

Trilha 2 - Métodos, Processos, Técnicas, Práticas e Ferramentas

DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO FLUTUANTE INTEGRANDO MÓDULOS FOTOVOLTAICOS BIFACIAIS E SEGUIDOR SOLAR ATIVO PARA AUMENTO DA CONVERSÃO ENERGÉTICA *DEVELOPMENT AND VALIDATION OF AN INTEGRATED FLOATING PHOTOVOLTAIC SYSTEM WITH BIFACIAL PHOTOVOLTAIC MODULES AND AN ACTIVE SINGLE-AXIS SOLAR TRACKER FOR ENHANCED ENERGY CONVERSION*

Marcel Tavares Coelho

Mestre em Energia. Universidade Federal do ABC (UFABC) – Brasil.
marcel.coelho@ufabc.edu.br.

Sérgio Ricardo Lourenço

Doutor em Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas (FEQ - UNICAMP) – Brasil.
sergio.lourenco@ufabc.edu.br.

Paulo Henrique de Mello Sant'Ana

Doutor em Planejamento de Sistemas de Energia. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) – Brasil.
paulo.santana@ufabc.edu.br.

RESUMO

Com mais de 22,6 GW de capacidade instalada em usinas fotovoltaicas de geração centralizada, correspondendo a 10,33% da matriz elétrica brasileira (ANEEL, 2026), a energia solar fotovoltaica consolidou-se como alternativa estratégica para diversificação da matriz elétrica nacional (EPE, 2025). Entretanto, a expansão de grandes parques fotovoltaicos intensificou a escassez de áreas com elevado potencial de irradiação solar, aumentando os custos de implantação e os desafios relacionados ao licenciamento ambiental (MAPA/INCRA/CEARÁ, 2022). Este trabalho tem como objetivo desenvolver e validar uma arquitetura integrada de sistemas fotovoltaicos flutuantes combinando módulos bifaciais e um seguidor solar ativo de um eixo baseado em algoritmo astronômico, contribuindo para a integração de tecnologias normalmente investigadas de forma independente. A metodologia baseou-se em modelagem computacional e simulações energéticas para avaliação comparativa de diferentes configurações fotovoltaicas. Os resultados demonstraram ganhos de conversão energética em superfície aquática entre 8,5% e 18% em relação aos sistemas fotovoltaicos fixos convencionais na terra e incremento de aproximadamente 9,8% quando comparado a seguidores solares terrestres. Os resultados evidenciam o potencial da solução proposta para aumentar a eficiência energética, reduzir a ocupação de áreas terrestres e apoiar o desenvolvimento sustentável de empreendimentos fotovoltaicos de grande porte em ambiente aquático.

PALAVRAS-CHAVE: Usina fotovoltaica flutuante, módulos fotovoltaicos bifaciais, seguidor solar ativo, conversão energética, energia solar fotovoltaica.

ABSTRACT

With more than 22.6 GW of installed capacity in centralized photovoltaic power plants, representing 10.33% of the Brazilian electricity matrix (ANEEL, 2026), photovoltaic solar energy has become a strategic alternative for diversifying the national energy mix and enhancing energy supply security (EPE, 2025). However, The rapid expansion of large-scale photovoltaic

plants has intensified the scarcity of land with high solar irradiation potential, increasing installation costs and environmental licensing challenges (MAPA/INCRA/CEARÁ, 2022). This study aimed to develop and validate an integrated floating photovoltaic (FPV) architecture combining bifacial photovoltaic modules with a single-axis active solar tracker based on an astronomical tracking algorithm, contributing to the integration of technologies that have traditionally been investigated independently. The proposed methodology was based on computational modeling and energy simulations to comparatively evaluate different photovoltaic system configurations. The results demonstrated energy conversion gains ranging from 8.5% to 18% in water surface compared with conventional ground fixed-tilt photovoltaic systems, as well as an improvement of approximately 9.8% relative to ground-mounted single-axis solar tracking systems. These findings highlight the potential of the proposed solution to enhance energy efficiency, reduce land occupation, and support the sustainable deployment of large-scale photovoltaic power plants in aquatic environments.

KEYWORDS: *Floating photovoltaic system, bifacial solar modules, active solar tracking system, energy conversion, photovoltaic solar energy.*

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da demanda mundial por energia elétrica, impulsionado pela expansão populacional, pelo desenvolvimento industrial e pelas metas internacionais de descarbonização, tem intensificado a necessidade de ampliar a participação das fontes renováveis na matriz energética mundial. Embora os combustíveis fósseis ainda representem a maior parcela da oferta global de energia, observa-se uma expansão contínua das tecnologias renováveis, especialmente da energia solar fotovoltaica e eólica, favorecida pela redução dos custos de implantação, pelos avanços tecnológicos e pelas políticas públicas voltadas à mitigação das mudanças climáticas (GOLDEMBERG; LUCON, 2007; PEREIRA *et al.*, 2002; EPE, 2025).

Além da elevada disponibilidade de radiação solar ao longo do território brasileiro, o país apresenta um dos maiores potenciais mundiais para expansão da geração fotovoltaica em escala comercial (PEREIRA *et al.*, 2002).

Apesar do potencial energético, a expansão dos grandes parques fotovoltaicos terrestres enfrenta desafios relacionados à disponibilidade de áreas para implantação dos empreendimentos. Sistemas fotovoltaicos de geração centralizada demandam extensas superfícies para instalação dos módulos, competindo com áreas agrícolas, regiões ambientalmente protegidas e terrenos de elevado valor econômico. Como consequência, aumentam os custos de aquisição e arrendamento de terras, o investimento inicial (CAPEX) e a complexidade do licenciamento ambiental (MAPA/INCRA/CEARÁ, 2022).

Nesse cenário, cresce também a preocupação com os impactos ambientais associados à implantação de grandes usinas terrestres. A necessidade de extensas áreas para instalação dos módulos pode resultar na supressão de vegetação nativa, alterações no uso do solo e conflitos

com atividades agropecuárias, aumentando a complexidade do licenciamento ambiental e impondo novos desafios ao equilíbrio entre expansão da energia renovável e conservação dos ecossistemas (PEREIRA *et al.*, 2002; GOLDEMBERG; LUCON, 2007; PROJETO MAPBIOMAS, 2025).

Diante dessas limitações, os sistemas fotovoltaicos flutuantes (“*Floating Photovoltaics – FPV*”) têm despertado crescente interesse da comunidade científica e do setor elétrico. Ao utilizar reservatórios, lagos e outras superfícies aquáticas como área de implantação, esses sistemas reduzem significativamente a ocupação de terras, minimizam conflitos pelo uso do solo e ainda proporcionam benefícios térmicos decorrentes do resfriamento natural promovido pela água, aumentando a eficiência de conversão dos módulos fotovoltaicos.

