



## ANÁLISE DA GERAÇÃO SOLAR EM ARIZONA, ESTADOS UNIDOS: APRENDIZADOS RELEVANTES PARA O CONTEXTO BRASILEIRO

Francisco Kevin B. de Albuquerque<sup>123</sup>; Alan Sandro Rodrigues Araújo<sup>12</sup>; João Victor Araújo Silva<sup>123</sup>; Camilo Andrés Guerrero Martin<sup>123</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia de Exploração e Produção de Petróleo - [francisco.albuquerque@salinopolis.ufpa.br](mailto:francisco.albuquerque@salinopolis.ufpa.br), [engpetro.alan@gmail.com](mailto:engpetro.alan@gmail.com), [engenheiro.joao.araujo@gmail.com](mailto:engenheiro.joao.araujo@gmail.com)

<sup>2</sup> LOTEPE - Laboratório de Operações e Tecnologias Energéticas Aplicadas na Indústria do Petróleo, Faculty of Petroleum Engineering, Federal University of Pará, Salinópolis, Brazil.

<sup>3</sup> Laboratório de Engenharia de Poço e Fluidos de Perfuração e Completação, Faculty of Petroleum Engineering, Federal University of Pará, Salinópolis, Brazil.

**Resumo:** O estudo aborda a avaliação técnica e econômica da geração de energia solar no estado de Arizona, nos Estados Unidos, e suas implicações para o Brasil. Com base em simulações detalhadas, constatou-se o potencial solar significativo da região de Arizona, especialmente nos meses de maio a agosto. A análise econômica revelou que o projeto de energia solar em Arizona possui um custo nivelado de energia competitiva, indicando sua viabilidade financeira. Paralelamente, o estudo estabeleceu uma correlação entre as condições climáticas do Nordeste brasileiro e do Arizona, sugerindo um grande potencial para a adoção da energia solar no Brasil. Além de reduzir a dependência de fontes não renováveis, a implementação da energia solar pode impulsionar o desenvolvimento econômico e sustentável nas regiões nordestinas. A atratividade da energia solar como alternativa viável e acessível para a geração de eletricidade destaca-se, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas e a transição para uma economia de baixo carbono.

**Palavras-chave:** Energia, energia solar, simulação, baixo carbono.

### INTRODUÇÃO

Além da expansão populacional, e de eventos recentes no Brasil e no mundo, como a COVID-19, se teve ainda o conflito entre Ucrânia e Rússia, na qual tais eventos/conflitos só reforçam mais uma vez que ainda estamos longe da independência energética dos combustíveis fósseis. Os combustíveis fósseis têm alimentado as economias há mais de 150 anos e atualmente fornecem 84% da energia mundial (EESI, 2020), o que vai na contramão dos acordos governamentais de reduzir a emissão de gases do efeito estufa e por consequência a temperatura média da Terra, já que representa 89% das emissões globais de CO<sub>2</sub> (CLIENTEARTH, 2022).

Por conta disso, é notável que já se tornou corrida contra o tempo o uso mais efetivo de energias renováveis no mundo inteiro como fonte primária de energia elétrica. Porém, apesar do aumento crescente do uso de fontes renováveis (solar e eólica principalmente), nos últimos anos, a energia consumida no mundo a partir de fontes renováveis ainda só representa 11,4% (BASTOS, 2023.).

Segundo Sabrina Frigotto e colaboradores (2023), a maior fonte energética disponível na Terra é proveniente do sol. E também, analisando de maneira mais genérica, é o responsável



direto ou indireto por todas as outras fontes de energia utilizadas pelo homem. A energia solar é imprescindível para a existência de vida na Terra, sendo o marco inicial para a realização de processos químicos e biológicos. Desde os limites iniciais da história o Sol é indispensável, desde a sua adoração pelas antigas civilizações até hoje como fonte de energia renovável. O nosso país, por exemplo, tem um enorme potencial de aproveitamento de energia solar, pois praticamente todas suas regiões recebem mais de 2.200 horas de insolação e um potencial equivalente a 15 trilhões de MWh, correspondente a 50 mil vezes o consumo nacional de eletricidade (HALABI et al., 2015).

