



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

RAFAEL LEITE DOS SANTOS

**SISTEMA FOTOVOLTAICO INTEGRADO À CONSTRUÇÃO - BIPV: UM
PANORAMA DO BRASIL**

PAU DOS FERROS – RN

2025

RAFAEL LEITE DOS SANTOS

**SISTEMA FOTOVOLTAICO INTEGRADO À CONSTRUÇÃO - BIPV: UM
PANORAMA DO BRASIL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, Centro Multidisciplinar de Pau dos
Feros – CMPF, como requisito para a obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Adelson Menezes Lima

PAU DOS FERROS – RN

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S237s Santos, Rafael Leite dos.
Sistema fotovoltaico integrado à construção -
BIPV: um panorama do Brasil / Rafael Leite dos
Santos. - 2025.
80 f. : il.

Orientador: Adelson Menezes Lima.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2025.

1. Energia Fotovoltaica. 2. BIPV. 3. Matriz
energética. 4. Sustentabilidade. 5. Impactos
ambientais. I. Lima, Adelson Menezes, orient. II.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

RAFAEL LEITE DOS SANTOS

**SISTEMA FOTOVOLTAICO INTEGRADO A CONSTRUÇÃO - BIPV: UM
PANORAMA DO BRASIL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, Centro Multidisciplinar de Pau dos
Feros – CMPF, como requisito para a obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Civil.

DATA DA APROVAÇÃO: 27/03/2025.

BANCA EXAMINADORA

Adelson Menezes Lima, Prof. Dr (UFERSA)
Presidente

Paulo César Linhares da Silva, Prof (UFERSA)
Membro Examinador

José Henrique Maciel de Queiroz, Eng. Me (UFERSA)
Membro Examinador

A minha mãe, Maria das Graças Leite de Araújo

A minha avó/ mãe, Ana Bertini Leite de Araújo

A minha tia, Cícera Margarida Leite de Araújo

A minha tia, Suzana Leite de Araújo

A meu tio, José Leite de Araújo

Aos meus irmãos, tios e primos

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe, Maria das Graças Leite de Araújo, que me incentivou a escolher sempre o melhor caminho e acreditou no poder da educação para mudar nossas vidas.

Obrigado à minha avó, Ana Bertini Leite de Araújo, por ajudar a mim e meus irmãos a crescer e por seu esforço em nos dar a oportunidade de ir para a universidade mesmo em tempos difíceis.

Minhas tias e meu tio, José Leite de Araújo, Margarida Leite de Araújo e Suzana Leite de Araújo, que também fizeram parte do meu crescimento com meus irmãos, ajudaram minha mãe nos momentos difíceis e sempre nos ofereceram o melhor possível.

Agradeço a meu orientador, Dr. Adelson Menezes Lima, pela disponibilidade em me orientar, pela paciência nos momentos indecisos e difíceis e por me ajudar nessa importante fase da minha vida acadêmica.

A todos os amigos e familiares que estiveram ao meu lado para me incentivar e acreditar no meu potencial. Agradeço a Deus por me dar discernimento e sempre me ajudar, eu não teria chegado tão longe sem ele.

RESUMO

Nos últimos anos, os sistemas fotovoltaicos integrados à construção civil (BIPV, do inglês Building Integrated Photovoltaics) têm ganhado destaque como uma solução inovadora para a geração de energia renovável, promovendo a sustentabilidade e a eficiência energética. No Brasil, desde 2012, a discussão sobre a inserção dessa tecnologia na matriz elétrica nacional tem se intensificado, impulsionada por avanços tecnológicos, políticas de incentivo e a crescente demanda por fontes limpas de energia (Zomer, 2025). Este estudo realizou um levantamento sobre a aplicação dos sistemas fotovoltaicos BIPV nas edificações do Brasil, analisando publicações acadêmicas, periódicos técnicos, sites especializados e reportagens sobre o desenvolvimento dessa tecnologia no país. Os dados coletados foram organizados em figuras, tabelas e quadros, permitindo uma avaliação ampla das perspectivas da energia solar integrada à construção civil. A pesquisa ainda destacou as principais características do modelo BIPV em relação à geração, distribuição e consumo de energia, bem como as vantagens e desafios sob os aspectos ambiental, econômico, social e técnico (Zomes, 2025). Os resultados indicam que, no contexto brasileiro, os sistemas BIPV apresentam um grande potencial de crescimento, contribuindo para a diversificação da matriz energética e a redução da pegada de carbono. A integração da energia solar à construção civil não apenas possibilita edificações energeticamente autossuficientes, mas também representa um avanço estratégico na transição energética do Brasil.

Palavras-chave: Energia Fotovoltaica; BIPV; Matriz energética; Sustentabilidade; Impactos ambientais.

ABSTRACT

In recent years, Building Integrated Photovoltaic (BIPV) systems have gained prominence as an innovative solution for renewable energy generation, promoting sustainability and energy efficiency. In Brazil, since 2012, discussions about the integration of this technology into the national energy matrix have intensified, driven by technological advances, incentive policies, and the growing demand for clean energy sources (Zomer, 2025). This study conducted a survey on the application of BIPV photovoltaic systems in buildings across Brazil, analyzing academic publications, technical journals, specialized websites, and reports on the development of this technology in the country. The collected data were organized into figures, tables, and charts, allowing for a comprehensive evaluation of the perspectives on solar energy integrated into the construction sector. The research also highlighted the main features of the BIPV model regarding energy generation, distribution, and consumption, as well as the advantages and challenges from environmental, economic, social, and technical aspects (Zomes, 2025). The results indicate that, in the Brazilian context, BIPV systems have great growth potential, contributing to the diversification of the energy matrix and the reduction of carbon footprints. The integration of solar energy into construction not only enables energy-efficient buildings but also represents a strategic advancement in Brazil's energy transition.

Keywords: Photovoltaic Energy; BIPV; Energy matrix; Sustainability; Environmental impacts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa solar global diário.	19
Figura 2 - Comparativo da participação das fontes renováveis na Oferta Interna de Energia.	20
Figura 3 - Matriz Elétrica.	21
Figura 4 - Geração de energia fotovoltaica distribuída no Brasil conforme categorias de consumo.....	
Figura 5 - Componentes da energia solar.	27
Figura 6 - Estrutura de um sistema fotovoltaico.....	28
Figura 7 - Sistema fotovoltaico isolado.....	29
Figura 8 - Esquema de uma Usina Solar Fotovoltaica.	29
Figura 9 - Capacidade de instalação anual dos principais mercados de energia fotovoltaica do mundo nos últimos anos, expressa em gigawatts no eixo vertical.	34
Figura 10 - Sistema BAPV aplicado a cobertura de uma edificação.....	38
Figura 11 - Leysin School Gynmasium.....	40
Figura 12 - Fachada composta por sistemas BIPV.....	41
Figura 13 - Exemplo de BIPV.....	42
Figura 14 - Copenhagen International School.....	43
Figura 15 - Sistema solar fotovoltaico interligado.	44
Figura 16 - Etapas do processo.....	45
Figura 17 - Módulos fotovoltaicos coloridos.	48
Figura 18 - Fábrica de módulos fotovoltaicos.....	49
Figura 19 - Painéis fotovoltaicos BIPV.....	50
Figura 20: Construção com fachada BIPV.....	50
Figura 21 - Laboratório de Energia Solar Fotovoltaica da UFSC em Florianópolis.....	51
Figura 22 - Laboratório Fotovoltaica/UFSC.	52
Figura 23 - Sistemas Fotovoltaicos.	53
Figura 24 - Gerador de energia solar e hidrogênio verde.	53
Figura 25 - Infraestrutura do laboratório.	54
Figura 26 - Fachada Fotovoltaica.	54
Figura 27 - Fachada do Instituto J&F.....	55
Figura 28 - Brises Fotovoltaicos.....	56
Figura 29 - Módulos fotovoltaicos do edifício.	57

Figura 30 - Fachada principal do Sungarden.....	58
Figura 31 - Brises fotovoltaicos verticais e pergolado semitransparente.	59
Figura 32 - Ábaco solar da cidade de Florianópolis - SC.....	59
Figura 33 - Irradiação solar nos planos da edificação.	60
Figura 34 - Análise de sombreamento.	61
Figura 35 - Condomínio residencial em Caxias do Sul/RS.	62
Figura 36 - Fachada principal.....	64
Figura 37 - Brises fotovoltaicos.	65
Figura 38 - Pergolado fotovoltaico.....	65
Figura 39 - Cobertura feita com painéis fotovoltaicos.	66
Figura 40 - Painéis Fotovoltaicas	67
Figura 41 - Custo médio de sistemas fotovoltaicos.	68
Figura 42 - Sistema de energia solar em residências.....	69
Figura 43 - Sistema de energia solar em comércios e pequenos negócios.	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Medidas tributárias projetadas no Brasil.....	23
Quadro 2 - Energia fotovoltaica por regiões do Brasil.....	25
Quadro 3 - Distribuição de energia solar fotovoltaica em diversos países.....	36

LISTA DE SIGLAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BAPV	<i>Building Applied Photovoltaics</i>
BIPV	<i>Building Integrated Photovoltaics</i>
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IEA	International Energy Agency
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
SIN	Sistema Interligado Nacional

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo geral	16
2.2	Objetivos específicos.....	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	Energia solar brasil	17
3.2	Sistemas fotovoltaicos.....	26
3.3	Progresso fotovoltaico global.....	32
3.4	Building attched applied photovoltaics – BAPV.....	36
3.5	Building integrated photovoltaics – BIPV.....	39
4	METODOLOGIA.....	45
4.1	Busca na literatura e eleboração de pesquisa	45
4.2	Seleção dos trabalhos	46
4.3	Coleta de dados.....	46
4.4	Análise dos resultados	47
5	RESULTADO S E DISCUSSÃO	48
5.1	Fabricação de módulos fotovoltaicos coloridos para a integração em fachadas de prédios 48	
5.2	Laboratório de energia solar fotovoltaica da UFSC	51
5.3	Instituto J&F	55
5.4	Construções sustentáveis Sungarden.....	57
5.5	Condomínio residencial	62
5.7	Estádio do Mineirão – Belo Horizonte/MG.....	66
5.8	Relação custo-benefício painéis fotovoltaicos	67
5.9	Benefícios e desafios do sistema fotovoltaico.....	71
6	CONCLUSÃO.....	72
	REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

A energia solar é uma das principais fontes de energia do nosso planeta. A quantidade de luz e calor que o sol emite é tão vasta que poderia atender às necessidades globais de energia milhares de vezes ao longo de um mesmo período, no entanto, a realidade é que apenas uma fração dessa energia é efetivamente aproveitada. Grande parte da energia consumida pelo ser humano tem sua origem oriunda do sol com poucas exceções notáveis (Villalva e Gazoli, 2012).

Santos (2013) ressalta a importância de utilizar fontes sustentáveis, como a energia solar fotovoltaica, para atender às necessidades energéticas das edificações, minimizando os impactos ao meio ambiente. A tecnologia de energia solar fotovoltaica já está bem estabelecida para a geração de eletricidade.

Para um país de vasta extensão territorial e alta incidência de radiação solar como o Brasil, a energia solar fotovoltaica desponta como uma das alternativas mais promissoras para a geração distribuída. O Brasil, devido à sua vasta extensão territorial e elevados índices de irradiação solar, apresenta condições altamente favoráveis para a geração de energia fotovoltaica. Com um potencial técnico estimado em 28.500 GW, o país se destaca como um dos mercados mais promissores para a expansão da energia solar (EPE, 2014).

Diante disso, o sistema solar fotovoltaicos integrado às edificações, denominado BIPV, representa uma solução inovadora e promissora para a transição energética no Brasil. A crescente demanda por eletricidade, aliada à busca por fontes renováveis e eficientes, tem estimulado pesquisas e desenvolvimentos nesse setor (ABSOLAR, 2022). É essencial que sejam implementadas políticas públicas e incentivos para promover a adoção ampla dessas soluções sustentáveis. Essas iniciativas não apenas ajudam a reduzir as emissões de gases poluentes, mas também fortalecem a segurança energética e impulsionam a criação de empregos no setor (Santos, 2013).

O desempenho energético de um edifício é frequentemente considerado o principal critério para sua certificação como sustentável. A integração de sistemas fotovoltaicos à estrutura do edifício, conhecida como Sistema Fotovoltaico Integrado à Construção (BIPV - *Building Integrated Photovoltaic*), oferece vantagens em relação ao método tradicional de instalação dos painéis solares. Além de gerar eletricidade renovável, os componentes do BIPV atuam como parte da própria construção, descentralizando o consumo de energia e melhorando a eficiência dos módulos fotovoltaicos. Essas características tornam o BIPV uma solução

eficiente e vantajosa para edifícios sustentáveis, pois não apenas geram energia, mas também contribuem para a redução dos custos operacionais e melhoram a estética e funcionalidade dos espaços (Schuetze, Roos, 2015).

Ao incentivar a implementação de sistemas fotovoltaicos, especialmente em áreas isoladas e em comunidades com acesso limitado à rede elétrica, pode-se reduzir também a dependência de fontes convencionais, como os combustíveis fósseis, minimizando os custos ambientais e econômicos associados a essas fontes (Silva, 2025).

Conforme destacado por Corti et al. (2020), a energia solar fotovoltaica tornou-se um elemento fundamental na transição energética, evidenciando sua capacidade de fornecer uma fonte de eletricidade distribuída e renovável.

Friedenreich (2005) ressalta que a crise do petróleo foi um catalisador para o avanço da tecnologia fotovoltaica no Brasil, estabelecendo as bases para a formação de uma indústria nacional neste campo. Contudo, apesar do progresso notável, persistem desafios a serem enfrentados para a adoção em larga escala do BIPV no Brasil.

Para a elaboração desta dissertação, foi conduzido um levantamento bibliográfico com o objetivo de compreender as pesquisas já realizadas sobre energia fotovoltaica no Brasil e em outras partes do mundo, além de explorar os aspectos dos sistemas em arquiteturas centralizadas e distribuídas. A análise descritiva textual baseou-se na consulta a livros, artigos, periódicos e reportagens.

Os resultados obtidos foram organizados e apresentados por meio de gráficos e tabelas, possibilitando uma exploração mais detalhada do tema e uma análise descritiva da inserção dos sistemas fotovoltaicos no Brasil. Além disso, são discutidos os benefícios e desafios da adoção desses sistemas, considerando aspectos como impacto e viabilidade econômica.

O trabalho também explora as tendências futuras da tecnologia fotovoltaica integrada, destacando seu papel na transição para uma matriz energética mais sustentável. Nesse contexto, as pesquisas nesta área buscam promover a adoção dessa tecnologia, analisar a composição arquitetônica da integração dos módulos fotovoltaicos às edificações, bem como os impactos dessa integração no desempenho do sistema fotovoltaico.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Realizar uma investigação sobre a implementação do sistema fotovoltaico integrado à construção (BIPV) no Brasil, avaliando as vantagens e desafios dessa tecnologia no contexto nacional.

2.2 Objetivos específicos

- Investigar o estado atual da tecnologia BIPV no Brasil, incluindo sua adoção, aplicação e desempenho em projetos de construção civil;
- Identificar os principais desafios e barreiras enfrentados na adoção do BIPV no contexto brasileiro, financeiras, tecnológicas e de conscientização;
- Investigar as perspectivas futuras do mercado de BIPV no Brasil;
- Avaliar a viabilidade econômica do BIPV em relação a outras soluções de energia renovável para construções no Brasil;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Energia solar brasil

Na busca pela sustentabilidade, as energias renováveis se aliam à eficiência energética, que visa reduzir o consumo sem comprometer o desempenho das atividades. Isso pode ser alcançado por mudanças nos hábitos dos usuários ou pela substituição de equipamentos por modelos mais eficientes (Geller, 2003).

Dentre as alternativas energéticas que se destacam para enfrentar os desafios futuros, a energia solar direta é especialmente promissora devido à sua ampla disponibilidade e acessibilidade. A radiação solar resulta de fenômenos físicos que são vitais para o equilíbrio energético do planeta. Essa radiação influencia significativamente a dinâmica atmosférica, incluindo as massas de ar e as correntes oceânicas. Além disso, é fundamental para o ciclo da água, impactando processos como evaporação e precipitação (Kaltmaier Junior, 2020).

A radiação solar também é crucial para a regulação do clima na Terra, uma vez que a distribuição desigual da energia solar entre diferentes regiões cria variações de temperatura. Essas variações, por sua vez, afetam os padrões de vento e as correntes oceânicas, sendo essenciais para a manutenção dos ecossistemas e da agricultura, já que determinam a disponibilidade de água e nutrientes para as plantas. Segundo Pinho e Galdino (2014), a energia solar é uma fonte de luz e calor amplamente disponível em escala global e ao longo do tempo. A crescente utilização da energia solar é impulsionada por sua abundância e pelo potencial que oferece como uma fonte limpa e renovável de energia. A radiação solar que atinge a superfície terrestre é composta por dois tipos principais: a radiação direta e a radiação difusa.