Outra tecnologia que vem contribuindo significativamente para o aumento da produtividade das usinas fotovoltaicas consiste na utilização de módulos bifaciais. Diferentemente dos módulos convencionais, esses equipamentos são capazes de converter simultaneamente a radiação incidente sobre as faces frontal e traseira das células fotovoltaicas, aproveitando a radiação refletida pela superfície de instalação (albedo) e aumentando a produção anual de energia (ITRPV, 2024; GUERRERO-LEMUS *et al.*, 2016).

Complementarmente, os seguidores solares ativos constituem uma das principais estratégias para maximizar o aproveitamento da irradiância direta ao longo do dia. Esses sistemas reposicionam continuamente os módulos fotovoltaicos de acordo com a trajetória aparente do Sol, reduzindo perdas por incidência angular e aumentando significativamente a conversão anual de energia quando comparados às estruturas fixas (DUFFIE; BECKMAN, 2013).

Apesar dos avanços no desenvolvimento de módulos bifaciais, sistemas fotovoltaicos flutuantes e seguidores solares, a maioria das pesquisas concentra-se na avaliação isolada dessas tecnologias, abordando separadamente os ganhos térmicos das plataformas flutuantes, o aumento da produção proporcionado pelos módulos bifaciais ou os benefícios dos sistemas de rastreamento solar.

Entretanto, ainda são escassos os estudos que integram simultaneamente módulos bifaciais, sistemas fotovoltaicos flutuantes e seguidores solares ativos de um eixo em uma única arquitetura, validada por modelagem computacional e análise comparativa de desempenho. Essa lacuna evidencia a necessidade de pesquisas que avaliem os ganhos energéticos, econômicos e ambientais decorrentes dessa integração.

Nesse contexto, este trabalho desenvolve e valida um sistema fotovoltaico flutuante integrando módulos bifaciais e um seguidor solar ativo de um eixo, visando aumentar a conversão energética e reduzir a ocupação de áreas terrestres.

Sob a perspectiva da Gestão do Conhecimento, a pesquisa propõe uma metodologia estruturada para integrar conhecimentos de engenharia fotovoltaica, modelagem computacional, algoritmos de rastreamento solar e simulação energética em um processo sistemático de desenvolvimento, validação e comparação tecnológica. Essa sistematização permite a reutilização e replicação do conhecimento em futuros projetos de geração fotovoltaica, contribuindo para a inovação e o desenvolvimento sustentável do setor.

A arquitetura conceitual da solução proposta é apresentada na Figura 1, demonstrando a integração entre os três pilares tecnológicos investigados: plataforma fotovoltaica flutuante, módulos bifaciais e sistema de rastreamento solar ativo com seu objetivo final de aumento da conversão energética.



Figura 1 – Arquitetura conceitual do sistema flutuante, módulos bifaciais e seguidor solar ativo.

Fonte: Elaborado pelo autor

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nas últimas duas décadas, a energia solar fotovoltaica consolidou-se como uma das principais alternativas para a expansão sustentável da conversão energética. O crescimento da demanda energética mundial, aliado à necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e diversificar a matriz energética, impulsionou investimentos significativos em tecnologias voltadas ao aproveitamento da radiação solar (EPE, 2025; GOLDEMBERG; LUCON, 2007; IEA, 2023). Paralelamente, os avanços na eficiência dos módulos fotovoltaicos, a redução dos custos de fabricação e o desenvolvimento de sistemas de controle mais eficientes ampliaram a competitividade da energia solar fotovoltaica em escala mundial (DUFFIE; BECKMAN, 2013).

Entretanto, a expansão das usinas fotovoltaicas de grande porte trouxe novos desafios relacionados à disponibilidade de áreas para implantação dos empreendimentos. A elevada demanda por superfícies para instalação dos módulos aumenta a competição pelo uso do solo, eleva os custos de aquisição e arrendamento de terrenos e intensifica as restrições ambientais associadas ao licenciamento de novos projetos (MAPA/INCRA/CEARÁ, 2022; WORLD BANK GROUP, 2019). Além disso, a ocupação de áreas agrícolas ou ambientalmente sensíveis pode provocar alterações no uso da terra e na paisagem, estimulando o desenvolvimento de soluções capazes de aumentar a conversão energética sem ampliar proporcionalmente a área ocupada.

2.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS FLUTUANTES

Os sistemas fotovoltaicos flutuantes (FPV) destacam-se entre as principais tecnologias para ampliar a geração fotovoltaica com menor ocupação de áreas terrestres, utilizando reservatórios e outras superfícies aquáticas para instalação dos módulos (SAHU; YADAV; SUDHAKAR, 2016; ROSA-CLOT; TINA, 2018).

Os sistemas FPV utilizam plataformas flutuantes ancoradas para suportar módulos fotovoltaicos e equipamentos eletromecânicos, garantindo estabilidade operacional mesmo sob variações do nível da água e da ação do vento. Além de preservar áreas destinadas à agricultura, expansão urbana e conservação ambiental, essa tecnologia favorece a dissipação térmica dos módulos, aumentando sua eficiência energética (ROSA-CLOT; TINA, 2018; CAMPANA *et al.*, 2019).

A viabilidade técnica e econômica dos sistemas FPV já foi demonstrada em empreendimentos comerciais na China, Japão, Índia, Portugal e Brasil, incluindo a usina fotovoltaica flutuante da Represa Billings. Entre suas principais vantagens destacam-se a redução da evaporação dos reservatórios, o compartilhamento da infraestrutura elétrica existente e a

diminuição da temperatura operacional dos módulos, no qual podemos ver na Figura 2 o detalhamento dos fatores que influenciam nas usinas fotovoltaicas flutuantes.