Conforme visto no item anterior, entende-se que é importante desenvolver um trabalho voltado à energia renovável. Países tropicais, como o Brasil, recebem bastante a incidência dos raios solares e, como em alto-mar as radiações são maiores, facilita-se o implemento da energia solar nas plataformas, que é o objetivo do projeto desenvolvido: a implantação da energia solar a fim de suprir determinadas necessidades em uma plataforma de petróleo e gás já que a mesma fica exposta em todos os dias da semana e 24 horas por dia em variáveis condições climáticas do alto-mar, ou seja, exposta à radiação solar de forma bruta. As implantações da energia solar levam a vantagens socioeconômicas, já que se economizaria os combustíveis fósseis produzidos pelas empresas, os quais são direcionados para a venda, e se diminuiria significativamente o risco de periculosidade nas plataformas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Utilização de energia solar nas plataformas de petróleo e gás

Nos últimos anos, as empresas de petróleo estão investindo na renovação de seus negócios, buscando, por exemplo, novas fontes energéticas. Isto devido a diversos fatores, como os impactos ambientais relacionados à quantidade de energia consumida pela indústria, que varia amplamente e depende de muitos fatores, como a natureza do reservatório e as propriedades físicas e químicas dos fluidos produzidos, se o desenvolvimento é offshore ou onshore, se a reserva é convencional ou não convencional e o estágio de recuperação (primário, secundário ou terciário). Além disso, o consumo energético representa uma grande parte do custo operacional na exploração e produção e é o maior gerador das emissões de gases de efeito estufa da indústria do petróleo (HALABI et al., 2015; SAADAWI, 2019).

De acordo com Nguyen et al. (2016), outro grande contribuinte para o consumo energético nas plataformas de petróleo é devido à alimentação de equipamentos pesados que precisam de geradores elétricos de grande capacidade que abastecem maquinários durante as várias etapas do processo.

De acordo com Dias (2018), as atividades durante o processo de perfuração que consomem energia incluem o uso de guindastes e sistemas de içamento, grandes motores, bombas, entre outros equipamentos. Na fase de produção, a energia consumida para a extração e elevação do material se dá, por exemplo, através de hastes sugadoras acionadas por motores elétricos. Ainda existe um consumo na própria plataforma, a qual precisa suprir as necessidades dos trabalhadores que ali moram e trabalham, como por exemplo, a energia elétrica para eletrodomésticos, dessalinizadores de água, processamento de resíduos etc. A energia utilizada para os processos citados acima é gerada através da queima de óleo diesel ou gás natural e em alguns casos, quando não se há combustível suficiente, a energia é importada da rede elétrica.

Portanto, se torna nítido que a implantação da energia solar acaba trazendo uma série de benefícios, como por exemplo a produção de uma energia limpa, já que 20 kW de energia solar gerada evita a emissão de 10 kg de CO<sub>2</sub> por ano, o que auxilia a lutar contra a mudança



climática e contra a liberação dos gases que produzem o efeito estufa, o que contribui para o desenvolvimento sustentável já que não gera degradação do meio ambiente, pois a energia vem do mesmo e é, portanto, inesgotável (Xavier, 2024, p.11). Ademais, segundo Halabi e colaboradores (2015) a maioria das reservas convencionais internacionais de petróleo estão localizadas em regiões com alta radiação solar.

## 2.2 Componentes de um sistema solar

Segundo Silva e Afonso (2009) o sistema fotovoltaico é composto por:

- Painéis Fotovoltaicos: São células fotovoltaicas de silício agrupadas paralelamente em séries, onde acontece a conversão de energia solar em energia elétrica.
- Controladores: São responsáveis pelo controle do fluxo de energia.
- Inversores: São responsáveis pela conversão em corrente contínua para alternada.
- Baterias Solares: São elaboradas para suportar as cargas e descargas geradas pelo sistema.

É óbvio que pode haver adições de componentes dependendo do sistema utilizado e da finalidade. Ademais, tais atitudes têm como objetivo impulsionar a redução dos impactos ambientais, o que traz grandes vantagens para as empresas, utilizando-se estrategicamente para atribuir valor à sua marca. É possível mensurar a viabilidade dessa tecnologia, trabalhando com projeções corretas para um futuro promissor, unindo a redução de custos ao impacto ambiental positivo (BRITO, et al. 2016).