A radiação direta refere-se à energia que viaja em linha reta do Sol para a Terra, sem sofrer interferência significativa da atmosfera. Em contrapartida, a radiação difusa é resultado do espalhamento da luz solar por gases e partículas presentes na atmosfera, irradiando-se de diversas direções (Kaltmaier Junior, 2020). A energia solar se destaca como uma fonte de energia extremamente abundante, apresentando a vantagem de não liberar poluentes durante seu uso. Isso a torna um componente vital na redução das emissões de carbono e no combate às alterações climáticas, sem causar danos ao meio ambiente. Além dos seus benefícios ecológicos, a energia solar é uma alternativa eficaz para atender à demanda de eletricidade em

áreas remotas e não eletrificadas, especialmente em países como o Brasil, que possui altos índices de radiação solar em grande parte de seu território (Pereira, 2006).

Segundo o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL, 2006), a quantidade de energia solar que atinge a superfície terrestre é 10.000 vezes maior do que o consumo atual de energia primária em todo o mundo. A principal característica favorável da energia solar é sua vasta disponibilidade em diversas regiões do planeta.

Considerada uma fonte extremamente abundante, a energia solar não produz emissões de gases de efeito estufa durante sua operação. Essa característica é crucial para a redução das emissões de carbono e para o enfrentamento das mudanças climáticas, preservando ao mesmo tempo o ecossistema global. Muitas vezes, a energia solar é uma solução prática para atender à demanda energética em áreas periféricas ainda não eletrificadas, principalmente em países como o Brasil, que possui alta incidência de luz solar em grande parte de seu território (Pereira, 2006). A expansão da energia solar contribui para a diversificação da matriz energética nacional e auxilia na redução das emissões de poluentes atmosféricos, promovendo a sustentabilidade do setor energético. Entretanto, o Brasil enfrenta uma crise energética, exacerbada pela falta de chuvas, resultando na diminuição dos níveis nos reservatórios das hidrelétricas. Isso gerou um aumento nas tarifas de eletricidade, já que o país precisa recorrer a usinas térmicas, que apresentam custos mais altos e impactos ambientais significativos (Soares e Costa, 2022).

A adoção de sistemas fotovoltaicos em edificações urbanas no Brasil pode ser crucial para a promoção dessa tecnologia. As áreas urbanas apresentam altos níveis de consumo energético, especialmente no meio-dia, quando há uma maior demanda por sistemas de climatização. Integrar sistemas fotovoltaicos nas cidades possibilita a geração de energia próximo aos pontos de consumo, reduzindo os picos de carga nas redes elétricas durante os momentos de intensa incidência solar (Jardim et al., 2008).

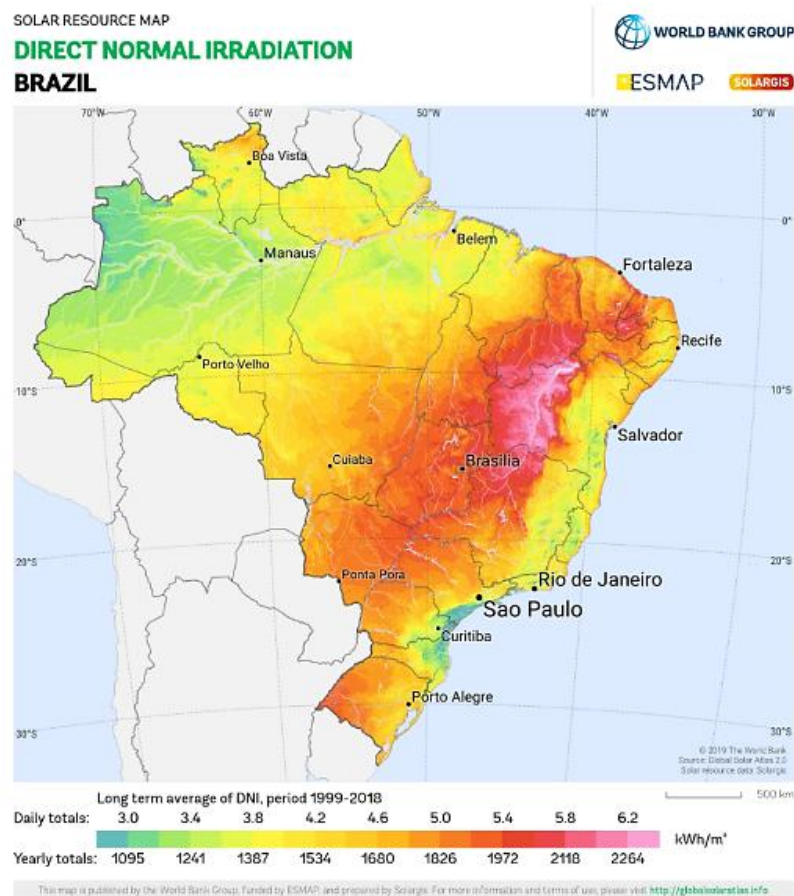
A crescente dependência das usinas termelétricas coloca o Brasil em uma situação crítica. Por um lado, o aumento das despesas com a geração de eletricidade reflete-se diretamente nas tarifas, impactando consumidores e setores produtivos. A atual crise hídrica, descrita pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) como a mais severa desde 1930, agrava ainda mais o cenário. Segundo o ONS, nos últimos sete anos, os reservatórios das usinas hidrelétricas apresentaram volumes de água abaixo da média histórica, intensificando a necessidade de fontes complementares de energia, como as termelétricas (ONS, 2021).

De acordo com Flanagan e Cunha (2002), foram implementadas iniciativas em colaboração com concessionárias de energia e outras instituições para abordar o problema do acesso à energia elétrica em várias regiões do Brasil.

Dentre essas aplicações, destacam-se a energia térmica solar e a energia fotovoltaica. A primeira converte a radiação solar em calor útil, como demonstrado pelos coletores solares térmicos, enquanto a segunda realiza a conversão direta da luz solar em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico (Kaltmaier Junior, 2020).

É importante enfatizar o vasto potencial para a captação da radiação solar em todo o território brasileiro. Essa capacidade é evidenciada no mapa de radiação solar anual do país, disponível no Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos, 2000 a Figura 6. Esse potencial torna a aplicação de sistemas de captação solar altamente viável, não apenas no modelo convencional, como em coberturas de edificações, mas também explorando diversas outras possibilidades, aplicando esse sistema em estruturas e elementos arquitetônicos.

Figura 1 - Mapa solar global diário.

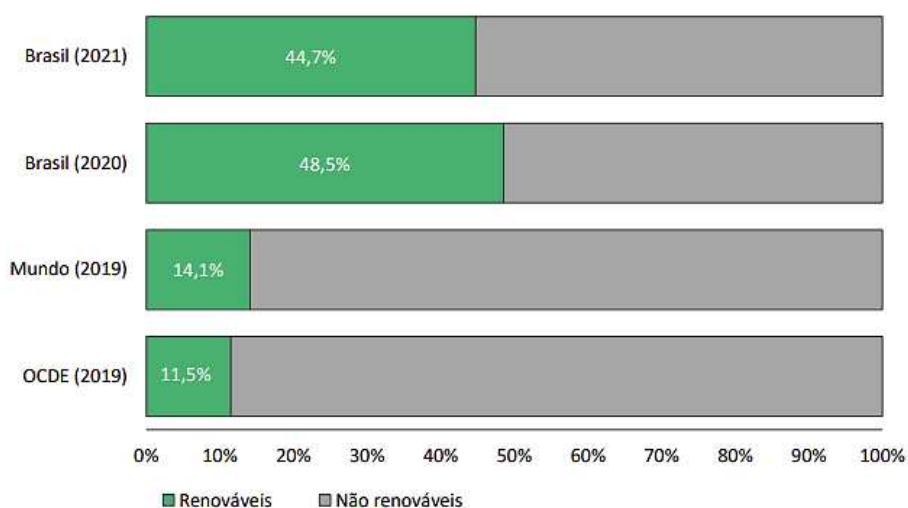


Fonte: Atlas Solar, (2025).

Na Figura 1, ainda apresenta que a região nordeste apresenta os mais elevados índices anuais de radiação solar, destacando-se por seu enorme potencial energético. Essa condição favorece a implementação de vários projetos de captação solar em prédios altos, com o objetivo de produzir energia suficiente para satisfazer as demandas de conforto ambiental dos usuários, além de promover a eficiência no uso da energia.

É importante também reconhecer o significativo potencial da radiação solar nos sistemas de captação em todo o Brasil. Segundo o Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional (BEN), publicado anualmente pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) em 2022, a crescente adoção de fontes eólicas e solares para a geração de eletricidade, juntamente com o uso de biodiesel, foi essencial para manter a renovabilidade da matriz energética brasileira em 44,7%. Esse índice supera consideravelmente a média global, que foi de 14,1% em 2019 Figura 2. Essa evolução não apenas reflete o compromisso do Brasil em direção a uma matriz energética mais sustentável, mas também destaca o potencial do país para liderar iniciativas ecológicas no setor energético.

Figura 2 - Comparativo da participação das fontes renováveis na Oferta Interna de Energia.



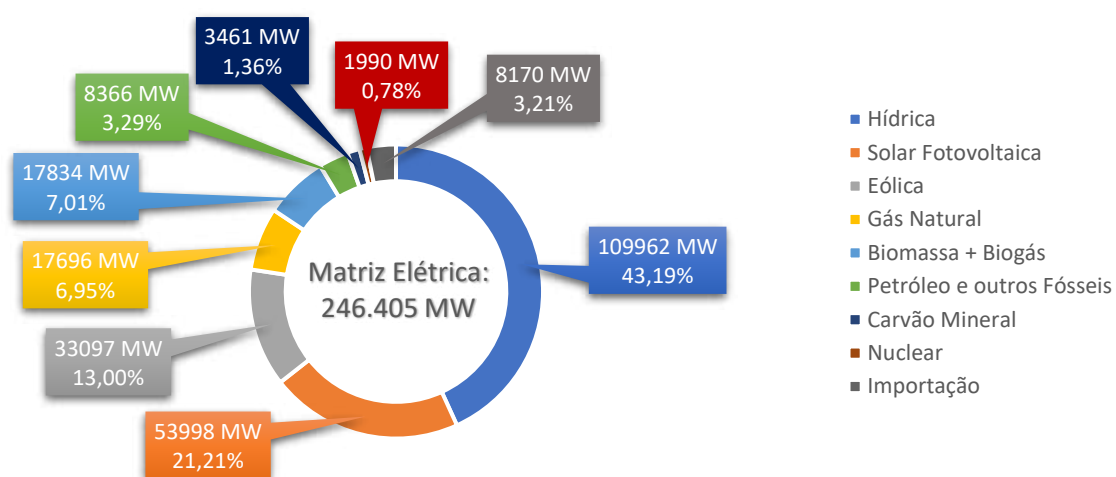
Fonte: Brasil, (2022).

Conforme demonstrado na Figura 2, o Brasil se destaca pela significativa participação de fontes renováveis em sua oferta interna de energia, superando as médias mundiais e da OCDE. A matriz energética brasileira, composta principalmente por hidrelétricas e biomassa, demonstra um compromisso com a sustentabilidade. A diversificação das fontes de energia,

incluindo a crescente contribuição da energia eólica, contribui para a segurança energética do país, ao complementar a oferta de eletricidade e reduzir a dependência de fontes não renováveis. A busca por um equilíbrio entre fontes renováveis e não renováveis é essencial para garantir a estabilidade e a resiliência do sistema energético brasileiro, adaptando-se às demandas futuras e às mudanças no cenário energético global (Absolar, 2024).

Ademais, conforme a Figura 3 a matriz energética diversificada do Brasil aumenta sua capacidade de resistência frente a desafios climáticos e econômicos. Assim, ao aprimorar sua matriz energética, o Brasil avança em direção a um futuro mais sustentável, contribuindo simultaneamente para os esforços globais de mitigação das mudanças climáticas, reafirmando seu compromisso com a conservação ambiental e o desenvolvimento sustentável.

Figura 3 - Matriz Elétrica.



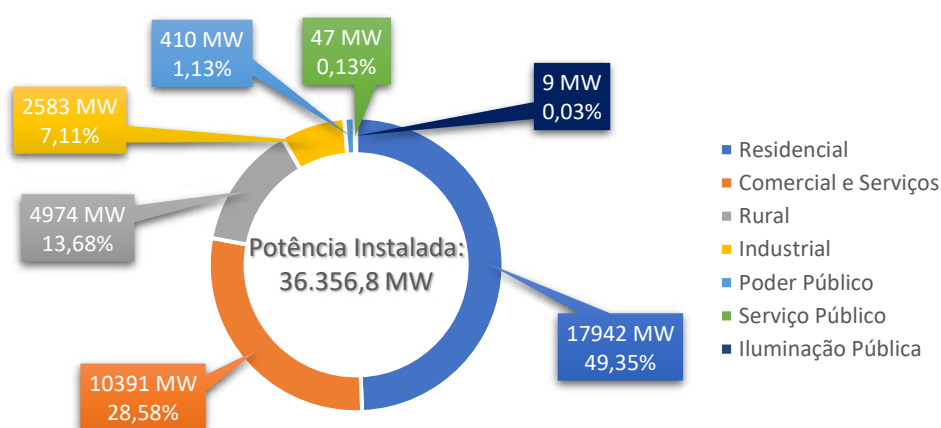
Fonte: Adaptado de Absolar (2025).

Conforme informações da Absolar, o Brasil conta com mais de 93.597 sistemas de energia solar fotovoltaica conectados à rede elétrica, totalizando um investimento que ultrapassa R\$5,6 bilhões. Esses sistemas estão implantados em diversas edificações, incluindo residências, comércios, indústrias, propriedades rurais, prédios públicos e pequenas propriedades (Absolar, 2025).

Como mostrado na Figura 4, os usuários residenciais representam a maior parte das instalações, com 49,35% do total. O setor comercial e de serviços vem em segundo lugar, correspondendo a 28,58% das instalações (Absolar, 2024). Esse aumento na utilização da energia solar não apenas demonstra um compromisso com a sustentabilidade, mas também reflete o desejo de reduzir despesas com eletricidade e conquistar uma maior autonomia

energética. O progresso nas tecnologias fotovoltaicas, aliado a incentivos governamentais, tem sido um fator fundamental para esse crescimento, facilitando a transição para uma matriz energética mais limpa e eficiente. A ampliação das utilizações da energia solar em diversos segmentos sinaliza um horizonte otimista para a geração distribuída, reforçando a segurança energética nacional.

Figura 4 - Geração de energia fotovoltaica distribuída no Brasil conforme categorias de consumo



Fonte: Adaptada de Absolar, (2025).

Embora a contribuição da energia solar fotovoltaica na matriz energética do Brasil ainda seja modesta em comparação a outras fontes, o setor tem demonstrado um crescimento notável. A localização geográfica favorável do país, caracterizada por altos índices de irradiação solar, posiciona o Brasil como um dos líderes na produção de energia solar, evidenciando um grande potencial para a expansão dessa fonte renovável (Pereira, 2019).

Além disso, a rápida adoção da energia solar é alimentada por inovações tecnológicas e pela diminuição dos custos, tornando essa fonte cada vez mais viável tanto para residências quanto para empresas. Políticas públicas favoráveis e investimentos em infraestrutura podem consolidar ainda mais essa transição, possibilitando uma matriz energética mais limpa e sustentável para o Brasil (Absolar, 2024).

Na sequência, serão discutidas algumas medidas tributárias que, segundo as previsões de Rosa e Herrero (2016), poderiam facilitar o acesso da população a sistemas fotovoltaicos. Os autores analisam diferentes cenários, avaliando o impacto de potenciais alterações nas políticas fiscais. Por exemplo, quais seriam as consequências de uma diminuição dos tributos sobre os módulos solares ou se o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) relacionado à eletricidade gerada a partir da energia solar fosse reduzido em todos os estados do país, conforme destacado no Quadro 1. Tais iniciativas poderiam impulsionar significativamente a adoção de soluções solares no Brasil.

O incentivo à instalação de painéis solares em residências e comércios também pode gerar empregos e impulsionar a economia local, promovendo um ciclo virtuoso de desenvolvimento sustentável. Portanto, essas medidas não apenas facilitariam o acesso à energia solar, mas também contribuiriam para a transição do Brasil rumo a um futuro energético mais sustentável e resiliente.

Quadro 1 - Medidas tributárias projetadas no Brasil.

TRIBUTO	PROJEÇÃO	IMPACTO ESPERADO ATÉ 2030
Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana (IPTU)	Analisa os impactos de um abatimento fiscal de até 25 anos para residências que adotarem sistemas fotovoltaicos.	O impacto seria significativo principalmente em grandes centros urbanos, onde o valor das propriedades é mais elevado, tornando os descontos mais relevantes. No entanto, para áreas rurais, o efeito dessas medidas seria limitado, com pouca influência sobre a adoção da tecnologia, devido ao menor valor dos imóveis e à demanda reduzida.