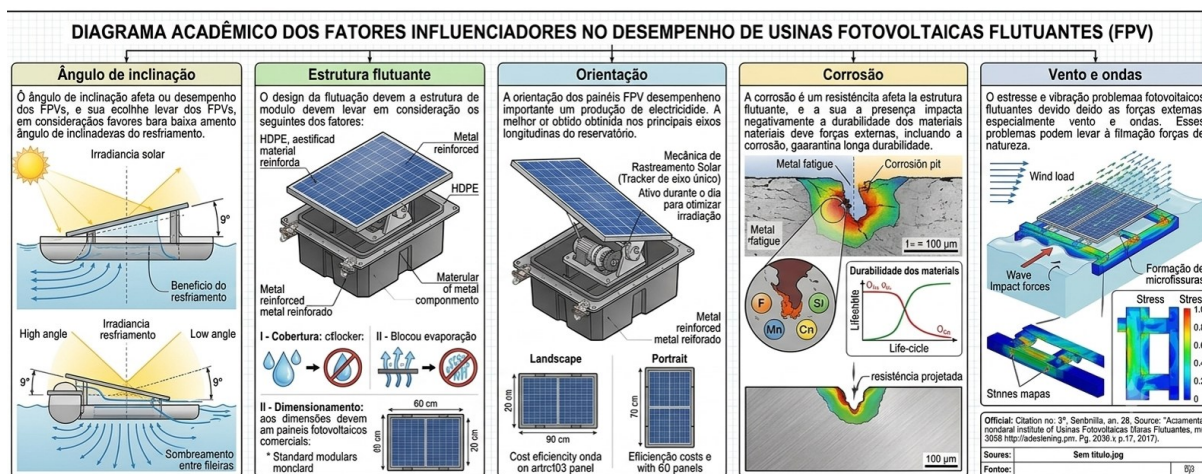


Figura 2 – Fatores que influenciam no desempenho do FPV

Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme sintetizado na Tabela 1, embora os ganhos variem em função das condições ambientais e das características construtivas de cada instalação, todos os estudos convergem quanto à melhoria do desempenho térmico e energético dos sistemas fotovoltaicos flutuantes.

Tabela 1 - Efeito de resfriamento na eficiência de sistemas fotovoltaicos flutuantes

Ganho de eficiência com o resfriamento das placas em comparação com um sistema terrestre	Autor	Título
7,6% a 13,5%	CHOI (2014)	“A Study on Power Generation Analysis of Floating PV System Considering Environmental Impact”
15,5%	MAJID <i>et al.</i> (2014)	“Study on performance of 80 watt floating photovoltaic panel”
9,00%	BAHAIDARAH <i>et al.</i> (2013)	“Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions”

Ganho de eficiência com o resfriamento das placas em comparação com um sistema terrestre	Autor	Título
1,58% a 2,00%	LIU <i>et al.</i> (2017)	“Power Generation Efficiency and Prospects of Floating Photovoltaic Systems”
0,79%	YADAV; GUPTA; SUDHAKAR (2016)	“Energy assessment of floating photovoltaic system”
2,82% a 14,58%	AZMI <i>et al.</i> (2013)	“Study on electrical power output of floating photovoltaic and conventional photovoltaic”

Fonte: Adaptado de CAMPANA *et al.*, 2019

As principais vantagens e limitações dos sistemas fotovoltaicos flutuantes encontram-se sintetizadas na Tabela 2, permitindo uma comparação dos aspectos técnicos, econômicos e operacionais reportados na literatura.

Tabela 2 - Análise do sistema flutuante

Item	Vantagens	Desvantagens / Limitações
1	Fonte limpa de energia renovável	Altos custos iniciais de instalação (de 12% a 18% na média de aumento)
2	Preservação de recursos terrestres	Dificuldade de instalação em ambiente marítimo
3	Aumento da eficiência de painéis solares	Pode impactar o desenvolvimento de organismos aquáticos que vivem sob estruturas flutuantes
4	Facilidade de limpeza e remoção de poeira dos painéis	Pode comprometer a qualidade da água devido ao uso de módulos de silício e flutuadores termoplásticos de polietileno de alta densidade
5	Redução da evaporação de água	
6	Melhoria da qualidade da água pelo controle do crescimento de algas	

- 7 Possível integração de sistemas
fotovoltaicos flutuantes em
aquicultura e piscicultura
- 8 Integração potencial de sistemas
flutuantes com usinas hidrelétricas
existentes

Fonte: Adaptado de CAMPANA *et al.* (2019); ABOUBAKR, *et al.* (2022)

Sob o ponto de vista construtivo, os sistemas fotovoltaicos flutuantes apresentam maior complexidade estrutural do que as instalações convencionais, exigindo plataformas flutuantes, sistemas de ancoragem, cabos de estabilização e dispositivos capazes de acomodar as variações do nível da água e as solicitações hidrodinâmicas provocadas por ondas, correntes e ação do vento. A Figura 3 apresenta a configuração típica de uma usina fotovoltaica flutuante, destacando os principais componentes estruturais responsáveis pela estabilidade e operação segura do sistema.

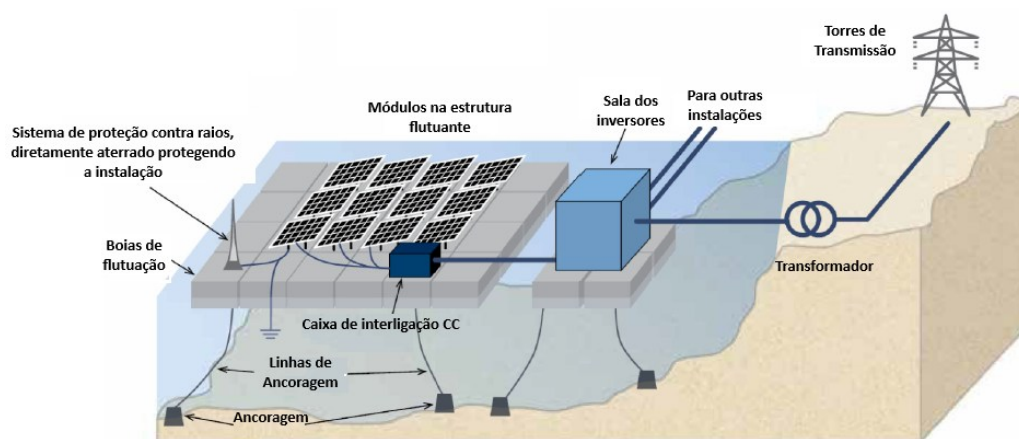


Figura 3 - Visão esquemática de um sistema flutuante, com seus principais componentes

Fonte: Adaptado de WORLD BANK GROUP (2019)

2.2 PAINÉIS FOTOVOLTAICOS BIFACIAIS

A evolução da tecnologia fotovoltaica nas últimas décadas impulsionou o desenvolvimento de soluções capazes de aumentar significativamente a eficiência da conversão energética. Entre elas, destacam-se os módulos fotovoltaicos bifaciais, que ampliam o aproveitamento da irradiância incidente e refletida (DUFFIE; BECKMAN, 2013).

Diferentemente dos módulos convencionais, que convertem apenas a radiação incidente na face frontal, os módulos bifaciais utilizam células encapsuladas entre materiais transparentes, permitindo a conversão da radiação em ambas as faces. Assim, além da irradiância direta e difusa,

a radiação refletida pela superfície (albedo) também contribui para a geração de energia, especialmente em superfícies de elevada refletividade, como concreto claro, areia, neve e ambientes aquáticos.