## 2.3 A energia solar como sistema de descarbonização

A eletrificação de plataformas é uma das iniciativas tomadas pelas empresas petrolíferas e pelas organizações governamentais com o intuito de reduzir a emissão de gases do efeito estufa, e a intenção é que as plataformas utilizem energia elétrica gerada a partir de outras fontes que não sejam combustíveis fósseis, como por exemplo energia elétrica importada de fontes renováveis (ZHONG e BAZILIAN, 2018).

Cerutti et al. (2023) abordam a energia eólica offshore como um marco para a transição energética, considerando também o contexto do hidrogênio verde e critérios de sustentabilidade ambiental, social e de governança (ESG). Este estudo destaca a importância de abordagens integradas e soluções de grandes inovações, como a energia eólica offshore e o hidrogênio verde, que podem desempenhar um papel de suma importância na redução das emissões de carbono e na promoção da transição energética sustentável.

Atualmente, a energia solar é uma das matrizes renováveis que mais tem sido estudada como uma possível fonte de energia com caráter de substituição ao óleo diesel e gás para o abastecimento elétrico das plataformas. Um dos principais motivos dessa preferência é que as tecnologias de parques solares offshore estão em grandes avanços em relação a outras matrizes e assim a integração dos dois setores seria mais facilmente aplicável, tanto tecnicamente quanto economicamente (SAADAWI, 2019).

Uma metodologia para análise global de sustentabilidade em projetos relacionados a instalações de petróleo e gás natural é apresentada em Pacheco (2010). Através dessa proposta é possível inserir requisitos de eficiência energética, emissões atmosféricas e fontes renováveis para novos projetos.

## 3. METODOLOGIA

A presente pesquisa científica emprega uma metodologia destinada a examinar as projeções e o desempenho de um sistema de energia solar, utilizando o programa System Advisor Model (SAM). As fases cruciais do processo englobam desde a seleção do local até a



consideração das perdas no sistema. O SAM, nesse contexto, é utilizado por gestores de projetos, engenheiros e pesquisadores para analisar e investigar questões relativas à viabilidade técnica, econômica e financeira de uma ampla gama de projetos de energia renovável, incluindo sistemas fotovoltaicos, que serão o foco deste estudo. Os subtemas subsequentes detalham cada etapa deste processo.

### **3.1. Localização e Recurso**

A determinação da localização geográfica e a avaliação da disponibilidade de recursos solares emergem como elementos cruciais no exame do desenvolvimento de um sistema de energia solar. Nesta pesquisa, serão fornecidos dados meteorológicos locais ao System Advisor Model (SAM) para realização específica. A seleção do local será pautada pela disponibilidade dos dados essenciais para a condução do estudo. O SAM facilita a incorporação de dados climáticos específicos, englobando considerações sobre fatores como irradiação solar, temperatura e condições atmosféricas.

### **3.2. Módulo**

O módulo fotovoltaico é o principal componente do sistema de energia solar, pois ele é responsável por captar os raios solares. O SAM permite selecionar os módulos específicos que se deseja, nesse contexto, o tipo de módulo e sua eficiência e as condições sob qual ele opera é importante na hora de executar o projeto de energia solar. Nesta fase, os parâmetros dos módulos serão definidos no SAM, será realizado um estudo comparativo para escolher o módulo que mais traga benefícios considerando as suas vantagens e desvantagens, essa etapa é muito importante para garantir a melhor eficiência do sistema.

### **3.3. Inversor**

O inversor é um componente bastante importante na geração de energia solar, pois ele é responsável por converter a corrente contínua (CC) gerada pelos módulos solares em corrente alternada (CA). O SAM será responsável pelo tipo de eficiência do inversor, e por garantir a melhor geração do sistema. Dessa forma, será realizado um estudo comparativo para escolher o tipo de inversor e garantir o maior desempenho e maior geração de acordo com as configurações que o SAM sugerir.

### **3.4. Projeto de Sistema**

Essa fase envolve definições de especificações que serão modeladas pelo software SAM, o projeto do sistema inclui a orientação e inclinação dos painéis fotovoltaicos, a capacidade de produção do sistema e outros parâmetros que serão considerados pelo SAM. Nesse sentido, o software permitirá a modelagem de diferentes cenários considerando as variações na capacidade do sistema.