TRIBUTO	PROJEÇÃO	IMPACTO ESPERADO ATÉ 2030
Programa de Integração Social (PIS), Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) e Imposto de Importação.	Considera-se a isenção de tributos como PIS/COFINS, IPI e II sobre os principais componentes dos sistemas fotovoltaicos.	A isenção de PIS, COFINS e Imposto de Importação (II) sobre os módulos fotovoltaicos, juntamente com a isenção de IPI sobre os inversores, poderia resultar em um aumento de 18% nas instalações de painéis solares até 2030.
Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS).	Considera-se a isenção do ICMS sobre a eletricidade gerada por pessoas físicas ou jurídicas.	Até 2015, pelo menos onze estados já haviam aprovado a isenção do ICMS. Caso os demais estados também adotassem essa medida, o crescimento nas instalações de sistemas fotovoltaicos poderia alcançar 8,2%. Por outro lado, se não implementassem a isenção, o crescimento seria reduzido a apenas 5%.

Fonte: Rosa e Herrero, (2016).

No Brasil, a geração distribuída tem a capacidade de fornecer eletricidade a comunidades sem acesso à rede elétrica, especialmente em locais isolados ou remotos, utilizando sistemas autônomos (off-grid). As condições climáticas são um fator crucial na eficiência da produção de energia solar fotovoltaica. Vários elementos, como altas temperaturas, presença de nuvens e chuvas, podem impactar negativamente o funcionamento dos painéis solares. O país exibe uma diversidade regional significativa, com cada área apresentando características climáticas únicas, que vão desde regiões mais úmidas e temperadas até locais secos e quentes. Para ilustrar esses aspectos climáticos e suas repercussões no desempenho da geração de energia, foi elaborado o Quadro 2, fundamentado em diversas pesquisas.

Quadro 2 - Energia fotovoltaica por regiões do Brasil.

REGIÕES	ASPECTOS
NORDESTE	A Região Nordeste do Brasil apresenta uma diversidade climática que abrange desde o equatorial até o tropical e o semiárido. Essa área se destaca por ser uma das que mais recebe radiação solar no país, com temperaturas anuais que variam entre 20° e 28° C. As chuvas na região variam de 300 a 2000 mm por ano, com a maioria das precipitações ocorrendo em apenas alguns meses. Essa distribuição irregular resulta em longos períodos de seca, tornando a região a mais árida do Brasil. Apesar de seu elevado potencial de radiação solar, a eficiência dos painéis fotovoltaicos para converter essa energia pode ser afetada pelas condições climáticas, mesmo com as altas temperaturas (Mattos, 2018).
NORTE	A Região Norte do Brasil apresenta um clima equatorial caracterizado por temperaturas médias anuais que variam entre 24° e 26° C, e um índice de precipitação que oscila entre 2.000 e 3.000 mm anualmente. Esta região é reconhecida como a mais úmida do país, em grande parte devido à sua rica cobertura da floresta Amazônica. Apesar do alto potencial de radiação solar disponível para a geração de energia fotovoltaica, a frequência das chuvas intensas pode prejudicar a eficiência dos painéis solares (Pereira, 2017).
CENTRO-OESTE	A região Centro-Oeste do Brasil apresenta um clima predominantemente quente, assemelhando-se ao do Nordeste. Durante o verão, essa área registra aproximadamente 70% de suas precipitações anuais, enquanto no inverno é caracterizada por uma severa estiagem. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), essa localização é altamente favorável para a geração de energia solar fotovoltaica, devido a diversos fatores, com ênfase nas condições climáticas propícias.
SUDESTE	A região Sudeste do Brasil apresenta uma variação climática que mescla traços de um clima quente, típico das baixas latitudes, com características de um clima temperado, comum nas médias latitudes subtropicais. Essa variedade climática possui elementos particulares que podem facilitar a ocorrência de granizo. Nos meses de verão, a região concentra

REGIÕES	ASPECTOS
	aproximadamente 70% de sua precipitação anual, enquanto o inverno é marcado por períodos de seca. Contudo, certos aspectos desse clima, como a formação de nuvens espessas e as chuvas de granizo, podem impactar negativamente o desempenho dos módulos fotovoltaicos (Pereira, 2017).
SUL	A região Sul do Brasil caracteriza-se por um clima que mescla características subtropicais, tropicais e temperadas, resultando em estações do ano bem definidas. A temperatura média anual oscila entre 16° e 22° C, um fator que pode contribuir para a eficiência dos módulos fotovoltaicos, já que esse ambiente ameno é favorável ao seu funcionamento (Lima, 2015). Entretanto, apesar dessas condições favoráveis, esta região apresenta a menor média de incidência de radiação solar, o que é atribuído à sua localização geográfica.

Fonte: Autoria própria, (2024).

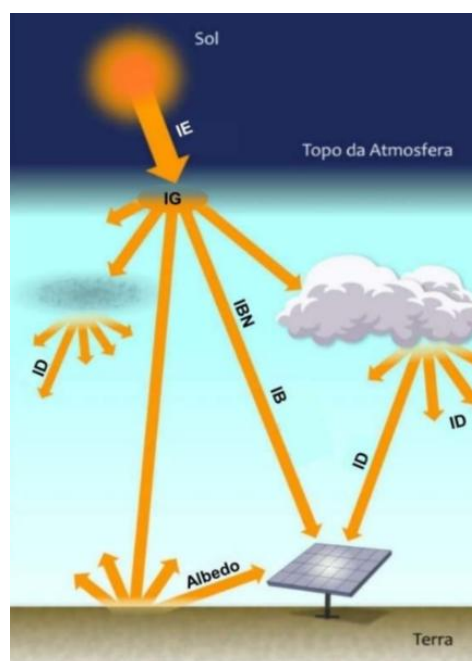
De acordo com o Quadro 2, todas as regiões do Brasil possuem capacidade para gerar energia solar fotovoltaica, embora algumas apresentem condições mais propícias. Um estudo recente da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) avaliou o potencial do país na produção dessa fonte de energia. Os resultados desse estudo indicam que regiões com maior incidência solar, como o Nordeste e parte do Centro-Oeste, possuem um potencial mais elevado para a geração de energia fotovoltaica. Fatores como a radiação solar disponível, a topografia e a infraestrutura elétrica influenciam a viabilidade e a eficiência dos sistemas instalados. Além disso, a expansão da energia solar no Brasil tem sido impulsionada por avanços tecnológicos, incentivos governamentais e a crescente demanda por fontes renováveis e sustentáveis.

3.2 Sistemas fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos captam a radiação solar através de painéis, que geram corrente elétrica. Esta energia é então convertida em corrente alternada por meio de inversores solares, tornando-a disponível para uso imediato, podendo também ser armazenada ou acumulada em forma de créditos de energia para utilização futura (Canton, 2018).

No entanto, quando o Sol se aproxima do horizonte, a radiação percorre uma camada atmosférica mais espessa, resultando em maiores perdas e na diminuição da energia recebida. Dessa forma, a captação eficiente da energia solar depende tanto das condições atmosféricas quanto da posição do Sol, fatores fundamentais no dimensionamento e na otimização de sistemas solares. A Figura 5 ilustra essa interação entre a Terra e a atmosfera (Pereira, 2006).

Figura 5 - Componentes da energia solar.



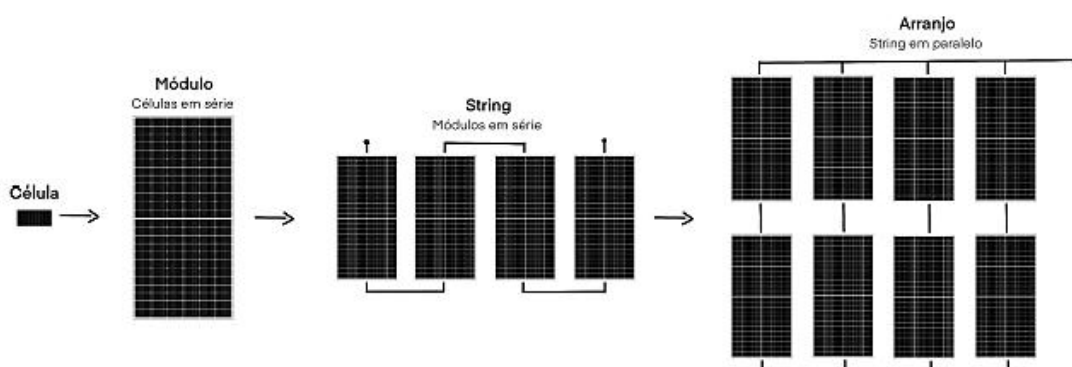
Fonte: Calca (2019).

Um sistema fotovoltaico é um conjunto de equipamentos integrados que convertem a energia solar em energia elétrica. A conversão ocorre por meio dos módulos fotovoltaicos, que podem ser conectados em série e/ou paralelo para formar um arranjo fotovoltaico, ajustando os níveis de tensão e corrente conforme a necessidade. Além dos módulos, que desempenham o papel central na conversão da energia solar, o sistema inclui componentes essenciais, como baterias, controladores de carga, inversores, além de dispositivos de proteção, monitoramento e manobra (Cassares, 2016).

A compreensão aprofundada da tecnologia fotovoltaica é essencial para impulsionar a pesquisa e a inovação no setor. Segundo Canton (2018), um módulo fotovoltaico é descrito como uma unidade essencial composta por um conjunto de células fotovoltaicas interligadas eletricamente e encapsuladas, com o propósito de gerar eletricidade. A configuração dessas células para formar um único módulo é ilustrada na Figura 6.

Com base nesse conhecimento técnico, podemos desenvolver estratégias mais eficazes para a expansão da energia solar no Brasil. Ademais, a criação de uma estratégia nacional sólida poderia acelerar a pesquisa e a inovação nesse segmento, posicionando o Brasil como um líder no desenvolvimento e na aplicação de tecnologias solares. Tal avanço não somente traria benefícios econômicos locais, mas também contribuiria de maneira significativa para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa, alinhando-se às metas globais de sustentabilidade (Pereira, 2019).

Figura 6 - Estrutura de um sistema fotovoltaico.

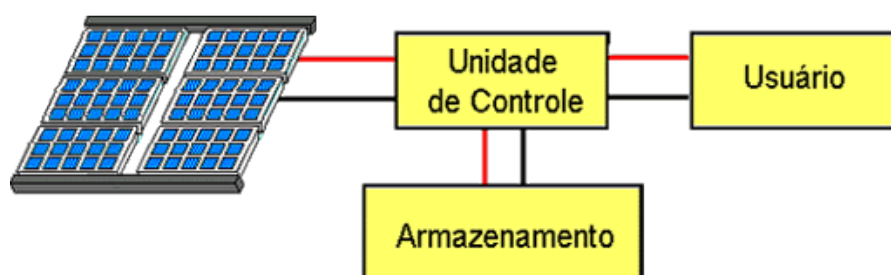


Fonte: Rodrigues (2023).

Como mostra a Figura 7 os sistemas fotovoltaicos isolados são empregados em locais onde a expansão da rede elétrica é inviável, seja por questões econômicas ou técnicas (Pinho; Galdino, 2014). Esses sistemas consistem em um gerador fotovoltaico, responsável por captar a energia solar, e um banco de baterias, que armazena a energia para suprir a demanda quando a geração solar for insuficiente para atender todas as cargas conectadas.

Entre as desvantagens do sistema fotovoltaico, destaca-se a dependência das condições climáticas. Em períodos prolongados de baixa incidência solar, como dias consecutivos de chuva, a disponibilidade de energia pode ser reduzida. Além disso, o tamanho e o peso do banco de baterias podem representar um desafio, especialmente em locais de difícil acesso, onde o transporte e a instalação do sistema se tornam mais complexos (Pinho e Galdino, 2014).

Figura 7 - Sistema fotovoltaico isolado.



Fonte: CRESESB, (2014).

Uma estação de energia fotovoltaica, também chamada de parque solar ou usina solar, é um sistema de grande porte desenvolvido para gerar e fornecer energia elétrica à rede por meio de painéis fotovoltaicos. A Figura 8 ilustra um exemplo desse sistema de geração de energia.

Figura 8 - Esquema de uma Usina Solar Fotovoltaica.



Fonte: Oliytech (2018).

O Brasil possui um imenso potencial para gerar energia, beneficiando-se de altos índices de irradiação solar e se destacando como um dos principais produtores de silício no mundo, um componente vital na fabricação de painéis solares. O país também é reconhecido por suas variadas fontes de energia renováveis (Geller, 2003).

Os incentivos financeiros voltados para equipamentos específicos, juntamente com o Centro Brasileiro para Desenvolvimento de Energia Solar Fotovoltaica (CB-Solar), desempenham um papel fundamental na promoção da energia solar fotovoltaica em sistemas conectados à rede elétrica. Apesar de existirem projetos de pesquisa em andamento no Brasil, a maioria concentrada em instituições acadêmicas e de pesquisa, além de algumas iniciativas no setor privado, essas ações ainda necessitam de uma coordenação mais eficaz, alinhada a uma política pública bem definida e de longo prazo (Jannuzzi et al., 2009).

Para impulsionar ainda mais o setor, é crucial reconhecer o papel dos incentivos financeiros para equipamentos específicos, em conjunto com o Centro Brasileiro para Desenvolvimento de Energia Solar Fotovoltaica (CB-Solar), na promoção da energia solar fotovoltaica em sistemas conectados à rede elétrica. Contudo, apesar do avanço representado por esses incentivos e dos projetos de pesquisa em andamento no Brasil, majoritariamente concentrados em instituições acadêmicas e algumas iniciativas privadas, a efetividade plena desse crescimento depende de uma coordenação mais robusta e de uma política pública de longo prazo bem definida (Jannuzzi et al., 2009).

A durabilidade dos painéis solares é frequentemente considerada bastante positiva. De acordo com Dias (2015), a vida útil dos módulos solares oscila entre 20 e 25 anos, sendo essa variação influenciada principalmente pelo fabricante e pelos materiais empregados em sua fabricação.

Complementando essa informação, Almeida (2017) observa que as placas fotovoltaicas podem alcançar uma vida útil de 20 a 30 anos. No entanto, com o aumento da adoção dessa tecnologia, surge uma nova preocupação: a destinação adequada desses materiais ao final de seu ciclo de vida útil. Portanto, a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias de reciclagem são essenciais para assegurar que o crescimento da energia solar seja sustentável em todos os seus aspectos.

Adicionalmente, a criação de leis e regulamentações específicas para sistemas fotovoltaicos no Brasil é fundamental por várias razões, abrangendo questões técnicas, econômicas e ambientais. É importante destacar alguns postos-chave que exemplificam essa relevância:

- a) **Padrões Técnicos e Segurança:** As legislações e regulamentos definem critérios técnicos e de segurança para a instalação de sistemas fotovoltaicos. Essas diretrizes asseguram que as instalações sejam realizadas de maneira adequada, reduzindo a probabilidade de incêndios, choques elétricos e outros riscos que podem ser prejudiciais (Silva; Araújo, 2017).
- b) **Estímulo ao Investimento:** Um marco regulatório bem estruturado pode proporcionar benefícios fiscais para a instalação de sistemas fotovoltaicos, tornando essa opção mais atraente tanto para residências quanto para empresas. Esses incentivos são fundamentais para impulsionar a adoção da energia solar no país (INMETRO, 2020).
- c) **Conexão com a Rede Elétrica:** As leis estabelecem os processos para a conexão de sistemas fotovoltaicos à rede elétrica. Essa regulamentação é crucial para garantir a estabilidade do sistema elétrico e possibilitar que os proprietários de sistemas solares vendam a energia excedente que geram de volta à rede (ANEEL, 2021).
- d) **Proteção ao Consumidor:** As regulamentações também desempenham um papel importante na proteção dos consumidores, assegurando que eles tenham acesso a informações transparentes sobre custos, vantagens e responsabilidades envolvidas na instalação e operação de sistemas fotovoltaicos. Isso ajuda a prevenir práticas enganosas no setor solar (IDEC, 2020).

Assim, as abordagens destinadas à redução do consumo de energia, por meio de intervenções na arquitetura, devem ser vistas como a base para qualquer novo projeto ou reforma. Isso implica a adoção de uma "arquitetura bioclimática", que busca otimizar o uso dos recursos naturais e adaptar a edificação ao clima local, garantindo o conforto dos seus ocupantes. Nesse contexto, é altamente recomendável que os edifícios integrem efetivamente a

energia solar, considerando tanto as necessidades térmicas quanto elétricas (Cassares, 2016; Pereira, 2019).

É crucial incluir tanto as aplicações de energia solar passiva quanto as soluções fotovoltaicas, garantindo que estejam harmoniosamente integradas ao projeto arquitetônico (Ferrer e Garrido, 2013). Ao considerar a energia solar como um componente essencial do design arquitetônico, as edificações podem se tornar mais autossuficientes e resilientes, promovendo um futuro mais sustentável e em harmonia com o meio ambiente.

3.3 Progresso fotovoltaico global

Nos últimos anos, a energia solar fotovoltaica experimentou um crescimento significativo, impulsionado especialmente por nações como o Japão e países europeus que foram pioneiros neste setor. Essas nações tiveram um papel crucial na drástica redução dos custos associados a essa tecnologia, uma evolução resultante de inovações tecnológicas e das economias de escala, fenômeno que pode ser compreendido pela curva de aprendizado do mercado (Maia, 2018).