Estudos reportam ganhos entre 5% e 30%, dependendo do albedo, da altura dos módulos, do espaçamento entre fileiras e da geometria da instalação. ABOUBAKR *et al.*, 2022, destacam a refletividade da superfície como um dos principais fatores que influenciam o desempenho dessa tecnologia.

Nos sistemas fotovoltaicos flutuantes, os módulos bifaciais apresentam desempenho superior em razão do maior aproveitamento da radiação refletida pela superfície da água (albedo), potencializando os benefícios energéticos da tecnologia. Entretanto, sua eficiência permanece dependente do ângulo de incidência da radiação solar. Em sistemas fixos, o afastamento da orientação ótima reduz o aproveitamento da irradiância ao longo do dia, ocasionando perdas de geração, principalmente nos períodos da manhã e da tarde.

2.3 SISTEMAS DE RASTREAMENTO SOLAR ATIVO DE UM EIXO

Para reduzir as perdas por incidência angular da radiação solar, utilizam-se sistemas de rastreamento solar (“*Solar Tracking Systems*”), que reposicionam continuamente os módulos conforme a trajetória aparente do Sol, aumentando o aproveitamento da irradiância direta (KACIRA *et al.*, 2004; DUFFIE; BECKMAN, 2013). Entre as configurações disponíveis, os seguidores de um eixo destacam-se pela melhor relação entre ganho energético, custo de implantação e confiabilidade operacional, razão pela qual são amplamente empregados em usinas fotovoltaicas de grande porte (KACIRA *et al.*, 2004; LORENZO, 2021). Por esse motivo, o sistema desenvolvido nesta pesquisa adotou um seguidor solar ativo de um eixo baseado em algoritmo astronômico. Em função dessa característica, os seguidores de um eixo tornaram-se predominantes em empreendimentos de grande porte, especialmente em regiões de elevada irradiância solar.

Neste trabalho foi adotado um seguidor solar ativo de um eixo com movimento Leste-Oeste, baseado em algoritmo astronômico para determinação da posição aparente do Sol. Em comparação aos sistemas baseados em sensores de luminosidade, essa abordagem proporciona maior precisão no posicionamento dos módulos a partir da localização geográfica, data e horário (DUFFIE; BECKMAN, 2013). Os principais estudos que fundamentam a adoção de seguidores solares de um eixo em usinas fotovoltaicas encontram-se sintetizados na Tabela 3.

Tabela 3 - Principais trabalhos de usinas fotovoltaicas flutuantes com seguidor solar

Autor	Título	Tecnologia	Ganho na Eficiência
			Rastreador X Sistema Fixo
CAMPANA <i>et al.</i> (2019)	<i>“Optimization and assessment of floating and floating-tracking PV systems integrated in on- and off-grid hybrid energy systems - 2018”</i>	Sistema Híbrido com diversas tecnologias e seguidor rotativo estrutural, sem confinamento e com ancoragem	Até 45%
ROSA- CLOT <i>et al.</i> (2017)	<i>“RAST: Round About Solar Tracking – 2017”</i>	Sistema rotativo terrestre e aquático, com placas defletoras.	Entre 10% e 25%
TINA; ROSA-CLOT (2011)	<i>“Electrical Behavior and Optimization of Panels and Reflector of a Photovoltaic Floating Plant – 2011”</i>	Plataforma Flutuante Circular com refletores	Entre 60% e 70%
PRONK; DIZDAR; SCHUURMAN S (2015)	<i>“Sun-Spotter floating solar-tracking spotlight – 2015”</i>	Seguidores de dois eixos com acionamento cinético	Entre 13% e 48%
XU <i>et al.</i> (2019)	<i>“Design and Optimization of a Wave Driven Solar Tracker for Floating Photovoltaic Plants – 2019”</i>	Sistema passivo que se movimenta conforme movimento da onda	Entre 20% e 50%
ROSA-CLOT; TINA (2020)	<i>“Tracking Systems. Floating PV Plants – 2020”</i>	Análise de diversos sistemas flutuante, não detalhando sistema ativo com um eixo.	Entre 15% e 32%

 Fonte: Adaptado de TINA; ROSA-CLOT (2011); ABOUBAKR, *et al.* (2022)

Nesse contexto, a integração entre plataformas fotovoltaicas flutuantes, módulos bifaciais e seguidores solares ativos representa uma estratégia para potencializar os ganhos energéticos. A literatura demonstra benefícios consolidados dessas tecnologias; entretanto, ainda são escassos estudos que investigam sua integração em uma única arquitetura, lacuna que fundamenta a proposta deste trabalho.

As Figuras 4 e 5 apresentam a modelagem conceitual do sistema fotovoltaico flutuante, composta por plataforma flutuante com módulos fotovoltaicos bifaciais e seguidor solar ativo,

desenvolvida para as simulações computacionais e análises comparativas que fundamentam este estudo.