### **3.5. Sombreamento e Layout**

Um fator importante que deve ser considerado no sistema de energia solar é a questão do sombreamento que pode ter um impacto significativo na produção e no desempenho de energia produzida. Dessa forma, o SAM possui ferramentas para cuidar desse processo, pois ele faz toda a modelagem do sombreamento e layout do sistema. Vale ressaltar, que com o auxílio do SAM o design do layout dos painéis fotovoltaicos deve ser planejado de forma a minimizar o sombreamento.



#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

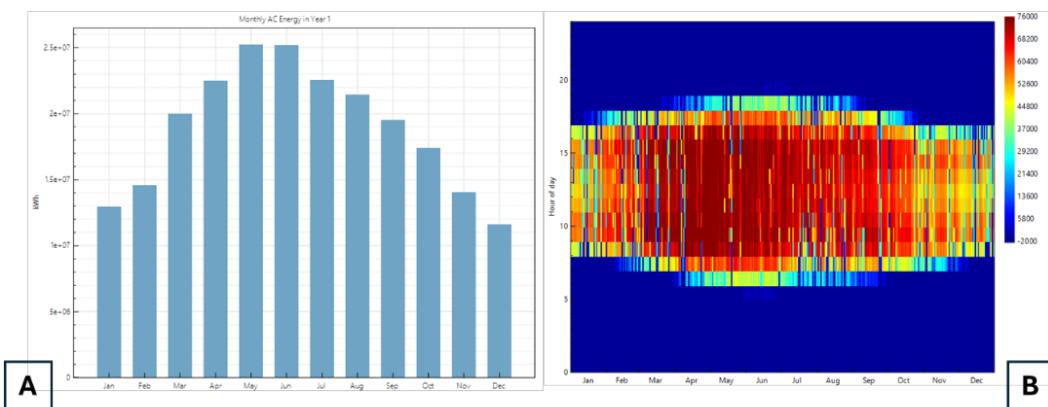
A região do Arizona, nos Estados Unidos, é amplamente reconhecida por suas condições favoráveis de irradiação solar, o que a torna um ambiente propício para a geração de energia solar. Devido à sua localização geográfica e características climáticas, Arizona apresenta altos níveis de radiação solar ao longo do ano, proporcionando um cenário ideal para o desenvolvimento e implantação de sistemas fotovoltaicos. Diante disso, para simular com precisão as condições de irradiação solar em Arizona, foi selecionada uma latitude de 33.45 e uma longitude de -111.98. Essas coordenadas representam uma área representativa das condições solares encontradas nesta região. A escolha dessas coordenadas específicas permite uma análise mais precisa e realista dos parâmetros de irradiação solar, considerando a localização geográfica de interesse.

Além disso, para realizar as simulações, foi utilizado um módulo solar da empresa SUNPOWER SPR-E19-310, que incorpora tecnologia de monosilício. A seleção deste módulo específico reflete a intenção de representar fielmente as tecnologias utilizadas em projetos reais de energia solar no Arizona. Para complementar o sistema fotovoltaico, foi escolhido um conversor da empresa Sungrow Power Supply Co, com uma potência máxima de 2507194.0 Wac. A escolha deste conversor específico foi feita levando em consideração sua capacidade de lidar com as condições operacionais específicas de Arizona e maximizar a eficiência do sistema como um todo.

Com base nos dados fornecidos, o CAPEX foi estimado em 1.161 \$/kW, representando o investimento inicial necessário para a instalação do sistema fotovoltaico. Este valor inclui os custos relacionados à aquisição e instalação dos painéis solares, inversores, estrutura de suporte e demais componentes do sistema. Por outro lado, o OPEX foi calculado em 16.58 \$/kW, englobando os custos operacionais associados à manutenção, operação e seguro do sistema ao longo do tempo.