Além disso, a implementação de políticas públicas favoráveis, como incentivos fiscais e subsídios, foi fundamental para a expansão do setor de energia solar. A soma desses fatores não apenas facilitou o acesso à tecnologia, mas também estimulou um aumento nos investimentos em pesquisa e desenvolvimento, promovendo inovações que elevaram a eficiência dos sistemas fotovoltaicos (IEEE, 2019).

No contexto global, os Estados Unidos se destacam como o maior produtor de energia solar, enquanto a China tem demonstrado um crescente interesse pela geração distribuída. Segundo a Agência Internacional de Energia (2018), os investimentos em energia solar fotovoltaica na China têm crescido de forma notável, posicionando o país como um dos principais mercados desse setor (Maia, 2018).

O programa "Million Solar Roofs Plan" foi lançado pela Califórnia com o objetivo de instalar sistemas fotovoltaicos em um milhão de telhados, visando atingir 18 GWp de potência até 2018. Para apoiar esse esforço, o Departamento de Energia dos Estados Unidos anunciou um investimento de US\$ 17,6 milhões em seis empresas do setor energético, com o intuito de tornar a energia fotovoltaica mais competitiva por meio de inovações tecnológicas. Além disso, 40 estados adotaram o sistema de net metering, e o governo federal implementou políticas de

incentivo, como taxas de financiamento reduzidas e deduções fiscais para sistemas fotovoltaicos. Com o contínuo crescimento da energia solar, estima-se que, em 2022, a energia solar representará 30% da matriz energética global (IEA, 2022).

A China lidera a produção e o consumo de energia solar no mundo, desempenhando um papel essencial na transição energética global. Em 2023, o país adicionou aproximadamente 216,8 GW de capacidade solar, consolidando-se como a maior potência na geração dessa fonte renovável. Além disso, o governo chinês mantém incentivos robustos para o setor, reduzindo significativamente os custos da tecnologia fotovoltaica e tornando-a mais acessível para residências e indústrias. Como resultado, a China é responsável pelo consumo de mais de 50% da produção mundial de painéis solares (Irena, 2024).

A dependência da China em relação à energia solar é parte de uma estratégia maior de independência energética e sustentabilidade. Para sustentar esse crescimento, são necessárias atualizações contínuas na infraestrutura elétrica, incluindo redes inteligentes e sistemas de armazenamento eficientes. Com a continuidade dos investimentos e das políticas de incentivo, o país se mantém no caminho para consolidar uma matriz energética mais limpa e sustentável (Irena, 2024).

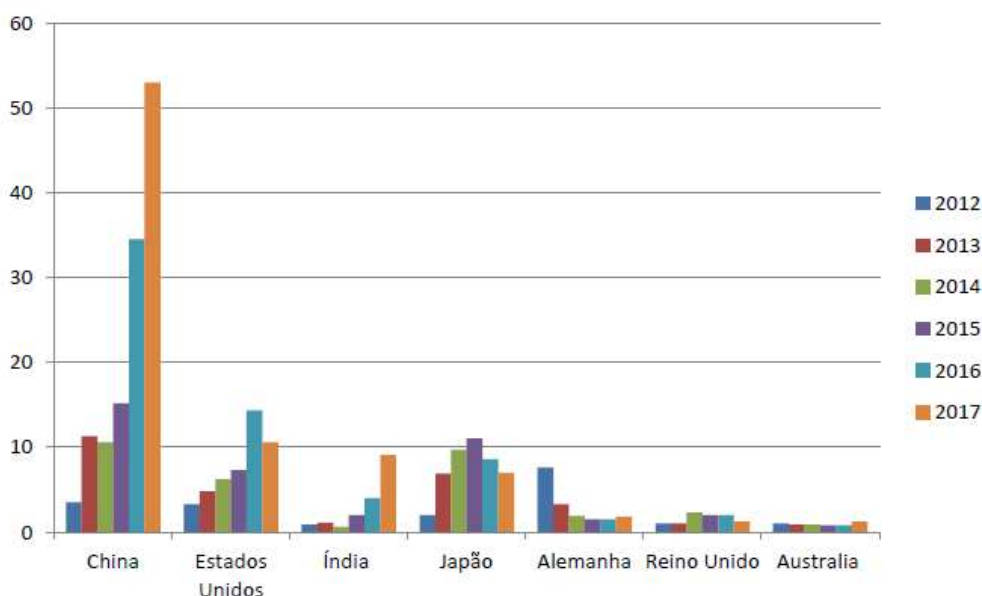
Em 1991, na Alemanha, foi instituída a Lei de Alimentação na Rede (Stromeinspeisungsgesetz), que marcou o início da venda de energia proveniente de geração distribuída. Com essa legislação, as concessionárias passaram a ser obrigadas a adquirir toda a energia gerada por sistemas fotovoltaicos, compensando os consumidores por meio de tarifas feed-in. Essa política estabeleceu um preço premium para a eletricidade gerada por fontes renováveis, garantindo retorno financeiro aos produtores e incentivando a expansão da energia solar no país (IEA, 2013).

No ano 2000, uma nova legislação foi aprovada, determinando que as companhias elétricas deveriam remunerar os consumidores em dinheiro pelo excedente de energia gerada por sistemas de microgeração, além dos créditos energéticos já estabelecidos anteriormente. Essa iniciativa fortaleceu ainda mais o setor, reduzindo a dependência de fontes fósseis e estimulando a transição para uma matriz energética sustentável. (IEA, 2013).

Conforme demonstrado na figura 9, a China se destaca como a líder global em instalações de energia solar fotovoltaica, experimentando um crescimento acentuado entre 2016 e 2017. O país é responsável por aproximadamente 32% da capacidade instalada em todo o mundo, consolidando sua posição de destaque no setor. Em contraste, os Estados Unidos

observaram uma leve queda nas instalações nesse mesmo período. Enquanto isso, a Índia, posicionada como a terceira maior potência, apresentou um aumento considerável em sua capacidade fotovoltaica ao longo do intervalo analisado (IEA, 2021).

Figura 9 - Capacidade de instalação anual dos principais mercados de energia fotovoltaica do mundo nos últimos anos, expressa em gigawatts no eixo vertical.



Fonte: IEA, 2021.

O rápido avanço da energia solar fotovoltaica levou a um impressionante crescimento na capacidade instalada global, que aumentou cem vezes nos últimos quinze anos. Esse desenvolvimento foi impulsionado pela criação de uma cadeia de suprimentos integrada e de grande escala para a energia solar. Segundo a Agência Internacional de Energia Renovável (Irena, 2021), a capacidade instalada de energia solar fotovoltaica deve ultrapassar 5.200 gigawatts (GW) até 2030 e alcançar 14.000 GW em 2050, em comparação aos 707 GW registrados em 2021. Esse crescimento representará cerca de 43% da capacidade global de geração de energia no futuro.

No contexto da América Latina, o Brasil se destaca como o maior mercado de energias renováveis (IEA, 2021) e figura entre os maiores produtores e consumidores de energia do mundo (Enerdata, 2019). Contudo, no que diz respeito à energia solar fotovoltaica, sua participação ainda é modesta em comparação com as nações líderes no setor. Fatores como a necessidade de investimentos robustos em infraestrutura, a implementação de políticas públicas

mais eficazes e o aumento da conscientização sobre os benefícios da energia solar explicam esse cenário.

Embora o Brasil possua um alto potencial de irradiação solar, superando muitos países da Europa, a adoção de tecnologias solares enfrenta obstáculos, como a falta de incentivos adequados e dificuldades na cadeia de suprimentos. No entanto, a localização geográfica do país, na zona intertropical, garante uma irradiação solar estável ao longo do dia, o que favorece o desenvolvimento da energia solar. Esse elevado potencial solar, combinado com a estabilidade da irradiação, cria condições ideais para o crescimento de projetos fotovoltaicos em várias regiões, permitindo uma maior utilização dessa fonte de energia limpa e renovável. De acordo com o estudo da Solar and Wind Energy Resource Assessment (Camargo, 2015), a média diária de irradiação solar no Brasil é superior à de países como Alemanha, França e Espanha, que já adotaram a tecnologia fotovoltaica de forma significativa. Durante os períodos de máxima radiação, a intensidade da irradiação solar no Brasil pode ser quase o dobro da registrada na Alemanha.

Além disso, a vasta extensão territorial do Brasil oferece condições ainda mais favoráveis para a implementação de sistemas fotovoltaicos, aumentando o potencial do país em comparação com nações como a Alemanha. Exemplos de sucesso na adoção da energia solar vêm de países como China, Estados Unidos, Japão e Índia, que têm investido na construção de grandes usinas solares centralizadas. A geração centralizada de energia solar é predominante no cenário global, especialmente nos Estados Unidos e na China, que operam um número significativo de usinas solares.

O Quadro 3 ilustra cenários globais da geração distribuída, ressaltando tanto as oportunidades quanto os desafios que esse setor enfrenta em todo o mundo.

Quadro 3 - Distribuição de energia solar fotovoltaica em diversos países.

PAÍSES	CENÁRIO
ESTADOS UNIDOS	Atualmente, os Estados Unidos se destacam como um dos principais líderes globais na geração de energia fotovoltaica distribuída. Esse progresso é resultado de uma combinação de fatores, incluindo a desburocratização das normas regulatórias, o aumento da participação do setor privado e as políticas estaduais direcionadas que têm sido implementadas (EPA, 2017).
CHINA	Nos últimos tempos, o governo chinês tem adotado medidas para promover o desenvolvimento dos sistemas de geração de energia fotovoltaica distribuída. Essas iniciativas envolvem a formulação de novas diretrizes e a implementação de diferentes modelos de negócios, coordenadas pela Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma (NDRC) e pela Administração Nacional de Energia (NEA) (Dupuy e Xuan, 2018).
ALEMANHA	Na Europa, a Alemanha se destaca como líder na implementação de sistemas de energia fotovoltaica distribuída, sendo um dos pioneiros a investir nessa tecnologia (Arantegui; Jager-Waldau, 2017).
REINO UNIDO	Em 2017, o Reino Unido iniciou uma iniciativa inovadora voltada para a energia solar fotovoltaica, com o objetivo de auxiliar famílias de baixa renda. (Buzatto, 2017).
AUSTRÁLIA	Recentemente, a Austrália tem evidenciado um crescente interesse na implementação de sistemas de geração de energia solar fotovoltaica de forma distribuída. De acordo com informações da Agência Australiana de Energias Renováveis (2018), mais de 150 mil instalações de pequeno porte foram realizadas em todo o território australiano.

Fonte: Autoria própria, (2025).

3.4 Building attached applied photovoltaics – BAPV

O termo BAPV (*Building Applied Photovoltaics*) refere-se à instalação de módulos fotovoltaicos sobre edificações existentes, sem substituir elementos construtivos. Esse modelo de aplicação é amplamente utilizado devido à sua flexibilidade e à possibilidade de adaptação em diferentes tipos de construções. No entanto, conforme apontado por Silva et al. (2008), a

eficiência na geração de energia pode ser reduzida devido à orientação menos favorável dos painéis e à necessidade de estruturas adicionais para fixação após a conclusão da obra.

Apesar dessas limitações, o BAPV representa uma solução viável para a ampliação da geração solar em áreas urbanas já ocupadas, permitindo o aproveitamento de telhados e fachadas sem grandes modificações estruturais. Segundo Zomer (2025), a adoção desse sistema tem sido impulsionada pelo avanço das tecnologias fotovoltaicas e pela queda nos custos de instalação, tornando-se uma alternativa interessante para a transição energética em edifícios brasileiros.

Os sistemas fotovoltaicos (FV) instalados diretamente sobre o telhado, sem espaço adequado para ventilação, enfrentam um aumento na temperatura de operação dos módulos, o que acaba sendo uma desvantagem do sistema BAPV (Building-Applied Photovoltaics). Esse aquecimento adicional resulta em uma queda na eficiência do sistema, comprometendo seu desempenho. Assim, a ventilação adequada tem um papel essencial no resfriamento dos módulos e na manutenção de sua performance ideal (Hrica et al., 2011).

Uma solução possível para mitigar esse problema em sistemas BAPV é instalar os módulos em estruturas elevadas sobre o telhado, permitindo uma maior circulação de ar e, conseqüentemente, a redução da temperatura de operação das células. Além disso, nesses casos, os módulos projetam sombras sobre o telhado da edificação, o que pode reduzir a carga térmica interna (Castanheira e Corbella, 2010).

Tipicamente, esse tipo de sistema não substitui os materiais de vedação nem a cobertura; em vez disso, os módulos são instalados sobrepostos à cobertura da edificação, requerendo estruturas adicionais como suporte, que determinam a inclinação e a orientação dos módulos. Geralmente, a Fotovoltaica Anexada às Edificações (FAEA) é vista como uma adição posterior ao projeto arquitetônico original, não sendo considerada crucial na concepção inicial da arquitetura e não estando diretamente ligada aos aspectos funcionais da estrutura ou aos materiais da envoltória (Gonçalves, 2021).

A primeira abordagem consiste na instalação de uma estrutura de suporte sobre o telhado, elevando os módulos fotovoltaicos acima do nível da cobertura. Já a segunda opção integra os módulos diretamente ao telhado, seja fixando-os sobre a estrutura existente ou substituindo total ou parcialmente a cobertura original (López e Lill, 2009). Conforme mostra a Figura 10 os sistemas BAPV são geralmente adicionados aos edifícios como um elemento suplementar, sem influência significativa na concepção arquitetônica original.

Figura 10 - Sistema BAPV aplicado a cobertura de uma edificação.



Fonte: Solar Inove (2023).

Na Figura 10, observa-se que a maioria dos módulos fotovoltaicos integrados na arquitetura de forma tradicional, sem considerar as características estruturais dos módulos. Como resultado, eles são geralmente instalados nas coberturas dos edifícios, mas não contribuem para a composição formal da construção (Santos, 2013).

Santos (2013) destaca que os projetistas brasileiros ainda carecem de conhecimento específico quanto ao uso de módulos fotovoltaicos como elementos arquitetônicos. Um dos principais motivos para essa limitação é a ênfase na performance técnica da tecnologia fotovoltaica. Esse cenário evidencia que a subutilização do potencial estético dos sistemas fotovoltaicos na arquitetura e na construção civil brasileira está, em grande parte, associada ao desconhecimento técnico sobre essa tecnologia.

No estudo de Santos (2013), é proposta uma ferramenta computacional para auxiliar na tomada de decisões em projetos de integração fotovoltaica na arquitetura. O objetivo é aprimorar o desenvolvimento desses projetos por meio da disponibilização de um ábaco solar, que serve como um mecanismo de estimativa e suporte à concepção arquitetônica.

3.5 Building integrated photovoltaics – BIPV

BIPV é uma sigla em inglês para “*Building Integrated Photovoltaics*” que significa “Sistemas Fotovoltaicos Integrados à construção” são uma tecnologia inovadora que consiste na incorporação de sistemas fotovoltaicos nas superfícies de edificações. Essa estratégia de integrar a geração de energia em construções como escolas, escritórios e hospitais é viabilizada pela harmonização estética, estrutural e arquitetônica dos módulos fotovoltaicos com o design da construção. Em áreas urbanas com alta densidade populacional, essa abordagem maximiza o aproveitamento do espaço disponível nos prédios, evitando a necessidade de ocupar terrenos para a instalação de sistemas de geração solar tradicionais (Santos, 2013).

Além de otimizar o uso do espaço, os BIPV proporcionam uma série de benefícios adicionais, incluindo a diminuição das despesas com energia elétrica, o aumento do valor de mercado dos imóveis e a redução da emissão de carbono das edificações. A integração de unidades geradoras e consumidoras de energia dentro da própria estrutura do edifício contribui para a eficiência energética (Rüther, 2010).

Com base no perfil de consumo energético da construção, a produção de energia pode se alinhar com a demanda, potencializando a eficácia da energia gerada. Quando instalados nas fachadas, esses módulos não apenas substituem materiais mais caros, mas também conferem um design moderno e atrativo ao imóvel (Marsh, 2008).

A adoção de sistemas fotovoltaicos em construções urbanas no Brasil apresenta um grande potencial para a viabilização dessa tecnologia. Isso se deve à elevada demanda energética nas áreas urbanas, que frequentemente atinge seu pico ao meio-dia, especialmente devido ao uso intensivo de ar-condicionado. A instalação de sistemas fotovoltaicos nestes ambientes permite a geração de eletricidade próxima aos pontos de consumo, ajudando a mitigar os picos de demanda na rede elétrica, particularmente nos horários com maior incidência solar (Jardim et al., 2008; Rüther et al., 2008).

Com o avanço da tecnologia na produção de painéis fotovoltaicos, novas formas de utilizá-los surgiram, e assim arquitetos e engenheiros começaram a incorporar em novos lugares da construção, como por exemplo, em brises e janelas de edifícios, como mostrado na Figura 11 (Portal solar, 2021).

Figura 11 - Leysin School Gymnasium.



Fonte: Kromatix, (2021).