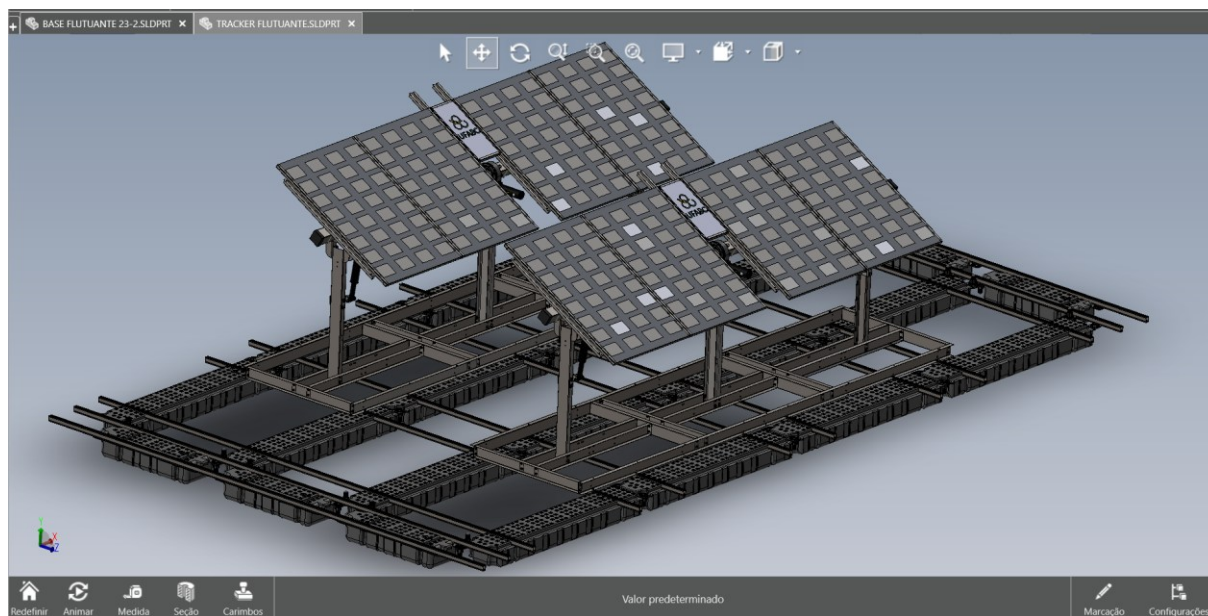


Figura 4 – Simulação da modelagem do Sistema Flutuante com seguidor solar

Fonte: Elaborado pelo autor



Figura 5 – Renderização sistema Flutuante com seguidor solar

Fonte: Elaborado pelo autor

3. METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza aplicada, com abordagem quantitativa, exploratória e experimental, desenvolvido com o objetivo de conceber, modelar e validar um FPV integrando módulos fotovoltaicos bifaciais e um sistema de rastreamento solar ativo de um eixo para maximização da conversão energética. A estratégia metodológica consistiu em um estudo comparativo entre diferentes arquiteturas fotovoltaicas simuladas computacionalmente.

O trabalho foi estruturado em cinco etapas principais: (i) revisão sistemática da literatura, (ii) desenvolvimento do modelo conceitual do sistema, (iii) utilização do algoritmo astronômico para rastreamento solar, (iv) modelagem computacional e simulações energéticas e (v) validação técnica dos resultados obtidos.

Foi proposta uma arquitetura tecnológica composta pela integração entre plataforma fotovoltaica flutuante, módulos bifaciais e sistema de rastreamento solar ativo de um eixo.

A configuração desenvolvida foi concebida buscando simultaneamente:

1. Aumentar a produção anual de energia;
2. Reduzir perdas térmicas dos módulos fotovoltaicos;
3. Aumentar o aproveitamento da radiação refletida (albedo);
4. Minimizar a ocupação de áreas terrestres;
5. Manter elevada confiabilidade estrutural.

O sistema de rastreamento solar utilizado nesta pesquisa baseia-se em um algoritmo astronômico capaz de determinar continuamente a posição aparente do Sol considerando as coordenadas geográficas da instalação, data, horário, declinação solar, ângulo horário, ângulo zenital e azimute solar.

A utilização de modelos astronômicos elimina limitações observadas em sistemas baseados exclusivamente em sensores de luminosidade, proporcionando maior precisão no posicionamento dos módulos fotovoltaicos durante todo o período de operação.

A avaliação energética da solução proposta foi realizada utilizando o software PVSyst, amplamente empregado para simulação de sistemas fotovoltaicos em escala comercial.

Todos os modelos foram desenvolvidos utilizando os mesmos parâmetros elétricos dos módulos fotovoltaicos, inversores, cabeamento, transformadores e demais condições elétricas e climáticas, permitindo comparação direta entre os diferentes cenários.

Para reduzir possíveis interferências externas, foram mantidos constantes:

1. Potência instalada;
2. Tecnologia dos módulos;
3. Orientação dos arranjos;
4. Perdas elétricas;
5. Parâmetros climáticos;
6. Configuração elétrica.

No Quadro 1, estão listados os locais e os tipos de instalação considerados para a pesquisa, nos quais definem-se como coordenadas geográficas de Pirapora do Bom Jesus como: 23°27'20.91"S e 46°54'39.84"O e da Praia de Bertioiga em 23°51'23.7"S 45°55'03.2"W.

Quadro 1 - Locais eleitos para simulação de produções específicas

<i>Localidade</i>	<i>Tipo de Instalação</i>	<i>Albedo</i>	<i>Inclinação/ Azimute</i>	<i>Orientação</i>	<i>Altura do Solo</i>
Pirapora do Bom Jesus	Fixo / Solo Nu	0,17	23,39° / 0°	Norte	1,5m
Pirapora do Bom Jesus	Seguidor Solar / Solo Nu	0,17	- / 0°	Eixo horizontal N-S, como movimento L-O	2,1m
Pirapora do Bom Jesus	Fixo / Água de Lago	0,10	15° / 0°	Norte	1,5m
Pirapora do Bom Jesus	Seguidor Solar / Água de Lago	0,10	- / 0°	Eixo horizontal N-S, como movimento L-O	2,1m
Praia de Bertioiga	Fixo / Areia mar	0,40	23,86° / 0°	Norte	1,5m
Praia de Bertioiga	Seguidor Solar / Areia mar	0,40	- / 0°	Eixo horizontal N-S, como movimento L-O	2,1m
Praia de Bertioiga	Fixo / Água Mar	0,08	15° / 0°	Norte	1,5m
Praia de Bertioiga	Seguidor Solar / Água Mar Mar	0,08	- / 0°	Eixo horizontal N-S, como movimento L-O	2,1m

Fonte: Elaborado pelo autor

Foram utilizadas placas da marca Canadian, modelo CS7N-695TB-AG, com 9 unidades de potência 695Wn cada uma, em condições de testes padrão (“*Standard Tests Conditions – STC*”), totalizando 6,255kWn e área de 27,954m². As placas foram dispostas em 3 fileiras, cada uma contendo 3 unidades de placas, com as seguintes características técnicas do painel:

- | | |
|--|----------------------|
| 1. Fator de bifacialidade: | 30% |
| 2. Fator sombras posterior: | 5% |
| 3. Perdas “ <i>mismatch</i> ”: | 10% |
| 4. Fração transparente do “ <i>shed</i> ”: | 0% |
| 5. Área ocupada para 9 painéis: | 27,954m ² |

Após a definição da arquitetura do sistema foi desenvolvido o modelo estrutural da plataforma flutuante.

O projeto contemplou:

1. Suporte dos módulos;
2. Flutuadores (Boias);
3. Mecanismo de movimentação.

Durante essa etapa foram consideradas as cargas permanentes, ações do vento, estabilidade da plataforma e movimentação do sistema de rastreamento, de forma uniforme para que todos os resultados sejam com a mesma base de dimensionamento.

A validação da metodologia proposta foi realizada por meio da comparação entre os resultados energéticos obtidos nos diferentes cenários simulados.

