou econômicos. Para a construção e operação de uma usina maremotriz é necessário que se tenha um cuidado adequado com relação aos estuários, pois a instalação pode resultar em efeitos diretos sobre o ecossistema local e causar algumas modificações nas características naturais do local (GONÇALVES et al., 2008).

Como exemplo de impactos podemos citar mudanças no padrão das marés e correntes, durante a construção e operação da usina, onde causam sedimentação, assim como a aumento da salinidade e perda da qualidade da água que acabam sendo modificadas, também causando impactos na vida silvestre, de peixes e aves migratórias (SANTOS; MOREIRA, 2015), podendo ocorrer também o deslocamento de pessoas que habitam o local.

Por mais que esse modo de produção de energia elétrica não cause diretamente um impacto ambiental, o que é um fato positivo no ponto de vista socioambiental, deve-se planejar cuidadosamente a mesma, pois a construção e a operação de uma usina desse porte podem causar impactos negativos nas características naturais da região onde será construída (SOUZA FILHO; SILVA, 2020).

De acordo com os mesmos autores, a barragem é o principal ponto a ser analisado em um projeto de uma usina maremotriz, pois causa possíveis impactos às comunidades que estão localizadas ao redor e a destruição da fauna e flora local. Deve-se levar em consideração também que haverá mudanças na paisagem, por exemplo, abertura de estradas e criação de núcleos urbanos dentro de áreas com vegetação, uma vez que estas modificações podem gerar impactos ambientais graves e até mesmo irreversíveis na costa natural.

Assim como todas as fontes de geração de energia, existe a necessidade de cuidados no desenvolvimento dos projetos, levando em consideração os impactos ambientais e sociais, que devem ser minimizados de forma que não provoquem danos à vida marinha, nem às comunidades que vivem próximo às localidades.

Logo, é necessário não só aperfeiçoar a geração de eletricidade, mas minimizar perturbações ao ambiente local e assegurar sua viabilidade a longo prazo, pois como as usinas maremotrizes oferecem preços de eletricidade estáveis, que não variam como o petróleo, não permite flutuações de mercado e a vida operacional esperada pode chegar a 120 anos (LIMA et al, 2003).

Ao utilizar a usina maremotriz de La Rance como referência, foi observado que os impactos mais significativos foram durante a construção de sua barragem, pois o fluxo natural do estuário foi interrompido através de ensecadeiras, para que a construção fosse possível ser feita a seco. Após esta etapa, o regime operacional da usina resultou na redução dos impactos que foram verificados. Foram percebidas algumas modificações ao longo dos anos até que um novo equilíbrio ecológico foi alcançado, e estas modificações não causaram nenhum impacto sobre as atividades pesqueiras (LEITE NETO, 2012).

De acordo com o mesmo autor, algumas soluções podem ser tomadas no sentido de amenizar os impactos socioambientais causados pela construção e funcionamento de uma usina maremotriz. Por exemplo durante a construção da usina de Kislaya Guba, foi utilizado elementos pré-fabricados em terra firme para a construção de sua barragem o que se tornou uma solução menos prejudicial ao meio ambiente que a utilização de ensecadeira como foi utilizado na construção da usina de La Rance.

3.5. Perspectivas futuras

Segundo o Conselho Mundial da Energia, as ondas e marés têm o potencial de fornecer 15% da energia elétrica consumida mundialmente no futuro (SINZATO, 2015). Isso destaca a importância e o potencial significativo dessa fonte de energia renovável. Além disso, é importante mencionar que, embora os custos atuais de geração de energia maremotriz ainda sejam mais altos do que os de outras fontes renováveis, como a eólica e a solar, há uma expectativa de redução significativa desses custos para projetos futuros e de maior porte (NASCIMENTO, 2017). Essa combinação de potencial energético e a expectativa de redução de custos torna a

energia maremotriz um tema promissor para discussões sobre o futuro da matriz energética global.