Além disso, a integração de BIPV em edifícios urbanos não apenas melhora a eficiência energética, mas também alivia a pressão sobre as redes de distribuição, especialmente nas grandes cidades. Essa abordagem não apenas otimiza o consumo energético, mas também contribui para um ambiente urbano mais sustentável, reduzindo a necessidade de investimentos em infraestrutura adicional para energia. Ademais, a implementação de sistemas fotovoltaicos pode gerar uma fonte de receita para os proprietários, uma vez que a energia produzida pode ser utilizada para autoconsumo ou comercializada, criando um ciclo de benefícios tanto econômicos quanto ambientais. Um projeto bioclimático visa aprimorar o conforto ambiental dos espaços construídos, incluindo tanto o conforto térmico quanto o luminoso. Para isso, são empregadas estratégias de regulação térmica passiva desde a fase de projeto, levando em conta a orientação solar, a seleção de materiais e as formas de construção (França, 2018).

Para uma integração eficaz, é necessário que engenheiros civis, arquitetos e especialistas em sistemas fotovoltaicos trabalhem em conjunto, considerando que os BIPV enfrentam limitações em relação à área disponível e à orientação solar. A análise de viabilidade para a integração de sistemas solares em projetos arquitetônicos é uma tarefa complexa que requer a avaliação de diversos fatores, com ênfase em uma análise econômico-financeira minuciosa. Essa análise permite que as entidades envolvidas avaliem diferentes opções de investimento, visando otimizar o uso de seus recursos e aumentar seu patrimônio líquido (Gavioli et al., 2021).

França (2018) ressalta que algumas práticas recomendadas para desenvolver projetos de edifícios adaptados ao clima envolvem o gerenciamento da radiação solar, umidade e ventilação.

A versatilidade dos materiais fotovoltaicos permite que eles desempenhem várias funções na estrutura do edifício, otimizando o espaço e promovendo uma integração eficaz entre a geração de energia renovável e os elementos arquitetônicos da construção, resultando em uma abordagem mais sustentável e eficiente em termos energéticos. Um exemplo disso são os sistemas fotovoltaicos planares, que se baseiam em tecnologias de ventilação ativa de ciclo aberto e são integrados às fachadas dos edifícios. Outra configuração semelhante pode ser vista na Figura 12.

Figura 12 - Fachada composta por sistemas BIPV.



Fonte: Kaltmaier Junior (2020).

A maior parte dos módulos fotovoltaicos é incorporada à arquitetura de maneira tradicional, sem levar em consideração as especificidades estruturais dos próprios componentes. Como resultado, esses módulos são frequentemente instalados nas coberturas dos edifícios, mas sua contribuição para a estética e o design arquitetônico é limitada (Santos, 2013).

Um dos elementos mais críticos na escolha da instalação dos módulos é a orientação em relação à incidência solar, que envolve tanto aspectos geométricos quanto de irradiação. Esse fator impacta diretamente o projeto desde as etapas iniciais, sendo fundamental para o equilíbrio entre estética e desempenho, o que influencia a decisão de arquitetos e gestores de projetos sobre a inclusão dos módulos fotovoltaicos como parte da construção (Urbanetz et al, 2011).

Em sua pesquisa, Santos (2013) sugere uma ferramenta computacional que auxilia na tomada de decisões para integrar energia solar fotovoltaica na arquitetura. Essa ferramenta, um ábaco solar, visa apoiar o desenvolvimento desses projetos, facilitando estimativas de desempenho e viabilidade. Os sistemas BIPV, têm como proposta otimizar a captação de energia solar local, incorporando-a nas edificações ou substituindo completamente elementos

da estrutura tradicional, como fachadas e telhados, para que esses componentes façam parte do revestimento externo da construção (Rüther et al., 2010).

A Figura 13 ilustra exemplos de instalações BIPV, onde materiais fotovoltaicos são empregados como elementos de vedação nas coberturas e nas fachadas, apresentando um grau de transparência.

Figura 13 - Exemplo de BIPV.



Fonte: Portal Solar, (2025).

Embora o custo seja atualmente um fator limitante, é esperado que, à medida que ocorra o desenvolvimento e a produção de módulos em larga escala, haja uma tendência de minimização desse obstáculo. Consequentemente, espera-se que as aplicações dos sistemas BIPV se tornem mais amplamente disseminadas, uma vez que a integração de sistemas fotovoltaicos em edificações está se tornando uma tendência global (Urbanetz et al, 2011).

Conforme explica Sobrinho (2014), os sistemas BIPV são compostos por elementos fotovoltaicos de dupla funcionalidade: substituem partes estruturais convencionais do prédio e geram energia. Esses elementos são integrados ao design da estrutura, substituindo os elementos convencionais de construção.

Segundo Hagemann (2002), os sistemas BIPV podem ser caracterizados como uma aplicação de sistemas fotovoltaicos que estão funcionalmente, esteticamente e energeticamente integrados a um edifício. Essa integração multifacetada não apenas promove uma estética harmoniosa, mas também maximiza a eficiência energética do edifício, resultando em uma abordagem mais completa e sustentável para a geração de energia solar.

A adoção da tecnologia fotovoltaica integrada a edifícios tem crescido globalmente, e no Brasil esse movimento começa a ganhar relevância. O avanço tecnológico tem impulsionado significativamente a eficiência da conversão de energia, além de aprimorar os dispositivos fotovoltaicos, tornando-os cada vez mais atraentes do ponto de vista estético. Esses módulos solares, disponíveis em diversas dimensões, variando entre 1,6 e 3,1 m² (Rüther, 2021).

A fachada do edifício Copenhagen International School Figura 14 é revestida por 12 mil painéis solares, estrategicamente posicionados para otimizar a captação de energia. Esses painéis fornecem aproximadamente metade da demanda elétrica do prédio. Com uma área de 6.048 m² de células solares, o sistema tem capacidade para produzir cerca de 200 MWh por ano (Alvito, 2019).

Figura 14 - Copenhagen International School.



Fonte: Absolar, 2025.

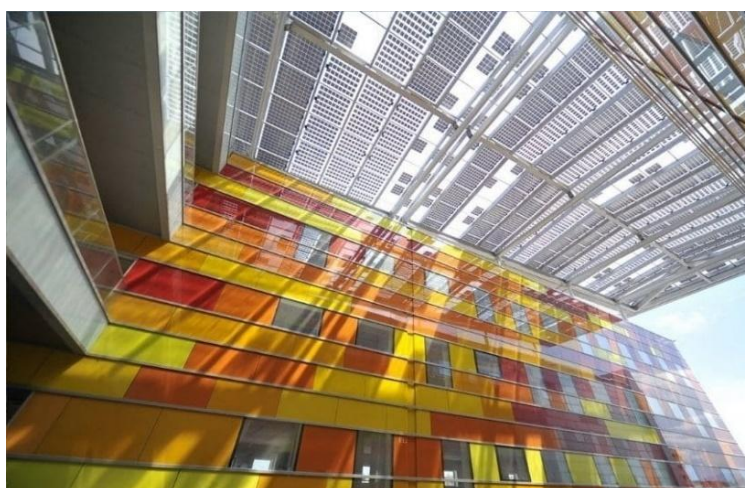
Embora localizado na Dinamarca, este edifício é um exemplo notável de integração de energia solar em larga escala, sendo um dos maiores projetos desse tipo no mundo, destacando-se pela eficiência energética e pela sustentabilidade arquitetônica.

Durante a seleção da tecnologia, é fundamental que o profissional projetista leve em conta diversos fatores, como a localização para a instalação dos módulos, a área disponível, as condições ao redor e a visibilidade do sistema. Com base nessas considerações, o projetista poderá tomar uma decisão informada e adequada (Rüther, 2021). As construções sustentáveis utilizam materiais ecológicos, implementam uma gestão eficaz da água, garantem a qualidade do ar interno, integram áreas verdes, utilizam recursos de forma consciente, possuem designs adaptáveis, usam fontes de energia renováveis e possuem certificações ambientais. Esses

aspectos contribuem para a redução dos impactos ambientais, promovem a saúde e o bem-estar, além de garantir a sustentabilidade (Tagliani, 2023).

Um exemplo paradigmático são os módulos semitransparentes fabricados com silício monocristalino, que têm sido oferecidos em um nicho de mercado especializado desde a década de 1990. Esses módulos permitem a passagem de luz entre suas células, o que os torna altamente atraentes para aplicações em coberturas de estacionamento, estruturas de pergolados, brises e sistemas de iluminação zenital (Rüther, 2021). Como ilustração, a figura 15 mostra uma configuração de sistemas solares fotovoltaicos em um edifício públicos, todos conectados à rede elétrica convencional em vários países. Esses sistemas estão integrados à arquitetura urbana, evidenciando a versatilidade e aplicabilidade das tecnologias fotovoltaicas em diversos contextos.

Figura 15 - Sistema solar fotovoltaico interligado.



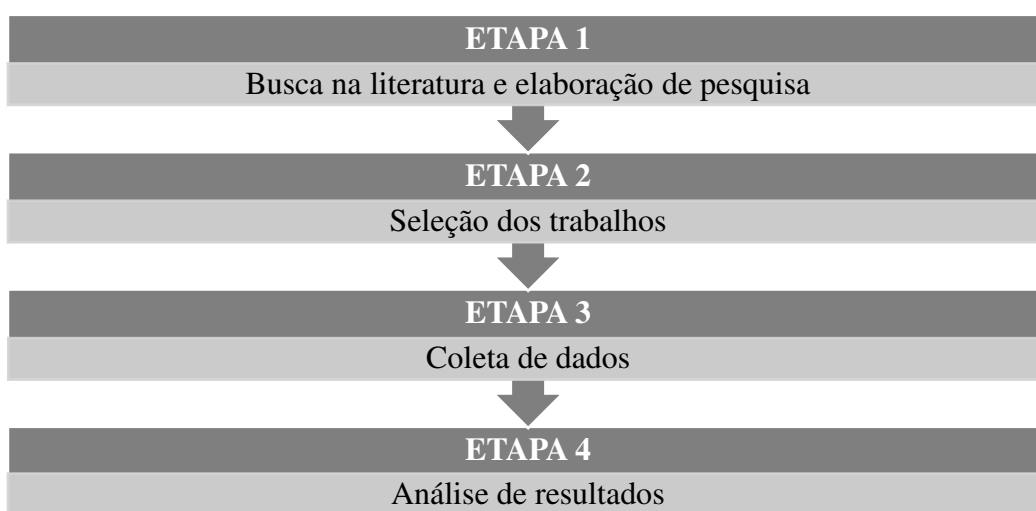
Fonte: Canal Solar, 2024.

Conforme a pesquisa de Kaltmaier Junior (2020), os sistemas BIPV/T oferecem uma variedade de benefícios potenciais em termos de aplicação em edificações, muitos dos quais ainda estão sendo investigados. Esses sistemas não apenas geram energia elétrica, mas também podem fornecer aquecimento, contribuindo para a eficiência energética dos edifícios, apresentamos algumas referências de edificações que, além de utilizarem painéis solares fotovoltaicos e outros sistemas, implementam estratégias bioclimáticas passivas, como ventilação natural, sombreamento e iluminação natural. Essas abordagens não apenas aprimoram o conforto térmico e a qualidade do ambiente interno, mas também desempenham um papel fundamental na promoção da sustentabilidade.

4 METODOLOGIA

As etapas metodológicas foram delineadas conforme o fluxograma apresentado na Figura 16, garantindo uma coleta abrangente de dados, uma análise detalhada e a formulação de recomendações fundamentadas para o desenvolvimento do trabalho. A metodologia adotada foi estruturada em quatro fases principais: busca na literatura e elaboração de pesquisa, seleção dos trabalhos, coleta de dados e análise dos resultados.

Figura 16 - Etapas do processo.



Fonte: Autoria própria, (2024).

4.1 Busca na literatura e elaboração de pesquisa

A primeira fase consistiu na revisão da literatura científica sobre Sistemas Fotovoltaicos Integrados à Construção (BIPV) no contexto brasileiro. Para isso, foram empregadas ferramentas tecnológicas para acessar materiais acadêmicos disponíveis publicamente em diversas fontes de dados. As buscas foram realizadas por meio de bases de dados acadêmicas, como Google Scholar e Science Direct, garantindo uma revisão sistemática e abrangente da temática.

As palavras-chave utilizadas nas buscas incluíram termos como "BIPV no Brasil", "Energia Solar Integrada à Construção", "Sistemas Fotovoltaicos na Arquitetura" e "Eficiência Energética em Edificações". Esse critério permitiu selecionar materiais relevantes que abordam tanto aspectos técnicos quanto regulatórios sobre a aplicação do BIPV no Brasil.

4.2 Seleção dos trabalhos

Na segunda fase, os resultados obtidos nas bases de dados foram registrados e categorizados com base nas palavras-chave previamente determinadas. Foram analisados artigos científicos, monografias, dissertações e teses que discutem a implementação dos Sistemas Fotovoltaicos Integrados à Construção (BIPV) no Brasil. A seleção dos trabalhos considerou critérios como relevância para o tema, data de publicação, metodologias empregadas e qualidade dos resultados apresentados. Foram priorizados estudos recentes que trouxessem contribuições significativas ao entendimento dos desafios e avanços do BIPV no Brasil.

4.3 Coleta de dados

Na terceira fase, os dados extraídos dos trabalhos selecionados foram organizados e analisados quanto à sua contribuição para a compreensão do panorama do BIPV no Brasil. Foram avaliados os seguintes aspectos:

- Matéria-prima utilizada na fabricação dos módulos fotovoltaicos integrados;
- Tecnologias empregadas na instalação e operação dos sistemas BIPV;
- Métodos de pesquisa utilizados nos estudos selecionados;
- Benefícios e desafios apontados pelos pesquisadores;
- Relevância dos resultados alcançados para o contexto brasileiro.

4.4 Análise dos resultados

A análise dos resultados revelou que os Sistemas Fotovoltaicos Integrados à Construção (BIPV) ainda se encontram em um estágio inicial de adoção no Brasil. Para complementar a pesquisa e embasar as conclusões, foram analisados não apenas estudos acadêmicos, mas também reportagens e imagens obtidas na internet sobre o tema.

Essa abordagem permitiu uma visão mais ampla do cenário atual, destacando tanto os avanços quanto as limitações na aplicação dos sistemas BIPV no Brasil. Os dados coletados e analisados fornecem subsídios importantes para futuras pesquisas e para a formulação de estratégias que possam impulsionar o desenvolvimento dessa tecnologia no país.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para demonstrar resultados da pesquisa e aplicações, estudos de caso no Brasil foram apresentados conforme seguem.

5.1 Fabricação de módulos fotovoltaicos coloridos para a integração em fachadas de prédios

De acordo com as novas tecnologias e lançamentos no mercado brasileiro, fachadas inteiras poderão gerar energia de forma integrada à arquitetura, impulsionando a adoção dos sistemas BIPV, ou fotovoltaica integrada às edificações. A parceria entre a Garantia Solar BIPV, BYD e Guardian Glass Brasil tem como objetivo viabilizar a fabricação de módulos fotovoltaicos coloridos como mostra a Figura 17, que se integram à arquitetura e, ao mesmo tempo, geram energia, oferecendo uma solução inovadora para o setor de construção sustentável.

De acordo com Neris (2023), essa inovação representa um avanço significativo para a Arquitetura Solar no Brasil, permitindo a criação de edificações energeticamente autônomas e esteticamente sofisticadas.

Figura 17 - Módulos fotovoltaicos coloridos.



Fonte: PV magazine, (2023).

A Figura 18 mostra o processo de fabricação de painéis fotovoltaicos BIPV, que segue o modelo descrito no texto. Nela, é possível observar as etapas envolvidas na produção dos módulos fotovoltaicos coloridos, como o fornecimento das células fotovoltaicas pela BYD e os vidros de alta eficiência fornecidos pela Guardian Glass. As membranas coloridas importadas também desempenham um papel importante na criação dos módulos, que são produzidos em solo brasileiro. A figura detalha ainda a diferenciação no processo de produção: módulos de grande escala, com dimensões padronizadas, sendo fabricados pela BYD, e módulos de pequena escala, com dimensões customizadas, sendo produzidos pela Garantia Solar BIPV.

Figura 18 - Fábrica de módulos fotovoltaicos.



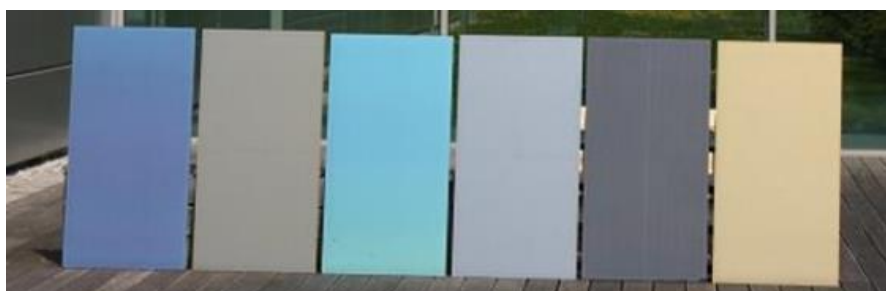
Fonte: BYD, (2023).