Foram utilizados como indicadores de desempenho:

1. Energia anual gerada (kWh);
2. Produção específica (kWh/kWp);
3. Performance Ratio (PR);
4. Ganho percentual de conversão energética;
5. Eficiência global do sistema.

Esses indicadores permitiram avaliar quantitativamente os benefícios decorrentes da integração entre plataforma flutuante, módulos bifaciais e sistema de rastreamento solar.

Os resultados obtidos foram posteriormente comparados com dados publicados na literatura especializada, possibilitando verificar a coerência técnica da metodologia desenvolvida e identificar as contribuições da solução proposta em relação às configurações convencionais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia desenvolvida permitiu integrar, em um único modelo computacional, uma plataforma fotovoltaica flutuante, módulos fotovoltaicos bifaciais e um sistema de rastreamento solar ativo de um eixo controlado por algoritmo astronômico. A arquitetura proposta foi implementada e posteriormente validada por meio de simulações computacionais realizadas no software PVsyst, possibilitando a comparação entre diferentes configurações de instalação em distintas condições de albedo e localização geográfica. Os resultados obtidos demonstraram consistência entre os cálculos desenvolvidos pelo algoritmo e os valores estimados pelo software de simulação, indicando que a metodologia é adequada para estudos comparativos envolvendo sistemas fotovoltaicos convencionais e flutuantes.

O algoritmo astronômico foi capaz de determinar continuamente a posição aparente do Sol a partir da latitude, longitude, data e horário da instalação, fornecendo os parâmetros necessários para o acionamento do sistema eletromecânico de rastreamento. Essa abordagem é compatível com metodologias amplamente utilizadas na literatura para controle de seguidores solares, como as propostas por DUFFIE; BECKMAN (2013), REDA; ANDREAS (2008), e LORENZO (2021), reforçando a confiabilidade da estratégia adotada.

4.2 AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DOS SISTEMAS SIMULADOS

Após a validação da metodologia, foram realizadas simulações computacionais considerando quatro configurações de instalação, todas com placas bifaciais:

1. sistema fotovoltaico em solo utilizando estrutura fixa;
2. sistema fotovoltaico em solo utilizando seguidor solar ativo de um eixo;
3. sistema fotovoltaico flutuante utilizando estrutura fixa;
4. sistema fotovoltaico flutuante utilizando seguidor solar ativo de um eixo.

Foram avaliadas duas localidades brasileiras com características ambientais distintas — Pirapora do Bom Jesus (SP) e Praia de Bertioga (SP) — considerando diferentes superfícies de instalação e respectivos índices de albedo. Os resultados obtidos encontram-se resumidos no Quadro 2, que apresenta os valores de conversão específica, “*Performance Ratio (PR)*” e energia anual produzida para cada cenário avaliado.

Quadro 2 - Resultados geral das simulações no PVsyst

<i>Localidade</i>	<i>Tipo de Instalação</i>	<i>Albedo</i>	<i>Conversão específica (kWh/kWp/ano)</i>	<i>Índice PR</i>	<i>Energia produzida (kWh/ano)</i>
Pirapora do Bom Jesus	Fixo / Solo	0,17	1.757	86,19%	10.989,75
Pirapora do Bom Jesus	Seguidor Solar / Solo	0,17	1.847	86,58%	11.550,29
Pirapora do Bom Jesus	Fixo / Lago	0,10	1.718	85,30%	10.747,57
Pirapora do Bom Jesus	Seguidor Solar / Lago	0,10	2.028	81,13%	12.684,91
Praia de Bertioga	Fixo / Areia	0,40	1.669	88,98%	10.440,07
Praia de Bertioga	Seguidor Solar / Areia	0,40	1.787	89,30%	11.177,36
Praia de Bertioga	Fixo / Mar	0,08	1.563	84,10%	9.774,72
Praia de Bertioga	Seguidor Solar / Mar	0,08	1.697	84,80%	10.614,48

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados demonstram que o rastreamento solar aumentou a produção anual de energia em relação às estruturas fixas, enquanto os sistemas fotovoltaicos flutuantes apresentaram desempenho superior aos terrestres, em concordância com Rosa-Clot e Tina (2018), Sahu, Yadav e Sudhakar (2016) e Campana et al. (2019). Os módulos bifaciais também contribuíram para o aumento da produção específica de energia. Conforme o Quadro 3, os ganhos de conversão variaram entre 8,59% e 18,03%, confirmando que a integração entre plataforma flutuante, módulos bifaciais e rastreamento solar maximiza a eficiência energética do sistema em superfície aquática e ganhos de 5,10% e 7,06%, mesmo em superfície terrestre.

Quadro 3 - % aumento de conversão energética fixo x seguidor – Mesma superfície

<i>Localidade</i>	<i>Tipo de Instalação</i>	<i>Energia (kWh/ano)</i>	<i>% Aumento Fixo x Seguidor Mesma superfície</i>
Pirapora do Bom Jesus	Fixo / Solo	10.989,75	5,10%
Pirapora do Bom Jesus	Seguidor Solar / Solo	11.550,29	
Pirapora do Bom Jesus	Fixo / Lago	10.747,57	18,03%
Pirapora do Bom Jesus	Seguidor Solar / Lago	12.684,91	

Praia de Bertioga	Fixo / Areia	10.440,07	7,06%
Praia de Bertioga	Seguidor Solar / Areia	11.177,36	
Praia de Bertioga	Fixo / Mar	9.774,72	8,59%
Praia de Bertioga	Seguidor Solar / Mar	10.614,48	

Fonte: Elaborado pelo autor

A configuração integrada por plataforma flutuante, módulos bifaciais e seguidor solar apresentou incremento de aproximadamente 9,8%, quando instalado no lago, em relação aos seguidores solares convencionais instalados sobre o solo. Esse resultado confirma que a plataforma flutuante potencializa o desempenho mesmo em sistemas com rastreamento solar, evidenciando a complementaridade entre essas tecnologias, demonstrado no Quadro 4.

Quadro 4 - % aumento de conversão específica fixo x seguidor – Diferentes superfícies

<i>Localidade</i>	<i>Tipo de Instalação</i>	<i>Conversão específica (kWh/kWp/ano)</i>	<i>% Aumento em Diferentes Superfícies</i>
Pirapora do Bom Jesus	Fixo / Solo	1.757	-2,22%
Pirapora do Bom Jesus	Fixo / Lago	1.718	
Pirapora do Bom Jesus	Seguidor Solar / Solo	1.847	9,80%
Pirapora do Bom Jesus	Seguidor Solar / Lago	2.028	
Praia de Bertioga	Fixo / Areia	1.669	-6,35%
Praia de Bertioga	Fixo / Mar	1.563	
Praia de Bertioga	Seguidor Solar / Areia	1.787	-5,04%
Praia de Bertioga	Seguidor Solar / Mar	1.697	

Fonte: Elaborado pelo autor

Esses resultados apresentam concordância com estudos publicados por KACIRA *et al.* (2004), LORENZO (2021) e DUFFIE; BECKMAN, 2013, que reportam incrementos de ganhos energéticos semelhantes para sistemas de rastreamento de um eixo.