As perspectivas futuras para a energia maremotriz são prósperas, especialmente considerando a crescente demanda por eletricidade e a necessidade de um desenvolvimento sustentável. Por mais que os custos atuais da energia maremotriz ainda sejam considerados pouco competitivos em comparação com a energia eólica e solar, estudos indicam que deve haver uma queda significativa nesses custos nos próximos anos (FLORÊNCIO; TRIGOSO, 2020). Essa redução de custos pode abrir novas oportunidades para a exploração dessa fonte de energia, que, apesar de estar em um estágio inicial de desenvolvimento, possui um potencial considerável para contribuir com a matriz energética global.

Para que a energia maremotriz se torne uma alternativa viável, é necessário que se realize investimentos substanciais em pesquisa e desenvolvimento. Cada país precisará encontrar soluções adaptadas à sua realidade, aproveitando o potencial energético dos oceanos de maneira eficiente (FLORÊNCIO; TRIGOSO, 2020). Os autores sugerem que um foco em pequenos aproveitamentos maremotrizes pode ser uma estratégia eficaz, permitindo um entendimento mais detalhado dos micros estuários que apresentam viabilidade técnico-econômica. Essa abordagem pode facilitar a identificação de locais que, no futuro, poderão se tornar viáveis devido às demandas de mercado e ao avanço das tecnologias.

No contexto brasileiro, as oportunidades para a geração de energia oceânica são vastas. Especialistas afirmam que o país deve traçar um planejamento vigoroso para explorar esse potencial, começando pela atualização dos dados sobre a capacidade oceânica disponível (PIACENTINI, 2023). Além disso, é fundamental fomentar o desenvolvimento técnico e científico por meio de parcerias internacionais e a proposição de políticas públicas que incentivem o mercado de energias oceânicas. Essa estratégia não apenas ajudará a diversificar a matriz energética, mas também poderá posicionar o Brasil como um líder na exploração de fontes de energia renováveis.

A pesquisa em áreas como hidrogênio, deutério e trítio, embora favorável, ainda enfrenta desafios significativos, incluindo a necessidade de avanços tecnológicos nas técnicas de extração e os altos custos envolvidos (SOUZA, 2018).

Assim, o futuro da energia maremotriz e das energias oceânicas em geral dependerá de um esforço conjunto entre governos, instituições de pesquisa e o setor privado para superar esses obstáculos e aproveitar ao máximo o potencial dos oceanos.

4. Considerações Finais

A energia maremotriz se apresenta como uma alternativa favorável e sustentável para a geração de eletricidade, especialmente em um contexto global que busca diversificar suas fontes energéticas e reduzir a dependência de combustíveis fósseis. Este trabalho analisou as vantagens e desvantagens dessa forma de energia, destacando sua previsibilidade e potencial de geração, especialmente em regiões costeiras com grandes amplitudes de maré, como no Brasil.

Embora a energia maremotriz ofereça benefícios significativos, como a redução das emissões de carbono e a possibilidade de atender a demanda energética de forma estável, ela também traz seus desafios que não podem ser ignorados. Os impactos ambientais e sociais associados à construção e operação dessas usinas maremotrizes exigem um planejamento cuidadoso e a implementação de medidas amenizadoras.

No Brasil, a vasta costa e a experiência em tecnologias de exploração oceânica criam um cenário favorável para o desenvolvimento da energia maremotriz. No entanto, é crucial que a exploração dessa fonte de energia seja feita de maneira responsável, considerando não apenas a viabilidade econômica, mas também os impactos sociais e ambientais.

Dado isso, a energia maremotriz representa uma oportunidade valiosa para o Brasil, mas sua implementação deve ser acompanhada de um compromisso com a sustentabilidade e a responsabilidade social, garantindo que os benefícios sejam amplamente distribuídos e que os ecossistemas costeiros sejam preservados para as futuras gerações.

Referências

AGUILAR, R. S.; OLIVEIRA, L. C. S.; ARCANJO, G. L. F. **Energia Renovável: Os Ganhos e os Impactos Sociais, Ambientais e Econômicos nas Indústrias Brasileiras**. XXXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Desenvolvimento Sustentável e Responsabilidade Social: As Contribuições da Engenharia de Produção Bento Gonçalves, RS, Brasil, 15 a 18 de outubro de 2012.