De acordo com Carvalho (2024) os painéis fotovoltaicos tem um grande potencial a ser explorado em BIPV e os módulos coloridos podem fazer parte do portfólio para solução integrada entre geração fotovoltaica e arquitetura. Além disso, com o avanço do desenvolvimento e amadurecimento de produto dos módulos coloridos, a produção desses painéis deverá ser intercalada com a produção na fábrica de Campinas quando estes tiverem características próximas ao módulo convencional.

Segundo Guilherme Crispim, CEO da Fortlev, o mercado fotovoltaico no Brasil está em plena expansão e ainda há espaço para novos concorrentes, o que representa uma oportunidade significativa para o setor. Ele destaca que as novas tecnologias são cada vez mais inteligentes, eficientes e produtivas, consolidando-se como uma alternativa sustentável para a preservação do meio ambiente (Brasil Solar, 2019).

A evolução das tecnologias fotovoltaicas coloridas e seu impacto no setor de energia solar podem ser visualizados na Figura 19. Com o avanço das pesquisas e o amadurecimento dos módulos fotovoltaicos coloridos, o país tem se consolidado como um importante mercado para essas tecnologias, impulsionando o uso da energia solar como uma fonte energética renovável e sustentável (Zomer,2023).

Figura 19 - Painéis fotovoltaicos BIPV.



Fonte: Kromatix (2021).

O Kromatix pode ser utilizado no revestimento de fachadas e coberturas, como ilustrado na Figura 20. Esse material foi projetado para refletir uma pequena parte da luz visível, conferindo ao vidro a cor desejada, enquanto o restante da luz é transmitido para as células fotovoltaicas, otimizando a geração de energia (KROMATIX, 2021).

Figura 20: Construção com fachada BIPV.



Fonte: Kromatix, (2021).

5.2 Laboratório de energia solar fotovoltaica da UFSC

Um exemplo notável de integração de energia solar é o Centro de Cultura e Eventos da UFSC, além do próprio Laboratório de Energia Solar Fotovoltaica da UFSC. O laboratório possui sistemas fotovoltaicos instalados em coberturas de diferentes configurações, tanto planas quanto curvas, que também se estendem à cobertura do estacionamento e à estação de recarga para ônibus elétricos. Vale destacar que esse projeto está em fase de expansão, com a previsão de instalar uma nova cobertura onde os módulos fotovoltaicos desempenharão a função de telhas do edifício, otimizando ainda mais a geração de energia Figura 21 (Rüther, 2021).

Esses projetos enfatizaram tanto a estética arquitetônica quanto a otimização elétrica dos módulos e inversores, assegurando que a capacidade produtiva dos sistemas fotovoltaicos fosse mantida. Como resultado, tornaram-se modelos de referência. As iniciativas voltadas para a sustentabilidade empregam soluções inovadoras que criam um efeito dominó global, abordando os desafios ambientais contemporâneos.

Figura 21 - Laboratório de Energia Solar Fotovoltaica da UFSC em Florianópolis.



Fonte: Absolar 2025.

Além disso, a integração de tecnologia solar nas superfícies dos edifícios pode resultar em economia de espaço, redução de custos de instalação e uma estética aprimorada. A exploração dessas vantagens ainda pode revelar novas oportunidades para otimizar o

desempenho energético e ambiental das construções, promovendo a sustentabilidade e a inovação no setor.

A integração de módulos fotovoltaicos (FV) em edificações é uma solução eficiente para a geração de energia solar, sendo implementada por meio de duas principais abordagens: BAPV (Building-Applied Photovoltaics) e BIPV (Building-Integrated Photovoltaics). No caso do BAPV, os módulos são instalados em edificações já existentes, sem necessariamente estarem integrados ao projeto arquitetônico. Eles podem ser posicionados com diferentes orientações e inclinações, que podem ou não seguir o design original da construção, conforme Figura 22.

Figura 22 - Laboratório Fotovoltaica/UFSC.



Fonte: Pv magazine (2025).

Desde 1997, o Laboratório Fotovoltaica/UFSC vem liderando o desenvolvimento de aplicações fotovoltaicas em edificações no Brasil. O primeiro sistema BIPV conectado à rede elétrica pública foi implementado pelo Laboratório, com potência de 2 kWp, e segue em operação após 27 anos, comprovando a robustez da tecnologia.

A sede do Laboratório, localizada fora do campus principal da UFSC, é um exemplo de inovação. Com dois prédios inaugurados em 2015 e um terceiro em 2023, todos os edifícios utilizam tecnologia FV integrada na forma de BIPV. Como demonstra a Figura 23.

Figura 23 - Sistemas Fotovoltaicos.



Fonte: Portal Solar, (2022).

Segundo Rütther (2023), é possível replicar em menor escala o sistema utilizado no laboratório e viabilizar a produção de hidrogênio verde em pequenas comunidades. Isso pode ser feito por meio da energia solar gerada localmente e da captação de água da chuva, eliminando a necessidade do transporte de diesel. Essa abordagem inovadora é ilustrada na Figura 24.

Figura 24 - Gerador de energia solar e hidrogênio verde.



Fonte: PV magazine (2025).

De acordo com Rüther (2022), além de produzir energia limpa, o edifício adota várias medidas sustentáveis, como a captação e o reuso de água da chuva, ventilação natural, iluminação natural e o uso de materiais locais. Os sistemas fotovoltaicos (FV) não só geram energia sustentável, mas também desempenham um papel fundamental no conforto ambiental das edificações e na produção de hidrogênio verde. Esses aspectos são ilustrados na Figura 25.

Figura 25 - Infraestrutura do laboratório.



Fonte: PV magazine (2023).

Os sistemas fotovoltaicos das fachadas são compostos por módulos double-glass de silício monocristalino (mono-Si) bifaciais com moldura. Além de gerarem energia, vedam parcialmente o auditório semiaberto, protegendo os usuários contra intempéries e criando um ambiente confortável em termos térmicos, lumínicos e visuais como mostrado na Figura 26 (Zomer, 2023).

Figura 26 - Fachada Fotovoltaica.



Fonte: PV magazine (2025).

A Arquitetura Solar vai além da sustentabilidade, transformando-se em uma oportunidade estratégica de investimento para empresários, arquitetos, integradores e clientes finais. Esse mercado está em plena expansão, e as decisões tomadas na fase de concepção de um projeto arquitetônico influenciam diretamente a capacidade de geração de energia da edificação. A integração de sistemas fotovoltaicos na arquitetura exige uma colaboração multidisciplinar para otimizar o desempenho energético sem comprometer a estética e a funcionalidade da construção (Fonseca, 2022).

5.3 Instituto J&F

A sede do Germinare Business do Instituto J&F, em São Paulo, é o primeiro edifício do Brasil a gerar energia elétrica a partir de filmes finos flexíveis na fachada. O projeto, assinado pelo escritório Edo Rocha Arquiteturas, inclui a instalação de brises fotovoltaicos, desenvolvidos exclusivamente para este prédio pela Garantia Solar BIPV. Como parte dessa estratégia, o arquiteto integrou a energia solar de forma harmônica, aplicando-a em elementos como o pergolado e os brises frontais. Assim, o uso da tecnologia fotovoltaica integrada (BIPV) não apenas reduz o consumo de energia da edificação, mas também agrega valor estético e funcional, consolidando a Arquitetura Solar como um diferencial inovador e sustentável no mercado da construção civil. Como mostrado na Figura 27, a adoção dessa tecnologia contribui para a eficiência térmica do edifício, promovendo conforto ambiental e reduzindo a necessidade de climatização artificial (Zomer, 2025).

Figura 27 - Fachada do Instituto J&F.



Fonte: Arquetando solar (2022).

A integração de módulos fotovoltaicos em superfícies com ângulos de inclinação acentuados proporciona um desempenho energético excepcional em altas latitudes. Isso ocorre porque, nessas regiões, a posição do sol ao longo do dia permanece mais baixa no horizonte em comparação com áreas mais próximas ao equador (Rüther, 2004).

Os brises fotovoltaicos são exemplos de soluções de arquitetura solar que apresentam orientações e inclinações para geração de energia diferentes da considerada ideal. Esses brises desempenham um duplo papel, filtrando a incidência solar direta enquanto geram eletricidade limpa. Da mesma forma, o pergolado com módulos solares oferece sombra aos espaços de convivência externa, tornando-os mais agradáveis e energeticamente autossuficientes. Além disso, o projeto contribui para a conscientização sobre o uso de fontes renováveis na arquitetura, como ilustrado na Figura 28.

Figura 28 - Brises Fotovoltaicos.



Fonte: Portal solar, (2022).

Ao contrário de um projeto para uma usina em solo, onde o objetivo principal é maximizar a geração de energia por meio do posicionamento ideal, a arquitetura solar aproveita todos os planos de uma edificação como potenciais superfícies de geração.

Segundo Perez (2023) a metodologia utilizada nos projetos baseia-se no uso da ferramenta Radiasol para realizar a transposição e obter os dados de irradiação através dos brises como mostra a Figura 29 no plano de interesse. Embora eficaz, essa abordagem demandava tempo para coletar as coordenadas geográficas do projeto, buscar os dados de

irradiação global horizontal da cidade, cadastrá-los no Radiasol e simular todas as combinações necessárias.

Figura 29 - Módulos fotovoltaicos do edifício.



Fonte: Haus, (2023).

5.4 Construções sustentáveis Sungarden

Para viabilizar os benefícios do sistema BIPV, o primeiro passo é realizar um Diagnóstico Solar, que avalia o potencial das áreas destinadas à geração de energia. De acordo com Zomes (2025), com a crescente demanda por construções sustentáveis e energeticamente eficientes, edifícios que incorporam soluções inovadoras, como o Sungarden (Figura 30), ganham destaque no mercado. Isso atrai investidores e compradores interessados em eficiência energética e responsabilidade ambiental. Esse contexto reforça a Arquitetura Solar como um diferencial competitivo, agregando valor não apenas ao projeto em si, mas também ao setor da construção civil como um todo.

Figura 30 - Fachada principal do Sungarden.



Fonte: Sungarden, (2025).

Ao integrar soluções fotovoltaicas de maneira estratégica e visualmente atrativa, o Sungarden demonstra como a energia solar pode ser incorporada de forma orgânica às construções contemporâneas, sem comprometer a estética ou a funcionalidade. Assim, além dos benefícios ambientais e econômicos, o projeto reforça a importância da inovação no setor da construção civil e inspira novas abordagens para edificações sustentáveis. Além dos benefícios mencionados, o projeto Sungarden também se destaca pelo seu impacto positivo na redução da pegada de carbono da edificação. Segundo Zomes (2025), a geração de energia renovável no próprio local desempenha um papel crucial na redução da dependência da rede elétrica convencional, contribuindo significativamente para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa associadas à produção de eletricidade a partir de fontes fósseis. Nesse contexto, o edifício não só satisfaz suas necessidades energéticas de forma sustentável, mas também se alinha às metas globais de transição energética e mitigação das mudanças climáticas. Além disso, a adoção da tecnologia BIPV valoriza o imóvel, destacando-se como um investimento inteligente no mercado imobiliário Figura 31.

Figura 31 - Brises fotovoltaicos verticais e pergolado semitransparente.

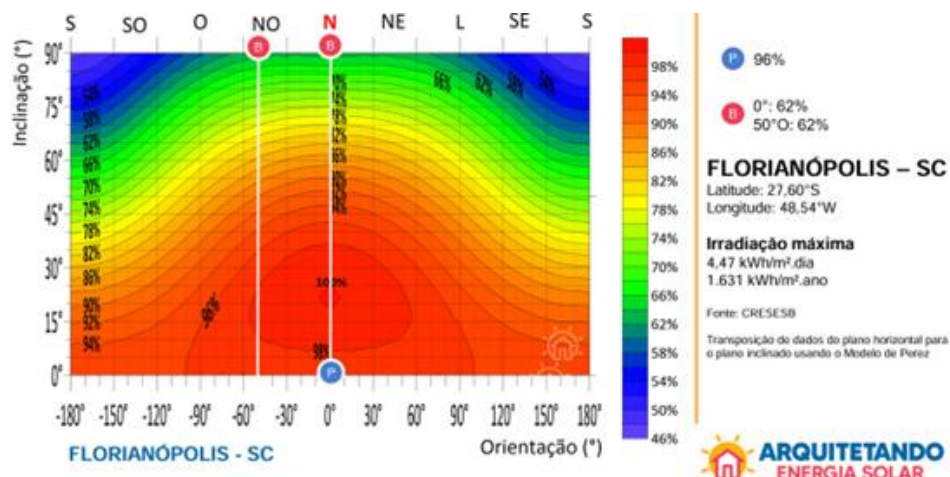


Fonte: Sungarden, (2025).

Para demonstrar a viabilidade e a importância do empreendimento, a empresa utilizou a ferramenta Ábaco Solar, aplicada à cidade de Florianópolis. Com essa abordagem, foi possível analisar diferentes combinações de desvio azimutal e inclinação dos elementos arquitetônicos, quantificando o potencial de aproveitamento solar da edificação.

A Figura 32 ilustra esse processo, destacando como a otimização dos ângulos de captação influencia diretamente a eficiência energética do sistema fotovoltaico integrado.

Figura 32 - Ábaco solar da cidade de Florianópolis - SC.

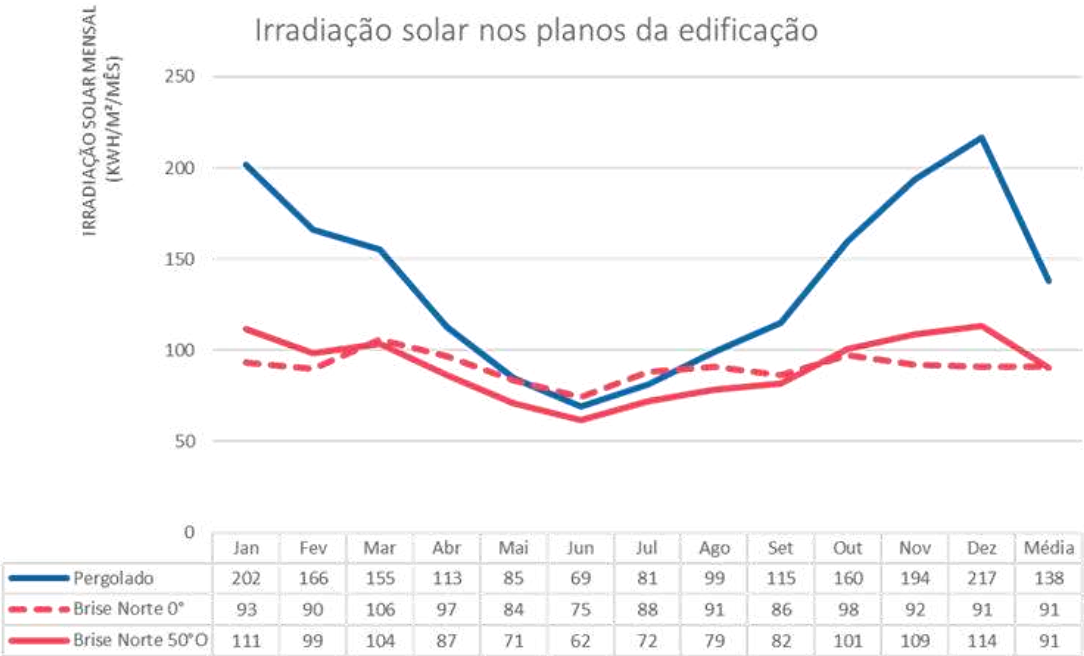


Fonte: Arquetetando energia solar (2024).

De acordo com Zomes (2025), a irradiação solar anual disponível no pergolado é de 1.656 kWh/m², enquanto os brises recebem 1.092 kWh/m² no mesmo período. A análise da variabilidade mensal revela que o pergolado contribui com maior eficiência energética durante os meses de verão, quando a incidência solar é mais intensa. Entre maio e julho, observa-se uma distribuição mais homogênea da irradiação entre os diferentes elementos, indicando um desempenho semelhante nesse intervalo. A disposição e a inclinação dos módulos fotovoltaicos desempenham um papel crucial na captação de energia ao longo do ano, tornando o pergolado uma solução eficaz para otimizar a geração solar, especialmente nos períodos de maior demanda energética. Esse benefício é particularmente vantajoso para a climatização de ambientes e o fornecimento de energia para sistemas elétricos no edifício.

A análise dos dados, apresentada na Figura 33, reforça a importância do planejamento estratégico na integração fotovoltaica. Considerando a orientação solar, a função arquitetônica dos elementos e seu impacto na eficiência energética da edificação, pode-se maximizar o desempenho dos sistemas fotovoltaicos em ambientes urbanos (Zomes, 2025).

Figura 33 - Irradiação solar nos planos da edificação.