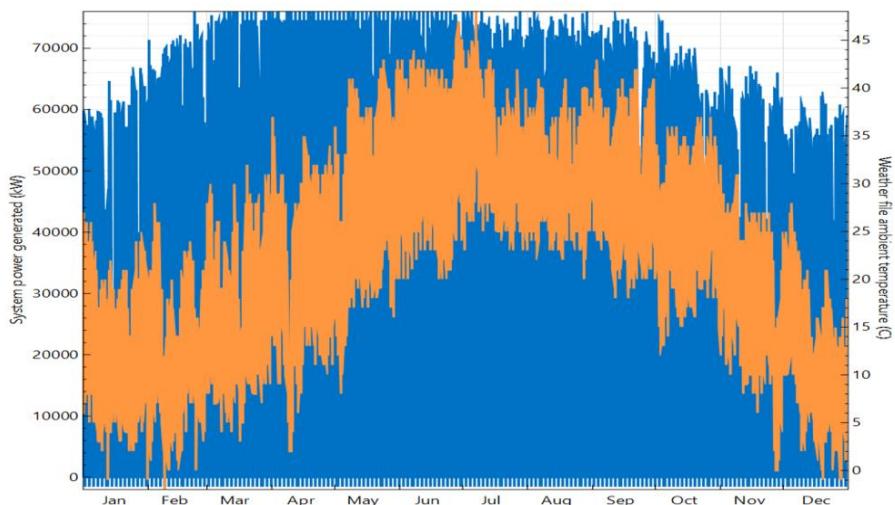
Além disso, para avaliar a viabilidade financeira do projeto, foi considerado um período de financiamento de 20 anos. Durante esse período, os fluxos de caixa gerados pelo sistema de energia solar foram estimados levando em conta a capacidade instalada de 100.002,583 kW e a tarifa de energia aplicada. A taxa interna de retorno nominal (TIR) de 13% ao ano foi utilizada como indicador de atratividade financeira do projeto, representando a taxa de retorno necessária para igualar o valor presente líquido dos fluxos de caixa futuros com o investimento inicial.

De acordo com as simulações realizadas, observa-se que há uma produção significativamente maior nos meses de maio, junho, julho e agosto, o que pode ser atribuído à incidência solar mais intensa durante o verão norte-americano. Essa tendência é claramente demonstrada na Figura 1A e na Figura 1B (Mapa de calor), onde se evidencia um aumento substancial na geração de energia solar durante esses meses, refletindo o padrão sazonal característico da região de Arizona.



**Fig 1** - Geração mensal de energia. A. Gráfico de barras, B. Mapa de Calor

A análise da Figura 2 revela uma relação interessante entre a produção de energia solar e a temperatura ambiente, destacando que períodos de maior incidência solar estão correlacionados com temperaturas mais elevadas. Esse fenômeno é particularmente relevante quando se estabelece um paralelo entre as condições do Arizona e as regiões do Nordeste brasileiro, ambas caracterizadas por altas temperaturas e uma quantidade generosa de luz solar ao longo do ano. Essa semelhança sugere que o Nordeste brasileiro, assim como o Arizona, possui um potencial significativo para aproveitar tecnologias de geração de energia solar. Ao explorar essa fonte renovável, o Brasil poderia reduzir sua dependência de fontes de energia não renováveis e mitigar os impactos ambientais associados à produção de energia. Além disso, a adoção da energia solar poderia impulsionar o desenvolvimento econômico nas regiões nordestinas, criando empregos e estimulando investimentos em infraestrutura sustentável.



**Figura 2** - Correlação entre temperatura e capacidade de geração.

Conforme indicado na Tabela 1, o custo nivelado de energia para o projeto de geração solar em Arizona foi calculado em 5.42 centavos de dólar por quilowatt-hora (kWh). Essa métrica é essencial para avaliar a viabilidade econômica de um projeto de energia solar, pois representa o custo médio por unidade de eletricidade produzida ao longo da vida útil do sistema.



**Tabela 1 - Capacidade de geração do Sistema**

Métricas	Valores
Geração atual de energia (AC) em um ano	226,960,752 kWh
Capacidade de conversão de energia em um ano	25.9%
LCOE – Custo nivelado de eletricidade	5.42 ¢/kWh

## 5. CONCLUSÕES

O estudo demonstra que Arizona apresenta condições ideais de irradiação solar, especialmente durante os meses de maio a agosto, o que reflete um grande potencial para a geração de energia solar na região. Já no âmbito econômico, a análise revelou que o projeto de energia solar em Arizona possui um custo nivelado de energia competitivo, destacando sua viabilidade financeira e capacidade de contribuir para a diversificação da matriz energética.

