

ANÁLISE ENERGÉTICA E ECONÔMICA ENTRE USINAS SOLARES TERRESTRES E FLUTUANTES A PARTIR DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS RÍGIDOS NA REGIÃO DE CAMPINAS DO ESTADO DE SÃO PAULO

Palavras-chave: USINAS SOLARES, PAINÉIS FOTOVOLTAICOS, CAMPINAS.

JOÃO VITOR NASCIMENTO MEIRELES, FEEC - UNICAMP

PROF. DR. MARCO ROBERTO CAVALLARI (orientador) FEEC - UNICAMP

INTRODUÇÃO

A busca por fontes de energia renovável, somada à necessidade de reduzir os impactos ambientais causados pela geração de energia a partir de fontes fósseis, tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias voltadas à geração de energia solar fotovoltaica. Com isso, as usinas solares têm se consolidado como uma alternativa viável para a geração de energia limpa e sustentável (STRANGUETO, 2016).

No entanto, há uma ampla variedade de modelos e tipos de sistemas solares, incluindo usinas terrestres e flutuantes, bem como diferentes tipos de painéis, rígidos e flexíveis. Para avaliar sua viabilidade, é essencial analisar a eficiência energética e o custo-benefício

A escolha entre usinas solares terrestres e flutuantes é fundamental para garantir a máxima eficiência energética. A cidade de Campinas, no estado de São Paulo, apresenta alta incidência solar, tornando-se um local estratégico para a análise energética e econômica de ambos os formatos. Outras variáveis devem ser levadas em conta nesta análise, como, por exemplo, o fato de que as usinas solares terrestres exigem grandes áreas para a instalação de painéis fotovoltaicos rígidos, o que pode gerar desafios relacionados ao uso do solo e à disponibilidade de espaço. Por outro lado, as usinas solares flutuantes, instaladas em ambientes aquáticos, otimizam a ocupação do solo e contribuem para a redução da evaporação da água (SALES, 2023).

Mas apresentam custos de instalação mais elevados e maior complexidade técnica (BORBA E NOVAK, 2018).

O presente estudo visa realizar uma análise econômica e energética comparativa entre usinas solares terrestres e flutuantes, utilizando painéis fotovoltaicos rígidos. Para isso, será considerado o desempenho de ambos os tipos de usinas na região de Campinas, levando em conta variáveis como eficiência energética, custos de instalação, manutenção, viabilidade econômica a longo prazo e local para instalação. A análise energética abordará fatores como irradiância solar, topografia da cidade, local de aplicação e performance dos sistemas fotovoltaicos. Já a análise econômica irá considerar os custos de instalação e os benefícios econômicos a longo prazo de cada tipo de instalação, demonstrando que a integração de análises pode oferecer uma visão abrangente dos sistemas fotovoltaicos.

METODOLOGIA

A elaboração deste trabalho seguiu uma abordagem qualitativa, estruturada em diferentes etapas que garantiram uma construção sólida da pesquisa. Inicialmente, foram realizados bate-papos informais e discussões introdutórias entre o orientador e o discente, com o objetivo de alinhar ideias e delimitar os objetivos centrais da análise comparativa entre usinas solares terrestres e flutuantes.

Em seguida, foi conduzida uma revisão bibliográfica aprofundada, envolvendo artigos científicos, publicações técnicas e documentos relacionados à geração de energia solar fotovoltaica, especialmente nas áreas de eficiência energética, custos

e viabilidade de implantação. Essa etapa teve como finalidade embasar teoricamente a pesquisa e identificar lacunas relevantes.

Paralelamente, ocorreram reuniões com o Grupo de Energias Renováveis (GERAM), que contribuíram para o aprofundamento do conhecimento técnico e o aprimoramento da abordagem metodológica. Nessas ocasiões, membros mais experientes apresentavam seus projetos, seguidos por orientações dos professores, que auxiliaram no refinamento das escolhas técnicas deste estudo.

Para garantir resultados mais consistentes, foram realizados levantamentos de dados e análises comparativas entre os dois tipos de usinas, considerando aspectos técnicos, ambientais e econômicos. A região de Campinas (SP) foi adotada como estudo de caso, devido à sua alta incidência solar e à viabilidade de implantação de sistemas fotovoltaicos em diferentes contextos locais.

RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os principais resultados da comparação entre os sistemas fotovoltaicos terrestre e flutuante. Por meio de simulações no PVWatts, com perdas de sistema padronizadas e ângulo de inclinação ajustado para 20°, constatou-se que o sistema flutuante possui uma maior produção de energia anual devido ao resfriamento das placas por meio da água, gerando uma menor perda de energia. Com base nesses valores de geração, efetuaram-se os cálculos de investimento inicial (CAPEX), gerando indicadores de custo por quilowatt-hora que evidenciam a viabilidade econômica de cada opção.

PVWatts Calculator

RESULTS

6,456 kWh/Year*

Figura 1 - Resultados mensais do sistema flutuante
Fonte: Autoria própria

PV System Specifications

DC System Size	4 kW
Module Type	Standard
Array Type	Fixed (roof mount)
System Losses	12%
Array Tilt	20°
Array Azimuth	0°

Figura 2 - Calibração do sistema no PVWatts Calculator
 Fonte: Autoria própria

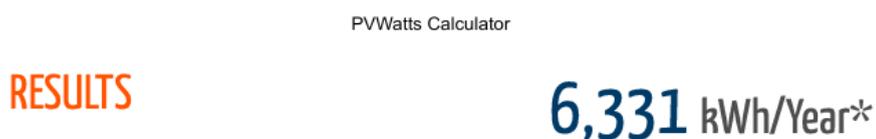


Figura 3 - Resultados mensais do sistema terrestre
 Fonte: Autoria própria

PV System Specifications

DC System Size	4 kW
Module Type	Standard
Array Type	Fixed (open rack)
System Losses	14.08%
Array Tilt	20°
Array Azimuth	0°

Figura 4 - Calibração do sistema no PVWatts Calculator
 Fonte: Autoria própria

SISTEMA	CUSTO UNITÁRIO (R\$/kWp)	POTÊNCIA (kWp)	CAPEX total (R\$)
Terrestre	R\$ 3 680 /kWp (R\$ 14 720 ÷ 4 kWp)	4	R\$ 14 720
Flutuante	R\$ 4 500 /kWp (R\$ 4 500 000 /MWp ≈ R\$ 4 500 /kWp)	4	R\$ 18 000

Tabela 1 - Relação custo-benefício de ambos os sistemas

Fonte: Autoria própria

Terrestre: preço médio praticado para sistemas residenciais de 4 kWp no Brasil (Portal Solar).

Flutuante: capex estimado em R\$ 4,5 mi/MWp (PV Magazine Brasil), aplicado a 4 kWp.

CONCLUSÃO

Com base nos dados obtidos de CAPEX e kwh/”year”, conclui-se que, nas condições adotadas para ambos os sistemas na cidade de Campinas, o sistema de energia solar fotovoltaica terrestre terá um melhor custo-benefício nesta situação escolhida. No entanto, se levarmos em consideração variáveis como: o valor da terra, a alta irradiação térmica e a disponibilidade hídrica de onde se está inserido, o

sistema o sistema de energia solar fotovoltaica Flutuante pode apresentar um melhor custo-benefício.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SALES, Felipe Emanuel. Influência da Temperatura na Geração de Energia Elétrica em uma Usina Solar Fotovoltaica Flutuante. 2023. Tese de Doutorado. [sn]. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1339172>

STRANGUETO, Karina Maretti. Estimativa do potencial brasileiro de produção de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos flutuantes em reservatórios de hidroelétricas. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/968003>

NOVAK, Luis Henrique; BORBA, Ricardo Augusto. Sistemas fotovoltaicos flutuantes: Aspectos positivos e desafios. In: Anais Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS. 2018. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/151>

VIEIRA JUNIOR, Impacto da limpeza de painéis fotovoltaicos para melhor produtividade. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Energias Renováveis) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2021. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/3228>.

WANDERLEY, Augusto César Fialho; CAMPOS, Antonio Luiz P. Siqueira. Perspectivas de inserção da energia solar fotovoltaica na geração de energia elétrica no Rio Grande do Norte. HOLOS, v. 3, p. 3-14, 2013. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4815/481548605002.pdf>

SOLISTEC. Usina de solo 1620kWpico. Disponível em: <https://solistec.com.br/project/usina-de-solo-1620kwpico/>.

PORTAL SOLAR. Portal Solar. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/>.

PULCHERIO, W. Avanços da solar flutuante no Brasil. *PV Magazine Brasil*, 10 maio 2024. Disponível em: <https://www.pv-magazine-brasil.com/2024/05/10/avancos-da-solar-flutuante-no-brasil>