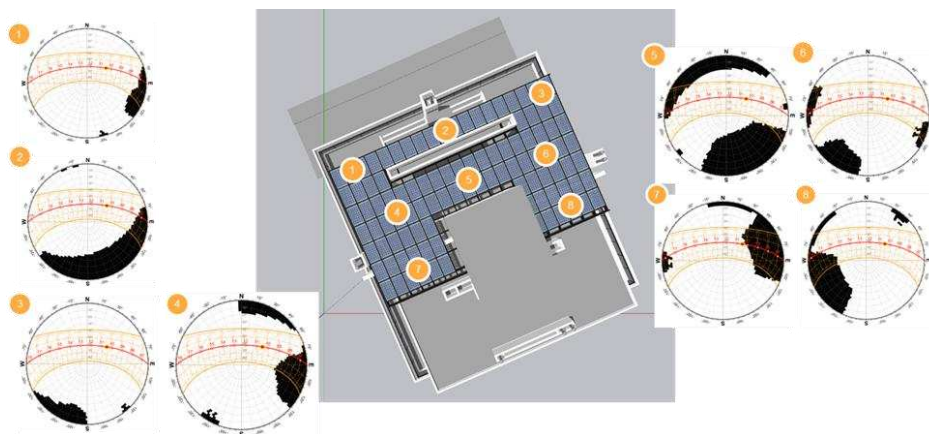
Fonte: Arqitetando solar (2024).

A análise de sombreamento revelou que o pergolado sofrerá pouca interferência das elevações ao redor, garantindo uma captação solar eficiente ao longo do dia. As sombras

incidirão apenas em pontos próximos à torre técnica (Pontos 7 e 8), nos períodos antes das 10h e após as 16h, sem comprometer significativamente a geração fotovoltaica. Já nos brises, o sombreamento será mais pronunciado, ocorrendo antes das 9h e após as 16h, com variações ao longo dos meses devido à inclinação solar sazonal.

Segundo Rüther (2022), a diferença na exposi  o solar entre os elementos arquitetônicos reforça a importância do posicionamento estratégico dos módulos fotovoltaicos para maximizar a eficiência do sistema. Enquanto o pergolado recebe uma incidência solar mais direta e prolongada, os brises enfrentam restri  es temporais na capta  o de luz, o que pode impactar sua produ  o energética em determinadas épocas do ano. A modelagem de sombreamento possibilitou um planejamento otimizado da instala  o dos painéis fotovoltaicos, assegurando um melhor aproveitamento da radia  o solar disponível. Com isso, o projeto alcança altos índices de eficiência energética ao longo do ano, equilibrando funcionalidade, estética e sustentabilidade na edifica  o. A análise de sombreamento, apresentada na Figura 34, revelou que o pergolado sofrerá pouca interferência das eleva  es ao redor, com sombras limitadas a pontos próximos    torre técnica (Pontos 7 e 8). Esses dados destacam a relevância de um planejamento detalhado para garantir a máxima eficiência energética da edifica  o.

Figura 34 - Análise de sombreamento.



Fonte: Arq  tetando energia solar (2024).

A energia solar pode ser utilizada em todas as áreas de atua  o humana. E não    diferente na arquitetura e na constru  o civil.    cada vez mais urgente que o projetar e o construir sejam mais eficientes energeticamente, aproveitando a luz do Sol.

5.5 Condomínio residencial

De acordo com Sebben (2022), o condomínio residencial Bosco Esposizione, com inauguração prevista para o primeiro trimestre de 2025, será o primeiro edifício do Rio Grande do Sul a implementar a tecnologia BIPV. Localizado em Caxias do Sul, na Serra Gaúcha, o empreendimento incorporará painéis solares diretamente à estrutura do edifício, permitindo que a própria construção gere energia limpa e sustentável. Embora amplamente adotada em diversos países, a tecnologia BIPV ainda está em fase inicial no Brasil, representando uma inovação no setor da construção civil. Além de seu alto desempenho energético, os módulos fotovoltaicos integrados funcionam como revestimentos arquitetônicos, proporcionando um acabamento estético e harmonioso às fachadas. A Figura 41 ilustra essa aplicação, evidenciando como a integração fotovoltaica pode transformar edificações em geradoras de energia limpa, reduzindo custos operacionais e o impacto ambiental.

Figura 35 - Condomínio residencial em Caxias do Sul/RS.



Fonte: Construesse Construtora e Incorporadora, (2025).

O empreendimento, concebido para ser um projeto boutique com apenas 19 apartamentos, terá painéis fotovoltaicos no contorno das sacadas da fachada frontal norte e na

cobertura. Somados, os equipamentos suprirão o fornecimento de energia na área condominial, deixando de emitir cerca de 15 toneladas de CO² por ano, o equivalente ao plantio anual de 700 árvores adultas. A energia gerada no edifício vai abastecer as áreas comuns, como academia, salão de festas, sala de jogos, brinquedoteca, piscina coberta e aquecida, áreas de circulação, elevadores e toda a parte que compreende o ambiente de uso comum dos condôminos. De acordo com a diretora da Construesse Construtora e Incorporadora, Ana Lúcia Sebben, os componentes fotovoltaicos utilizados no ambiente externo da fachada harmonizam-se perfeitamente com a estética do edifício. Como a arquitetura do prédio é contemporânea, com estilo elegante, lançando mão do concreto aparente, os módulos fotovoltaicos possibilitam essa composição e integração como elementos estéticos, agregando beleza à economia de energia (Sebben, 2022).

5.6 Caja JA – São Paulo

Segundo Zomer (2025), um projeto inovador de 23 kWp, instalado em um bairro residencial de São Paulo, redefine a integração entre tecnologia solar e arquitetura. Sem a necessidade de ocupar espaço adicional, essa solução pioneira se harmoniza perfeitamente com a estrutura existente, combinando design sofisticado e alta eficiência energética. O sistema foi projetado com base em princípios arquitetônicos que incorporam elementos fotovoltaicos de forma discreta e estratégica, garantindo um aproveitamento máximo da radiação solar. Com essa abordagem, a instalação tem capacidade para gerar até três vezes mais energia.

A Figura 36 ilustra essa aplicação, evidenciando como a arquitetura solar integrada pode transformar edificações urbanas em modelos de sustentabilidade e inovação tecnológica.

Figura 36 - Fachada principal.



Fonte: Arqitetando solar, (2022).

Além da geração expressiva de energia, o projeto também incorpora brises solares fotovoltaicos, que desempenham um papel duplo na edificação: além de filtrar a incidência direta da luz solar, reduzindo a carga térmica interna, eles geram eletricidade limpa de forma eficiente. Essa solução arquitetônica alia desempenho energético e conforto ambiental, contribuindo para a redução da necessidade de climatização artificial e para a eficiência térmica da residência. De acordo com Zomer (2025), a integração dos brises solares ao design da construção reforça a importância da arquitetura solar como diferencial competitivo, tornando a tecnologia fotovoltaica um elemento estruturante da estética e funcionalidade do projeto.

A Figura 37 ilustra a aplicação dos brises solares fotovoltaicos, destacando como sua orientação e inclinação estratégicas maximizam o aproveitamento da radiação solar ao longo do dia. Esses elementos arquitetônicos demonstram que é possível unir sustentabilidade, inovação e design sofisticado em edificações urbanas, promovendo autonomia energética e valorização do imóvel.

Figura 37 - Brises fotovoltaicos.



Fonte: Arqitetando solar, (2025).

Segundo Zomer (2025), a integração dos pergolados fotovoltaicos demonstra como a tecnologia solar pode ser aplicada de forma harmônica e funcional, sem comprometer a estética do projeto arquitetônico. A estrutura foi projetada para otimizar a captação de energia ao longo do ano, garantindo um desempenho eficiente mesmo em períodos de menor incidência solar.

A Figura 44 ilustra essa aplicação, evidenciando como os pergolados solares não apenas aumentam a capacidade de geração fotovoltaica da residência, mas também oferecem um espaço sombreado e confortável para os moradores. Essa solução reafirma o papel da arquitetura solar integrada na criação de edificações mais sustentáveis, inovadoras e autossuficientes.

Figura 38 - Pergolado fotovoltaico.



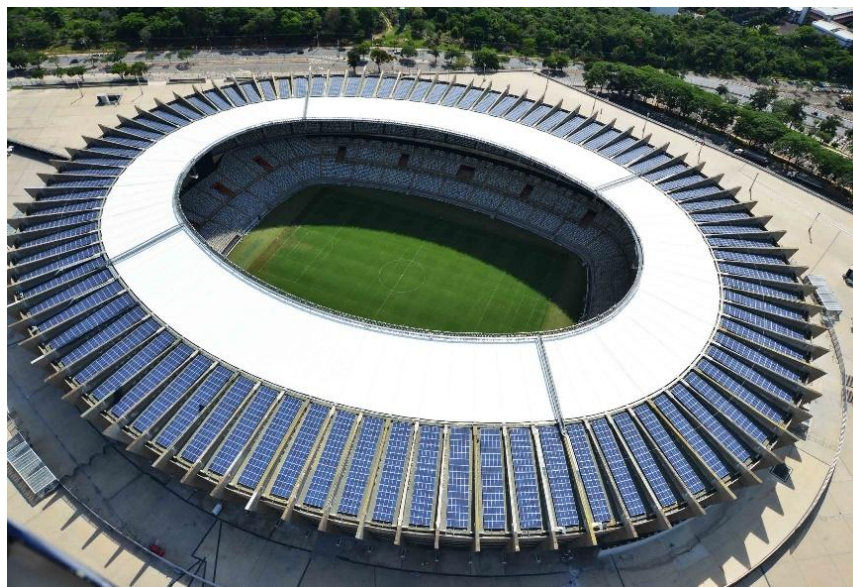
Fonte: Arqitetando solar, (2025).

5.7 Estádio do Mineirão – Belo Horizonte/MG

A usina solar fotovoltaica do Mineirão completou cinco anos de operação em 17 de maio de 2013, consolidando-se como uma das maiores instalações fotovoltaicas em coberturas de estádios no mundo. Construída em 2013 pela Cemig, em parceria com a Minas Arena e com financiamento do banco alemão KfW, a usina possui capacidade de geração suficiente para atender aproximadamente 1.200 residências (Oliveira, 2013).

Segundo Heringer (2013), que coordenou a implantação do projeto pela Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas da Cemig – e atualmente é presidente da Efficientia, unidade da Cemig voltada à eficiência energética –, a instalação fotovoltaica do Mineirão tornou o estádio a primeira arena esportiva do Brasil a contar com painéis solares em sua cobertura conforme a Figura 39. Além disso, a usina contribuiu para que o estádio conquistasse a certificação LEED Platinum, um dos mais altos selos de sustentabilidade para edificações.

Figura 39 - Cobertura feita com painéis fotovoltaicos.



Fonte: Arqitetando solar, (2022).

De acordo com Zomer (2025), os módulos solares fotovoltaicos instalados na cobertura do estádio capturam a radiação solar, convertendo-a em energia elétrica em corrente contínua com tensão de 380 volts. Para transformar essa corrente contínua em corrente alternada, foram

instalados oitenta e oito inversores em oito salas técnicas localizadas abaixo das arquibancadas do estádio. A energia gerada é enviada a duas subestações, uma no lado sul e outra no lado norte do Mineirão, onde a tensão é elevada para média tensão. Uma pequena parte da energia gerada é utilizada para a manutenção da própria usina, enquanto o restante é injetado na rede elétrica situada dentro do estádio. Este modelo de integração fotovoltaica demonstra a eficiência e sustentabilidade de grandes empreendimentos na utilização de energia solar em projetos de infraestrutura.

Figura 40 - Painéis Fotovoltaicas



Fonte: Arquitetando solar, (2022).

5.8 Relação custo-benefício painéis fotovoltaicos

Quando os módulos fotovoltaicos são utilizados como revestimentos, substituindo materiais convencionais que seriam necessários, é crucial levar em conta os custos economizados com a não aquisição desses materiais. É importante mencionar que, devido a uma expressiva queda de preços — cerca de dez vezes nos últimos dez anos —, os módulos fotovoltaicos atualmente apresentam custos por metro quadrado inferiores aos de muitos materiais de revestimento tradicionais (Zomer, 2021).

Essa análise foi realizada em edifícios de escritórios e divulgada recentemente pelo Laboratório de Energia Solar Fotovoltaica da UFSC. Os resultados mostram que, dependendo do material de fachada escolhido, os painéis fotovoltaicos podem ser considerados como geradores autossuficientes, proporcionando não apenas eficiência energética, mas também uma alternativa economicamente viável (Zomer, 2021). O investimento em um sistema de energia solar fotovoltaica pode trazer retorno financeiro em um intervalo de tempo relativamente curto, especialmente em virtude da diminuição dos custos da eletricidade.

Segundo Canal Solar (2025), O custo de um kit fotovoltaico varia de acordo com a qualidade dos equipamentos e aplicações. Tecnologias de ponta tendem a ser mais caras, pois oferecem maior produtividade e durabilidade. Geralmente, um kit solar é composto por módulos fotovoltaicos, inversor fotovoltaico, string box, estruturas de fixação, cabos e conectores especiais. As placas solares representam cerca de 25% a 40% do custo total do kit, conforme dados da Greener, consultoria especializada no mercado de energia solar. Em janeiro de 2024, o custo médio de um kit fotovoltaico, sem incluir os serviços de instalação, pode variar da seguinte forma:

- Residencial: R\$ 4.240,00 (2 kWp) a R\$ 15.200,00 (8 kWp);
- Comercial: R\$ 21.960,00 (12 kWp) a R\$ 120.750,00 (75 kWp);
- Industrial: R\$ 229.500,00 (150 kWp) a R\$ 1.460.000,00 (1 MWp).

Os valores apresentados mostram a variação de custos conforme a escala e aplicação do sistema fotovoltaico, destacando a importância de avaliar as necessidades específicas de cada projeto para uma decisão de investimento informada. É relevante observar que esses preços se referem a sistemas instalados em telhados. Como mostrado na Figura 41, esses fatores devem ser considerados ao planejar a instalação do sistema fotovoltaico, garantindo uma análise precisa dos custos e benefícios em cada caso.

Figura 41 - Custo médio de sistemas fotovoltaicos.

Preços dos kits fotovoltaicos	
Potência kWp	Valor médio em Reais*
2	R\$ 4.240,00
4	R\$ 8.080,00
8	R\$ 15.200,00
12	R\$ 21.960,00
30	R\$ 47.400,00
50	R\$ 84.000,00
75	R\$ 120.750,00
150	R\$ 229.500,00
300	R\$ 438.000,00
500	R\$ 730.000,00
1000	R\$ 1.460.000,00

Fonte: Canal Solar (2024).

De acordo com a Greener, (2024), os preços dos sistemas de energia solar variam conforme a potência instalada, influenciados também por fatores como a região, os componentes utilizados e a complexidade da instalação. Para um sistema de 4 kWp, o valor médio é de aproximadamente R\$ 12.680,00, podendo haver variações dependendo da qualidade dos equipamentos, das condições do telhado e da mão de obra envolvida.

Além disso, sistemas fotovoltaicos de maior potência tendem a apresentar um custo por watt mais competitivo, tornando-se uma opção mais vantajosa em termos de custo-benefício para consumidores com maior demanda energética. Como ilustrado na Figura 42, essa relação de economia escalonada demonstra que sistemas maiores são mais eficientes em termos de custo inicial por unidade de geração, o que pode resultar em maiores economias a longo prazo, especialmente para projetos que exigem alta capacidade de geração.

Figura 42 - Sistema de energia solar em residências.

Potência kWp	Valor médio em Reais*
2	R\$ 7.740,00
4	R\$ 12.680,00
8	R\$ 21.360,00

Fonte: Greener, (2024).

Para um sistema comercial on-grid com capacidade de 50 kWp, o custo médio de instalação é de R\$ 122.500,00, englobando os painéis fotovoltaicos, inversores, estrutura de fixação, cabeamento, mão de obra especializada e outros componentes essenciais para o funcionamento do sistema. Além disso, o retorno sobre o investimento (ROI) pode variar entre 4 a 7 anos, dependendo do consumo energético, das tarifas locais de eletricidade e dos incentivos disponíveis. Este tipo de sistema também permite a injeção do excedente de energia na rede elétrica, gerando créditos energéticos que podem ser utilizados para reduzir a conta de luz em períodos de menor geração solar.

Como ilustrado na Figura 43, esse modelo de sistema on-grid proporciona uma solução eficiente para empresas e comércios, otimizando tanto a produção de energia solar quanto o retorno financeiro.

Figura 43 - Sistema de energia solar em comércio e pequenos negócios.

Potência kWp	Valor médio em Reais*
12	R\$ 30.480,00
30	R\$ 72.600,00
50	R\$ 122.500,00
75	R\$ 202.500,00

Fonte: Greener (2024).