ALEXANDRE, D. S.; RIBEIRO, A. G. A.; RIBEIRO, R. M. **PERSPECTIVAS DA UTILIZAÇÃO DA ENERGIA MAREMOTRIZ PARA O SETOR ENERGÉTICO DO BRASIL**. Capítulo 54, p. 1208-1219, 2022. In: Open Science Research.1260 p., v. 5, edição 1, 2022. DOI 10.37885/978-65-5360-176-5.

ANDRITZ. **Hydromatrix-Main Conditions and Application Criteria**. 2010. Disponível em: www.andritz.com. Acesso em: 03/08/2024.

ARAÚJO, R. S.; SOUSA, F. L. N.; VANDERLEY, P. S.; BENTES, S. O. S.; GOMES, L. M.; FERREIRA, F. C. L. Fontes de energias renováveis: pesquisas, tendências e perspectivas sobre as práticas sustentáveis. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, e468111133893, 2022.

ASTARIZ, S.; IGLESIAS, G. The economics of wave energy: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 45, p. 397-408, 2015.

AZEVEDO, J. **O que é Energia Maremotriz?** Ecycle. 2024. Disponível em: https://www.ecycle.com.br/energia-maremotriz/. Acesso em: 20/12/24.

CAVINATO, R. 2021. **Energia Maremotriz e seu potencial de produção energética no Brasil.** Disponível em: https://b2finance.com/energia-maremotriz/#:~:text=Especialistas%20afirmam%20que%20o%20Brasil,capazes%20de%20gerar%2087%20gigawatts. Acesso em: 27/04/2024.

CHARLIER, R. H. “Tidal Energy”. **Van Nostrand Reinhold Company,** v. 1, p. 351. New York, NY, USA. 1982.

CLARK, R. H. **Elements of tidal-electric engineering**. John Willey & Sons, Inc., 2007.

DÁRIO, G. V. B.; SOUZA, D. H.; SAITU, M. O. Energia Maremotriz: um estudo das energias de origem marítima. **Bolsista de Valor**, v. 3, p. 71-74, 2013.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2012** – Relatório Final. Nota Técnica. EPE. Rio de Janeiro, 2013.

FAITES LE PLEIN D’AVENIR-LE BLOG DES ENERGIES RENOUVELABLES. **“L’usine Marémotrice de La Rance-La Première Usine Marémotrice Du Monde”**. 2008. Date of visit: 19 de abril de 2001. URL: www.faiteslepleindavenir.com

FLORÊNCIO, M.; TRIGOSO, F. B. M. **Pesquisas e projetos desenvolvidos no Brasil para o aproveitamento do potencial de geração de energia elétrica com ondas e marés.** VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Fortaleza. Brasil. 11 p., 2020.

FONTES. Y. M. A força Maremotriz: uma alternativa para a captação de energia no Brasil perante as ameaças de crises hídricas. **Pensar Acadêmico**, Manhuaçu, v.20, n.3, p. 707-715, 2022.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. EDITORA ATLAS S.A. 4ª ed. São Paulo. 2002.

GOLDEMBERG, J.; CHU, S. **Um futuro com energia sustentável: Iluminando o Caminho**. FAPESP, Inter Academy Council. 2010.

GONÇALVES, W. M.; FEIJÓ, F.T.; ABDALLAH, P. R. 2008. **Energia de ondas: aspectos tecnológicos e econômicos e perspectivas de aproveitamento no Brasil**. Disponível em: < http://www.semengo.furg.br/2008/17.pdf>. Acesso em: 13/01/25.

GUIMARÃES, D. C.; MEDEIROS FILHO, A. R.; FABRIS, J. P.; RUSSO, S. L. **Análise da Produção Científica sobre Energia Maremotriz**. XIX Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2019.

HOSENUZZAMAN, M., RAHIM, N. A., SELVARAJ, J., HASANUZZAMAN, M., MALEK, A. B. M. A., NAHAR, A. Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p. 284–297, 2015.

LEITE NETO, P. B.; SAAVEDRA, O. R.; CAMELO, N. J.; RIBEIRO, L. A. S.; FERREIRA, R. M. Exploração de energia maremotriz para geração de eletricidade: aspectos básicos e principais tendências. **Ingeniare. Revista chilena de ingeniería**, v. 19, n. 2, p. 219-232, 2011.