Além do aumento da produção energética, verificou-se melhor distribuição diária da conversão elétrica, reduzindo perdas durante os períodos da manhã e da tarde, quando os sistemas convencionais apresentam maior afastamento do ângulo ótimo de incidência solar.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES

Os resultados confirmam a hipótese inicialmente proposta nesta pesquisa de que a integração entre plataforma fotovoltaica flutuante, módulos bifaciais e rastreamento solar ativo constitui uma alternativa tecnicamente viável para aumentar a eficiência da conversão energética e reduzir a ocupação de áreas terrestres.

Sob o ponto de vista científico, os resultados obtidos corroboram estudos anteriores sobre sistemas fotovoltaicos flutuantes e seguidores solares, mas avançam ao validar experimentalmente uma arquitetura integrada que combina simultaneamente essas tecnologias em um único sistema. Sob o ponto de vista prático, a solução proposta apresenta potencial para implantação em reservatórios hidrelétricos, açudes, lagos artificiais e áreas com restrições ambientais, contribuindo para aumentar a produção de energia renovável sem ampliar a pressão sobre áreas agrícolas ou ambientalmente sensíveis.

O presente estudo desenvolveu e validou uma arquitetura integrada para sistemas fotovoltaicos flutuantes baseada na combinação de módulos bifaciais e um seguidor solar ativo de um eixo controlado por algoritmo astronômico. A metodologia, avaliada por meio de modelagem computacional e simulações no software PVSyst, demonstrou que a integração dessas tecnologias proporciona ganhos consistentes de conversão energética em comparação aos sistemas fotovoltaicos convencionais.

Os resultados confirmaram que a plataforma flutuante contribui para o resfriamento dos módulos, enquanto os módulos bifaciais ampliam o aproveitamento da radiação refletida e o sistema de rastreamento maximiza a captação da irradiância direta ao longo do dia. A atuação conjunta desses mecanismos resultou em incrementos de conversão de energia entre 8,5% e 18% em relação aos sistemas fixos e na mesma proporção, se compararmos lago e solo, o ganho foi de aproximadamente 9,8% maior no lago, evidenciando o potencial da solução para ampliar a eficiência energética em lagos e reduzir a ocupação de áreas terrestres.

5.1 CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO

A principal contribuição desta pesquisa consiste na validação de uma metodologia integrada para sistemas fotovoltaicos flutuantes com módulos bifaciais e rastreamento solar ativo de um eixo com movimento Leste-Oeste. Diferentemente da maioria dos estudos disponíveis, que analisam essas tecnologias de forma independente, este trabalho demonstra sua aplicação conjunta em uma única arquitetura, contribuindo para o avanço do conhecimento e para o desenvolvimento de soluções de maior eficiência para usinas fotovoltaicas de grande porte.

5.2 IMPLICAÇÕES TEÓRICAS E PRÁTICAS

Sob o ponto de vista científico, os resultados ampliam a compreensão sobre o desempenho de sistemas fotovoltaicos flutuantes integrados. Na prática, a metodologia pode apoiar o dimensionamento de empreendimentos em reservatórios e usinas hidrelétricas, favorecendo maior conversão energética renovável sem expansão proporcional da ocupação de terras protegidas ambientalmente.

5.3 IMPLICAÇÕES GERENCIAIS

O método proposto contribui para a padronização do desenvolvimento de sistemas fotovoltaicos flutuantes, facilitando a integração entre equipes multidisciplinares e apoiando decisões técnicas relacionadas ao planejamento e à implantação de novos empreendimentos. Essas características reforçam sua aderência à temática de métodos e processos voltados à inovação e à gestão do conhecimento.

5.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA E ESTUDOS FUTUROS

A validação baseou-se predominantemente em simulações computacionais, não contemplando ensaios experimentais de longa duração nem análises econômicas detalhadas. Como continuidade da pesquisa, recomenda-se a construção de um protótipo em escala real, a realização de estudos técnico-econômicos em diferentes condições climáticas e reservatórios, bem como a aplicação de técnicas de inteligência artificial, Internet das Coisas (IoT) e análises de ciclo de vida para ampliar a eficiência e a sustentabilidade dos sistemas propostos.

6. REFERÊNCIAS

ABOUBAKR, El Hammoumia; SMAIL, Chtita B.; SAAD, Motahhir C.; ABDELAZIZ, El Ghzizal A. Solar PV energy: From material to use, and the most commonly used techniques to maximize the power output of PV systems: A focus on solar trackers and floating solar panels. *Energy Reports*, v. 8, p. 11992–12010, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.09.054>. Acesso em: 30 mar. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Painel de Geração Centralizada. Brasília, DF, 2026. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojNGE3NjVmYjAtNDZkZC00MDY4LTliNTItMTVhZTU0NWYzYzFmIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYjYtNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>. Acesso em: 09 jul. 2026.

AZMI, M. S. M.; OTHMAN, M. Y. H.; RUSLAN, M. H. H.; SOPIAN, K.; MAJID, Z. A. A. Study on electrical power output of floating photovoltaic and conventional photovoltaic. *AIP Conference Proceedings*, v. 1571, p. 95–101, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1063/1.4858636>. Acesso em: 30 mar. 2025.

BAHAIDARAH, H.; SUBHAN, A.; GANDHIDASAN, P.; REHMAN, S. Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions. *Energy*, v. 59, p. 445–453, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544213006567>. Acesso em: 30 mar. 2025.

CAMPANA, P. E.; WÄSTHAGE, L.; NOOKUEA, W.; TAN, Y.; YAN, J. Optimization and assessment of floating and floating-tracking PV systems integrated in on- and off-grid hybrid energy systems. *Solar Energy*, v. 177, p. 782–795, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X18311459>. Acesso em: 29 mar. 2025.

CHOI, Y. K. A study on power generation analysis of floating PV system considering environmental impact. *International Journal of Software Engineering and Its Applications*, v. 8, p. 75–84, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/280929961_A_Study_on_Power_Generation_Analysis_of_Floating_PV_System_Considering_Environmental_Impact. Acesso em: 30 mar. 2025.