No Brasil, os incentivos para qualquer fonte de energia renovável distribuída são feitos através de regulamentações, incentivos fiscais, tributários e de isenções de alguns impostos bem como através do financiamento de bancos. Alguns dos incentivos foram consolidados, através de política pública voltadas para o setor, no (ProGD) Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica, lançado pelo governo federal em 2015. Dentre alguns dos principais incentivos previstos pelo ProGD se destacam:

- Isenção de ICMS – Regulamentada pelo Convênio ICMS nº 16/2015, do (Confaz) Conselho Nacional de Política Fazendária. Isenção de PIS/Cofins, ICMS, PIS/Pasep da energia injetada pelo consumidor na rede elétrica. Esse incentivo foi formalizado através da Lei nº 13.169, de 6 de outubro de 2015. Além disso, algumas linhas de crédito vêm sendo criadas especialmente para empresas e investidores que se interessarem na geração distribuída.
- Área Ocupada - outra vantagem do sistema de geração distribuída em relação ao sistema de geração centralizada. O sistema distribuído não necessita de grandes extensões de terra ou até mesmo de água para a geração de energia, diferente disto a geração distribuída pode ser produzida em perímetros urbanos em coberturas ou fachadas dos empreendimentos sem a necessidade de ocupação de uma área complementar.
- Sistema de Compensação de Energia - Outra vantagem do sistema de geração fotovoltaica distribuída consiste no Sistema de Compensação de Energia Elétrica também denominado net metering. Por meio desse sistema, o consumidor irá possuir um medidor de energia bidirecional que opera em ambos os sentidos podendo gerar créditos (Miranda, 2013).

5.9 Benefícios e desafios do sistema fotovoltaico

Em relação aos custos ambas os sistemas são dispendiosos tanto para quem deseja possuir um sistema particular, quanto para o governo que busca através da abertura leilões diminuir os gastos na construção das usinas geradoras. Mota (2021) examinou as vantagens econômicas, sociais e ambientais decorrentes da implantação de sistemas fotovoltaico, o impacto social positivo sobre a renda dos consumidores, que poderão economizar ao pagar tarifas de energia elétrica mais baixas à concessionária. Além disso, enfatizou o impacto econômico, uma vez que a implementação dos sistemas contribuirá para a geração de renda e empregos na região.

As principais vantagens e desvantagens apresentadas nas Figura 18 estão alinhadas com outros achados discutidos. Rosário e Santana (2018), ao analisarem a estrutura do local, o consumo energético local e os níveis de radiação solar, concluíram que a implementação de energia solar fotovoltaica em uma unidade produtiva de móveis é viável. Eles destacaram que o retorno do elevado investimento necessário para a instalação do sistema ocorrerá em curto prazo, proporcionando como benefício imediato a eliminação das despesas com contas de energia elétrica.

Embora o investimento em construções sustentáveis possa ser mais elevado do que em construções convencionais, vale ressaltar que essa escolha resultará em economias significativas no futuro, tanto para os responsáveis pela obra quanto para os proprietários ou usuários do espaço. Outro fator positivo do desenvolvimento da energia solar fotovoltaica centralizada e distribuída é a geração de empregos tanto na construção de usina, como também na fixação de módulos nos telhados ou fachadas de residências e indústrias, bem como também, na fabricação, instalação, manutenção ou limpeza dos módulos que necessitam de mão de obra qualificada, contribuindo assim com a geração de novos postos de trabalhos nas áreas em que estão em operação.

6 CONCLUSÃO

A pesquisa realizada permitiu a identificação de aspectos e características essenciais na geração de energia solar fotovoltaica, tanto na modalidade distribuída quanto na centralizada, através da revisão de múltiplos estudos existentes na literatura. Essa análise considerou as particularidades do contexto brasileiro. À medida que a conscientização sobre os benefícios da energia solar cresce, os sistemas fotovoltaicos se tornam cada vez mais frequentes em edificações, especialmente em países desenvolvidos, o que justifica seu custo inicial elevado.

Os resultados apontam para um crescimento do setor de energia fotovoltaica em várias regiões do mundo, incluindo nações com um potencial de radiação solar inferior ao do Brasil. A expansão da energia solar na China e em algumas áreas da Europa pode ser atribuída, entre outros fatores, a políticas governamentais que incentivam o uso de fontes renováveis. A adoção em larga escala da energia solar revela-se promissora, especialmente com os avanços tecnológicos que podem reduzir consideravelmente os custos de implementação em grande escala. Ademais, essas tecnologias fotovoltaicas estão se tornando mais estéticas, aumentando suas chances de serem integradas em novas construções no Brasil.

A pesquisa enfatiza a relevância dos sistemas fotovoltaicos integrados às edificações (BIPV/T) como uma abordagem inovadora para maximizar a eficiência energética. Realiza-se uma análise das diversas opções de módulos fotovoltaicos disponíveis e suas aplicações na construção civil. Em essência, este estudo reforça a energia solar como uma solução promissora na busca por alternativas sustentáveis no setor da construção civil.

A integração eficaz dessas tecnologias não apenas melhora a eficiência energética dos edifícios, mas também contribui para a redução dos impactos ambientais relacionados à geração de energia convencional. Assim, a incorporação da energia solar na arquitetura representa um avanço significativo rumo a um futuro mais sustentável e resiliente. Esta pesquisa conclui que, apesar dos desafios e oportunidades apresentados por ambas as modalidades de geração de energia solar fotovoltaica, o Brasil possui um grande potencial para o crescimento desse setor. No entanto, é fundamental que políticas governamentais mais eficazes sejam implementadas. Para a geração distribuída, é essencial desenvolver novas regulamentações e oferecer incentivos financeiros, como linhas de crédito, para consumidores que desejam se tornar investidores nesse modelo. Em relação à geração centralizada, a realização de novos leilões e a criação de financiamentos e subsídios são indispensáveis para apoiar as empresas na construção de usinas.

Em suma, os desafios e perspectivas da energia solar fotovoltaica no Brasil estão interligados a diversos fatores. Com base nos resultados desta análise, novas discussões podem ser estimuladas, permitindo uma compreensão mais aprofundada das modalidades de geração distribuída e centralizada, com o intuito de garantir a expansão eficaz da energia solar fotovoltaica no país.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). (2021). **Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012.**

ALMEIDA, E. **Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica.** Belo Horizonte: [s.n.], 2017. 18 p.

ALVITO, David. **COPENHAGEN INTERNATIONAL SCHOOL: UM DIA, TODAS AS ESCOLAS SERÃO ASSIM.** [S. l.]: Edifícios e Energia, 5 jul. 2019.

ARANTEGUI, Roberto Local.; JAGER-WALDAU, Arnulf.; **Photovoltaics and wind status in the European Union after the Paris Agreement.** Science Direct.; 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR - ABSOLAR. **Infográfico ABSOLAR.** 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). **Minas Gerais ultrapassa 3,6 GW de potência instalada em geração própria de energia solar.** 2024.

AUSTRALIAN GOVERNMENT. **Australian Renewable Energy Agency.** 2018.

BUZATTO, Victor Hugo.; **800 mil moradias sociais do Reino Unido receberão painéis solares.**; Sun Volt.; 2017.

CALCA, Marcus Vinícius Contes et al. Outliers detection in a quality control procedure for measurements of solar radiation. **IEEE Latin America Transactions**, v. 17, n. 11, p. 1815-1822, 2019.

CAMARGO, F. **Desafios e oportunidades para a energia solar fotovoltaica no Brasil: recomendações para políticas públicas.** 1 ed. Brasília: WWF-Brasil, 2015.

CAMARGO, L. **Solar and Wind Energy Resource Assessment.** 2015.

CANTON, Natália Vicente. **Análise de eficiência energética de uma residência usando estratégias de arquitetura passiva e energia solar**. 2018.

CARVALHO, Gustavo. **Enxergamos um grande potencial a ser explorado em BIPV**. Depoimento concedido ao analista sênior de P&D da BYD, 2019.

CASTANHEIRA, R. G., CORBELLA, O.D., 2010. Painéis fotovoltaicos: **Sombra e geração de energia nos telhados**. III CBENS—III Congresso Brasileiro de Energia Solar, Belém.

CHIGUERU TIBA et al. Atlas Solarimétrico do Brasil: **Banco de dados solarimétricos**. Ed. Universitária da UFPE, 2000, 111 p.

CORTI, P.; BONOMO, P.; FRONTINI, F. **Building Integrated Photovoltaics: A practical handbook for solar buildings' stakeholders**. Status Report 2020. SUPSI – Swiss BIPV Competence Centre, 2020.

DIAS, P. R. **Caracterização e reciclagem de materiais de módulos fotovoltaicos (painéis solares)**. 2015.

DUPUY, Max e XUAN, Wang.; **China takes steps to stimulate distributed renewable energy generation**.; The Best Thinkers on Energy. 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE; **Balanço Energético Nacional (BEN)**; 2007.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). **Balanço Energético Nacional 2022: Ano base 2021** / Empresa de Pesquisa Energética – Rio de Janeiro: EPE, 2011.

ENERDATA. **World Energy Statistics**. 2019.

EPA, United States Environmental Protection Agency.; **Distributed Generation of Electricity and its Environmental Impacts**, 2017.

EPA, United States Environmental Protection Agency.; **Distributed Generation of Electricity and its Environmental Impacts**, 2017.

FERRER, J.A.; GARRIDO, A. **Eficiência Energética em Edifícios**. [S. l.: s. n.], 2013.

FONSECA, João. **Arquitetura solar e o mercado de sistemas fotovoltaicos: desafios e oportunidades**. 2022.

FRAIDENRAICH, N. **Antecedentes Históricos da Ciência Solar no Brasil. A Tecnologia Solar Fotovoltaica**. Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia. FAE. UFPE. 2005.

FRANÇA, Livia Ferreira de. **Singular e plural: estudos de conforto ambiental à luz de arquitetura bioclimática, eficiência energética e experiência espacial do usuário**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

GARANTIA SOLAR BIPV; BYD; GUARDIAN GLASS BRASIL. **Garantia Solar BIPV, BYD e Guardian Glass Brasil se juntam para viabilizar a fabricação de módulos fotovoltaicos coloridos que se integram à arquitetura e geram energia**, 2025.

GONÇALVES, Gustavo Leite et al. **Avaliação econômica e ambiental de um sistema fotovoltaico integrado à construção-BIPV**. 2021.

GÜNTHER, H. Como elaborar um questionário. **Série: Planejamento de pesquisa nas ciências sociais**. v. 01. Brasília: UNB, 2003.

Hrica, J., Chatterjee, S., TamizhMani, G., 2011. BAPV Array: **thermal modeling and cooling effect of exhaust fan**. 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), Seattle, WA, pp. 3144-3149.

IEA (agência internacional de energia). **Snapshot of global PV markets 2021**. 1 ed. São Paulo: international energy agency, 2021.

IEA. **World Energy Outlook 2021**. 2021.

Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor (IDEC). (2020). **Guia Prático: Energia**.

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). (2020). **Procel e INMETRO lançam regulamentação que reduz custos em sistemas de energia solar fotovoltaica.**

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Electricity Feed-In Law of 1991 ("Stromeinspeisungsgesetz").** 2013.

IEEE. Towards Sustainable Energy: A Systematic Review of Renewable Energy Sources, Technologies, and Public Opinions. IEEE Journals & Magazine, 2019.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **World Energy Transitions Outlook 2024: 1.5°C pathway - Executive Summary.** Abu Dhabi: IRENA, 2024

IRENA (International Renewable Energy Agency). **Renewable energy auctions: analysing** 2016. 1. ed. Abu Dhabi: IRENA, 2017.

IRENA. Renewable Capacity Statistics 2021. **International Renewable Energy Agency,** 2021.

JANNUZZI, Gilberto de Martino; VARELLA, Fabiana K. de O. M.; GOMES, Rodolfo Dourado Maia. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica no Brasil: Panorama da Atual Legislação. **International Energy Initiative**, Campinas/SP, p. 1-43, 1 out. 2009.

JARDIM, C. D. S.; RÜTHER, R.; SALAMONI, I. T.; VIANA, T. D. S.; REBECHI, S. H.; KNOB, P. J. The strategic siting and the roofing area requirements of building-integrated photovoltaic solar energy generators in urban areas in Brazil. **Energy and Buildings** [S.I.], v. 40, n. 3, p. 365-370, 2008.

KALTMAIER JUNIOR, Gunther. **Análise de um sistema de fachada termo fotovoltaico integrado à arquitetura: estudo de caso na cidade de Curitiba, Brasil.** 2020.

LIMA, Francisco José Lopes de.; **Previsão de Irradiação Solar no Nordeste do Brasil Empregando o Modelo Wrf Ajustado por Redes Neurais Artificiais (RNAs).**; São José dos Campos, INPE, 2015.

López, S., Lill, M, 2009.**Guía de Integración Solar Fotovoltaica.Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid,**96 p.

LOYS, Isabelle de. **Utilização de Energia solar fotovoltaica em áreas urbanas: o exemplo da Ecoducha solar**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Escola Politécnica, Programa de Engenharia Urbana, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 116. 2012.

MAIA, Rian Sardinha.; **Energia Solar: O desenvolvimento de um novo mercado.**; Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2018.

MARSH, G. BIPV: innovation puts spotlight on solar. **Renewable Energy Focus** [S.L.], v. 9, n. 3, p. 62-67, 2008.

MATTOS, Gustavo Marques.; **Estudo de Rendimento e Temperatura de Painéis Fotovoltaicos com Uso de Técnica de Concentração Solar**. – Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2016.

MIRANDA, Stella. **Energia solar no Brasil: o que diz a legislação e qual a sua importância?** Canal Solar, [S. l.], p. 0-9, 22 abr. 2022.

MOTA, N. dos S. **Aplicação de materiais da tecnologia solar na construção civil: uma perspectiva de sustentabilidade**. 2021. 60 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Maranhão, Balsas.

OLIVEIRA, Jairo Cardoso de; FARIA, Ana Cristina de. **Impacto econômico da construção sustentável: a reforma do Estádio do Mineirão**. urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 11, p. e20180031, 2019.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA. Novembro de 2021(a) a partir de <http://www.ons.org.br/>.

PENG, C., HUANG, Y., WU, Z., 2011. Building-integrated photovoltaics (BIPV) in architectural design in China. *Energy and Buildings*, vol. 43, n. 12, pp. 3592–3598.

PEREIRA, Naron Xavier. **Desafios e perspectivas da energia solar fotovoltaica no Brasil. 2019**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Guaratinguetá, 2019.

ROSA, Antonio Robson Oliveira da; GASPARIN, Fabiano Perin. **Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil**. *Revista brasileira de energia solar*, v. 7, n. 2, p. 140-147, 2016.

ROSÁRIO, N. S. do; SANTANA, C. G. Eficiência energética como estratégia sustentável na construção civil: **Unidade de produção de móveis de MDF**. *Rev. CEDS*, n. 9, 2018.

RÜTHER, R.; JR., J. U.; VIANA, T.; NASCIMENTO, L. R.; PFITSCHER, P. Performance assessment of a microcrystalline Si PV installation in a warm climate. In: **35th IEEE Conference, Honolulu** - HI, EUA. 2010.

SANTOS, Isis Portolan dos. **Desenvolvimento de ferramenta de apoio à decisão em Projetos de Integração Solar Fotovoltaica à Arquitetura** / Ísis Portolan dos Santos; orientador, Ricardo Ruther – Florianópolis, SC, 2013.

SEBBEN, Gabriel. **Inovações tecnológicas e o futuro da construção sustentável: o impacto da BIPV no mercado imobiliário**. 2022

SILVA, A. N. R.; RAMOS, R. A. R.; SOUZA, L. C. L de.; RODRIGUES, D. S. MENDES, J. F. G. **SIG: Uma Plataforma para Introdução de Técnicas Emergente no Planejamento Urbano, Regional, e de Transportes**. São Carlos: EdUFSCar, 2008. 227p.

SILVA, João. **Políticas energéticas e o impacto da fotovoltaica no Brasil. 2025**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2025.

SILVA, LUZILENE SOUZA et al. **Avaliação de custo benefício da utilização de energia fotovoltaica**. *Revista de Ciência e Tecnologia*, [S. l.], v. 5, n. 9, p. 1-12, 31 dez. 2019.

SILVA, M. R., ARAÚJO, R. E. 2017. Aspectos de segurança em sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. In **VIII CBPDP** - Congresso Brasileiro de P&D em Telecomunicações e Processamento de Sinais (pp. 1-6).

SOARES, M. A., & COSTA, H. K. M. (2022). **The Brazil's power distribution utililites: anassessment about hydro crisisin 2001 and 2021**.

C. SOBRINHO, L. O. 2016. Desenvolvimentos e Pesquisas na Terceira Geração de Células Fotovoltaicas. Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica. **Anais Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS**. 2012.

SOLAR FOTOVOLTAICA - O que você precisa saber antes de adquirir um sistema.

TAGLIANI, Simone. **Construções Verdes: 10 Casas Brasileiras que São Referência em Sustentabilidade**. [S. l.], 22 ago. 2023.

URBANETZ, J.; ZOMER, C. D., RUTHER, R. Compromises between form and function in grid-connected, building-integrated photovoltaics (BIPV) at low-latitude sites. **Building and Environment**. v. 46, p. 2112. 2011.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Érica, 2012. 224p.

ZOMER, Clarissa Debiazi et al. **Método de estimativa da influência do sombreamento parcial na geração energética de sistemas solares fotovoltaicos integrados em edificações**. 2014.

ZOMER, Clarissa Debiazi. **Energia solar fotovoltaica integrada à arquitetura**. [S.l.]: Portal Solar, 2021.