LEITE NETO, P. B. **Otimização da geração de eletricidade a partir da fonte maremotriz**. Universidade Federal do Maranhão Centro de Ciências e Tecnologia. Programa de pós-graduação em engenharia elétrica. São Luís-MA, Brasil. 123 p., 2012.

LIMA, S. L.; SAAVEDRA. O. R; BARROS. A. K; CAMELO. N. J. **Projeto da usina maremotriz do Bacanga: concepção e perspectiva**. Núcleo de Energias Alternativas, Depto. de Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Maranhão – UFMA, 10 p. 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/284045250_Bacanga_tidal_plant_project_conception_and_perspectives_in_Portuguese. Acesso em: 13/01/25.

MASSOUD, S. H.; AMER, M.; SAMIR, M. **“Tidal Power Generation Systems”.** 2001.

MENDONÇA. M; FINOCCHIO. M. A. F; SANTOS. M. R. P; FERRARI. OLIVEIRA. C. R. A; CHRUN. I. R; FAGNANI. E; MANGANARO. L. A; SILVA. T. D. Energia Maremotriz: Análise e Fundamentos. **Revista Tecno-Científica do CREA-PR**, 28ª Edição, 13 p., 2022.

MJ2 TECHNOLOGIES. **The VLH Range**. 2010. Disponível em: www.vlh-turbine.com. Acesso em: 03/08/2024.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: MME, 2007.

NASCIMENTO. R. L. **Aproveitamento da energia dos oceanos para a produção de eletricidade**. Consultoria legislativa, Estudo Técnico. Câmara dos deputados, 19 p., mar/2017.

OLIVEIRA, R. M. **Energias Oceânicas: arcabouço legal e entraves a serem superados para o desenvolvimento no Brasil**. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós-graduação em Energia e Ambiente / CCET, Universidade Federal do Maranhão. São Luís, 2016.

PIACENTINI, P. **Energia Renovável – Faltam estratégias no Brasil para gerar energia das marés**. Notícias BR do Brasil, 3 p., 2023.

SAAVEDRA, O. R. **Potencial Energético do Maranhão: Energias Oceânicas**. Doc. Instituto de Energia Elétrica & Renováveis da Universidade Federal do Maranhão (UFMA). 1 ed. 2016. Disponível em: <https://seme.ma.gov.br/files/2016/11/Energias-de-Oce%C3%A2nicas-nov2016.pdf>. Acesso em 02/08/24.

SANTOS. F. B. S; MOREIRA. I. T. A. Viabilidade da maremotriz em algumas das regiões litorâneas do nordeste do Brasil. **Revista Eletrônica de Energia**. v. 5, n. 2, p. 71-78, jul./dez. 2015.

SESMIL, E. L. F. **Energia Maremotriz: Impactos Ambientais e Viabilidade Econômica No Brasil.** Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras. Programa de PósGraduação Lato Sensu em Fontes Alternativas de Energia, 2013.

SINZATO, G. L. **Análise comparativa entre a energia das ondas no Brasil e Portugal**. Universidade São Francisco. Curso de Engenharia de Produção. Monografia. 46 p., 2015.

SOUZA FILHO, R. C. C.; SILVA. L. M. X. **Um estudo sobre a utilização de força maremotriz para geração de energia elétrica**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA. 12 p., 2020. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/items/123b90ca-d455-4b61-8ba2-4046114d20de. Acesso em: 13/01/25.

SOUZA. B. F. G. S. **Micro-geração de Energia Elétrica a partir de Correntes de Marés para Sistemas Isolados.** Universidade Federal do Maranhão Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Eletricidade Sistemas de Energia Elétrica. Dissertação. 96 p., 2018.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT COMMISION. **Tidal Power in United Kingdon-Research Report 4-Severn non-barrage Options**. EAE Energy & Enviroment. October 2007.

VOSGERAU, D. S. R.; ROMANOWSKI, J. P. Estudos de revisão: implicações conceituais e metodológicas. **Diálogo Educacional**, Curitiba, v. 14, n. 41, p. 165 -