CHOI, Young-Kwan; LEE, Young-Geun. A study on development of rotary structure for tracking-type floating photovoltaic system. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, v. 15, p. 2453–2460, 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12541-014-0613-5>. Acesso em: 29 mar. 2025.

CHOI, Y. K.; LEE, N. H.; LEE, A. K.; KIM, K. J. A study on major design elements of tracking-type floating photovoltaic systems. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, v. 3, n. 1, p. 70–74, 2014. Disponível em: <https://www.ijsgce.com/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=42&id=147>. Acesso em: 29 mar. 2025.

DUFFIE, John A.; BECKMAN, William A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. 4. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2013.
SBGC – Sociedade Brasileira de Gestão do Conhecimento – sbgc.org.br
KM Brasil 2026 - 21º Congresso Brasileiro de Gestão do Conhecimento – kmbrasil.org

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Plano Nacional de Energia 2055. Rio de Janeiro: EPE, 2025. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-nacional-de-energia-2055>. Acesso em: 18 out. 2025.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. Energia e meio ambiente no Brasil. Estudos Avançados, São Paulo, v. 21, n. 59, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142007000100003>. Acesso em: 15 mar. 2025.

GUERRERO-LEMUS, R.; VEGA, R.; KIM, T.; KIMM, A.; SHEPHARD, L. Bifacial solar photovoltaics: A technology review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 60, p. 1533–1549, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.041>. Acesso em: 22 jan. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Renewables 2023: Analysis and Forecast to 2028. Paris: IEA Publications, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2023>. Acesso em: 18 out. 2025.

INTERNATIONAL TECHNOLOGY ROADMAP FOR PHOTOVOLTAICS (ITRPV). International Technology Roadmap for Photovoltaics: 2024 Results. Frankfurt: VDMA, 2024. Disponível em: <https://www.vdma.org/international-technology-roadmap-photovoltaic>. Acesso em: 22 mar. 2025.

KACIRA, M.; SIMSEK, M.; BABUR, Y.; DEMIRKOL, S. Determining optimum tilt angles and orientation of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey. Renewable Energy, v. 29, p. 1265–1275, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2003.12.014>. Acesso em: 30 mar. 2025.

LIU, L.; WANG, Q.; LIN, H.; LI, H.; SUN, Q.; WENNERSTEN, Ronald. Power generation efficiency and prospects of floating photovoltaic systems. Energy Procedia, v. 105, p. 1136–1142, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217305246>. Acesso em: 30 mar. 2025.

LORENZO, E. On the historical origins of bifacial PV modelling. Solar Energy, v. 218, p. 587–595, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.03.006>. Acesso em: 16 mar. 2025.

MAJID, Z.; RUSLAN, M. H.; SOPIAN, K.; OTHMAN, M. Y.; AZMI, M. Study on performance of 80 watt floating photovoltaic panel. Journal of Mechanical Engineering and Sciences, v. 7, p. 1150–1156, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.15282/jmes.7.2014.14.0112>. Acesso em: 30 mar. 2025.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA); INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). Relatório de Análise de Mercado de Terras – Ceará. Brasília, DF, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/governanca-fundiaria/relatorio-de-analise-de-mercados-de-terras/RAMT_SRCE_2022.pdf. Acesso em: 27 out. 2025.

PROJETO MAPBIOMAS. Panorama da superfície de água do Brasil (1985–2024). São Paulo, 2025. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2025/03/Factsheet_Agua_20.03_v5.pdf. Acesso em: 18 out. 2025.

PEREIRA, Antônio Roberto; ANGELOCCI, Luiz Roberto; SENTELHAS, Paulo César. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001400861>. Acesso em: 30 mar. 2025.

PRONK, A. D. C.; DIZDAR, D.; SCHUURMANS, W. A. Sun-Spotter: Gravity Point Displacement as Solar-Tracking Principle. In: INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR SHELL AND SPATIAL STRUCTURES SYMPOSIUM (IASS), 2015, Amsterdam. IASS, 2015. p. 1–12. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/contentone/iass/piass/2015/00002015/00000029/art00013>. Acesso em: 17 mar. 2025.

REDA, Ibrahim; ANDREAS, Afshin. Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications. Solar Energy, v. 76, n. 5, p. 577–589, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2003.12.003>. Acesso em: 30 mar. 2025.

ROSA-CLOT, Marco; TINA, Giuseppe Marco. Floating PV Plants: Design and Installation of Floating Solar Power Plants. Cham: Springer Nature, 2020. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=yKXMDwAAQBAJ>. Acesso em: 29 mar. 2025.

ROSA-CLOT, Marco; TINA, Giuseppe Marco; ROSA-CLOT, P.; VENTURA, C. RAST: Round About Solar Tracking. Energy Procedia, v. 134, p. 598–606, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.574>. Acesso em: 29 mar. 2025.

SAHU, A.; YADAV, N.; SUDHAKAR, K. Floating photovoltaic power plant: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 66, p. 815–824, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.051>. Acesso em: 15 mar. 2025.

TINA, Giuseppe Marco; BONTEMPO, Scavo F. Energy performance analysis of tracking floating photovoltaic systems. Heliyon, v. 8, e10088, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10088>. Acesso em: 29 mar. 2025.

TINA, Giuseppe Marco; BONTEMPO, Scavo F.; MERLO, Leonardo; BIZZARRI, Fabrizio. Comparative analysis of monofacial and bifacial photovoltaic modules for floating power plants. Applied Energy, v. 281, art. 116084, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116084>. Acesso em: 29 mar. 2025.

TINA, Giuseppe Marco; ROSA-CLOT, Marco. Electrical behavior and optimization of panels and reflector of a photovoltaic floating plant. In: EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE AND EXHIBITION, 26., 2011, Hamburgo. WIP Renewable Energies, 2011. p. 4371–4375. Disponível em: <https://doi.org/10.4229/26thEUPVSEC2011-5BV.2.54>. Acesso em: 19 mar. 2025.

WORLD BANK GROUP; SOLAR ENERGY RESEARCH INSTITUTE OF SINGAPORE (SERIS). Where Sun Meets Water: Floating Solar Market Report. Washington, DC: World Bank, 2019. Disponível em:

<https://documents1.worldbank.org/curated/en/670101560451219695/pdf/Floating-Solar-Market-Report.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2025.

XU, R.; LIU, C.; LIU, H.; SUN, Z.; LAM, T. L.; QIAN, H. Design and optimization of a wave-driven solar tracker for floating photovoltaic plants. In: IEEE/ASME INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED INTELLIGENT MECHATRONICS (AIM), 2019, Hong Kong. IEEE, 2019. p. 1293–1298. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8868847>. Acesso em: 29 mar. 2025.