O estudo estabelece um paralelo entre as condições climáticas do Nordeste brasileiro e do Arizona, sugerindo que o Brasil também possui um grande potencial para o aproveitamento da energia solar. Por fim, a adoção de tecnologias de geração de energia solar pode não apenas reduzir a dependência de fontes de energia não renováveis, mas também impulsionar o desenvolvimento econômico e sustentável das regiões nordestinas.

## 6. REFERÊNCIAS

BASTOS, S. M. D. Aplicação de modelos preditivos de aprendizado de máquina para geração de energia solar. Orientador: Profa. Dra. Diana Moreno Nobre de Souza. 2024. 12 f. Trabalho de Conclusão de Curso (BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA) - Instituto Federal da Paraíba, [S. l.], 2023.

BENJAMINSEN, Christina. We can electrify offshore oil rigs without electricity cables. [S.l.]: SINTEF, 25 maio 2022. Disponível em: <https://partner.sciencenorway.no/ammonia-energy-environment/we-can-electrifyoffshore->, Acesso em: 29 ago. 2022.

BRITO, M. E. et al. Transição do Sistema Elétrico Tradicional para a Implantação do Sistema Fotovoltaico: Percepção de Funcionários. Revista Ensino e Pesquisa em Administração e Engenharia Volume 1, número 2, 2016.

CERUTTI, A. J. S. et al. Energia Eólica Offshore, um caminho para a transição energética: uma abordagem no contexto do panorama Offshore, Hidrogênio Verde e ESG. 2023.

CLIENTEARTH (ed.). Fossil fuels and climate change: the facts. [S.l.], 2022. Disponível em: <https://www.clientearth.org/latest/latest-updates/stories/fossil-fuels83>, Acesso em: 29 ago.

DIAS, L. S. Incorporação de Sistemas Fotovoltaicos em Envoltórias de edificações: Tecnologia e Arquitetura. São Paulo, 06/2014. Disponível em: <http://dedalus.usp.br/F/74CI4328VAQKCJ4C4>, Acessado em 05/2016.



EESI. Environmental and Energy Study Institute. Fossil Fuels. [S.I.], 2020. Disponível em: <https://www.eesi.org/topics/fossilfuels/>, Acesso em: 29 ago. 2022.

FRIGOTTO, Sabrina et al. O potencial energético renovável do Brasil como vetor apto a retardar a mudança climática. OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA, v. 21, n. 10, p. 17662-17677, 2023.

HALABI, M. A., Aal-Qattan, A., Al-Otaibi, A. Application of solar energy in the oil industry- Current status and future prospects. Renewable And Sustainable Energy Reviews, [S.L.], v. 43, 296-314, mar. 2015.

NGUYEN, T. et al. Energy efficiency measures for offshore oil and gas platforms. Energy, 2016, v. 117 (part 2), pp. 325-340.

PACHECO, J. M. L., SANTOS, A., JUNIOR, W. E. F. Análise de Sustentabilidade em Instalações de Produção de Petróleo. In: “*Records of Rio Oil & Gás Expo and Conference, 2012*”. Rio de Janeiro, 2010.

SAADAWI, H. Application of Renewable Energy in the Oil and Gas Industry. [S.L.], 1-8, 15 mar. 2019.

SILVA, G. H. E., AFONSO, M. Energia solar fotovoltaica: Contributo para um Roadmapping do seu desenvolvimento tecnológico. 2009. 55f. Tese (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e computadores). Universidade Nova de Lisboa, Portugal.

Xavier, G. R. X. O papel das tecnologias fotovoltaicas no contexto da transição energética: Uma abordagem multidisciplinar dos aspectos geopolíticos, sociais, técnicos, econômicos e ambientais. 2024. 11 f. Trabalho de Conclusão de Curso (BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA) - Instituto Federal da Paraíba, [S. l.], 2024.

ZHONG, M., BAZILIAN, M. D. Contours of the energy transition: investment by international oil and gas companies in renewable energy. The Electricity Journal, [S.L.], v. 31, n. 1, 82-91, 2018.