



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Vinícios da Vinci Ferreira da Silva

Aplicação de Tecnologias Solares BIPV em Fachadas na Construção Civil: Uma revisão
sistemática da literatura.

Pau dos Ferros
2024

Vinícios da Vinci Ferreira da Silva

Aplicação de Tecnologias Solares BIPV em Fachadas na Construção Civil: Uma revisão sistemática da literatura.

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Adelson Menezes Lima,
Prof. Dr.

Pau dos Ferros
2024

© 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.

S586a Silva, Vinícios da Vinci Ferreira.
Aplicação de tecnologias solares bipv em
fachadas na construção civil : uma revisão
sistemática da literatura / Vinícios da Vinci
Ferreira Silva. - 2024.
54 f. : il.

Orientador: Adelson Menezes Lima.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2024.

1. bipv. 2. fachada solares. 3. energia solar.
I. Lima, Adelson Menezes, orient. II. Título.

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

Vinícios da Vinci Ferreira da Silva

Aplicação de Tecnologias Solares BIPV em Fachadas na Construção Civil: Uma revisão sistemática da literatura.

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 16/10/2024

BANCA EXAMINADORA

Adelson Menezes Lima, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Paulo César Linhares, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

José Henrique Maciel de Queiroz, Prof. Dr. (EXTERNO)
Membro Examinador

Dedico esse trabalho aos meus avós Luiza e Francisco com muito amor e saudade (in memoriam).

Dedico esta pesquisa aos meus pais, meus maiores e melhores orientadores na vida (in presntes).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me dado forças suficientes durante a minha trajetória na graduação. Em seguida, agradeço aos meus pais, Andreia e Hermes, pelo incentivo aos estudos e à leitura, ao meu irmão e a minha namorada, João e Anna, pelo carinho e suporte durante esta jornada.

Agradeço também ao meu orientador, professor Adelson, pela parceria e ter sido minha luz durante toda essa caminhada. Por fim, e não menos importante gostaria de agradecer a Universidade Federal Rural do Semi - Árido e ao seu corpo docente, por todas as oportunidades de conhecimento que me foram disponibilizadas e pelas experiências únicas que vivi.

“Faça o teu melhor, na condição que você tem, enquanto você não tem condições melhores, para fazer melhor ainda!”

Mario Sergio Cortella

RESUMO

Este estudo revisa a aplicação de tecnologias solares BIPV (Building Integrated Photovoltaics) em fachadas na construção civil por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). A pesquisa foi conduzida em cinco bases de dados: Scopus, IEEE, Science Direct, Web Of Science e Compendex, resultando inicialmente em 2.176 artigos, dos quais 837 foram identificados como únicos após a remoção de duplicatas. Desses, 50 artigos foram selecionados para análise detalhada. A revisão identificou as principais tendências e desafios na adoção de BIPV, com destaque para a evolução estética e funcional dos módulos, que oferecem benefícios como geração de energia, isolamento térmico e redução de custos operacionais e em consonância disso, ressaltando a importância do apoio governamental, bem como a aplicação de subsídios e incentivos fiscais.

Palavras-chave: BIPV; Fachada Solares; Energia Solar.

ABSTRACT

This study reviews the application of BIPV (Building Integrated Photovoltaics) solar technologies on facades in civil construction through a Systematic Literature Review (RSL). The search was conducted in five databases: Scopus, IEEE, Science Direct, Web Of Science and Compendex, initially resulting in 2,176 articles, of which 837 were identified as unique after removing duplicates. Of these, 50 articles were selected for detailed analysis. The review identified the main trends and challenges in the adoption of BIPV, with emphasis on the aesthetic and functional evolution of the modules, which offer benefits such as energy generation, thermal insulation and reduced operational costs and in line with this, highlighting the importance of government support, as well as the application of subsidies and tax incentives.

Keywords: BIPV; Solar Facade; Solar Energy.

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: BASE DE DADOS..... 26

QUADRO 2: ETAPAS A SEREM SEGUIDAS NA METODOLOGIA. 30

QUADRO 3: BASE DE DADOS USADAS PARA BUSCA. 32

QUADRO 4: STRINGS APLICADAS NAS BUSCAS..... 32

QUADRO 5: SÍNTESES DOS TRABALHOS SELECIONADOS. 37

QUADRO 6: CRITÉRIOS QUALITATIVOS PARA RESULTADO FINAL. 43

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: PROJETO DE TELHADO SOLAR.....	18
FIGURA 2: PROJETO DE FACHADA SOLAR.....	18
FIGURA 3: PROJETO DE JANELA SOLAR.....	19
FIGURA 4: MODELO DE TALHAS SOLARES.	20
FIGURA 5: PROJETO DE MÓDULOS EM FACHADA DE ARRANHA CÉU.	21
FIGURA 6: PROJETO DE FACHADA SOLAR 1.	22
FIGURA 7: PROJETO DE FACHADA SOLAR 2.	22
FIGURA 8: PROJETO DE FACHADA SOLAR 3.	23
FIGURA 9: EXEMPLO DE VIDRO TRANSPARENTE FOTOVOLTAICO.	24
FIGURA 10: ARTIGOS PRÉ-SELECIONADOS EM BUSCA PRIMÁRIA E TOTAL SEM DUPLICIDADE.	33
FIGURA 11: ARTIGOS PRÉ-SELECIONADOS NA TRIAGEM 1 E TOTAL SEM DUPLICIDADE ENTRE AS BASES.....	34
FIGURA 12: ARTIGOS SELECIONADOS POR CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO.	35
FIGURA 13: LOCAIS DE REALIZAÇÃO DOS ESTUDOS.	35
FIGURA 14: QUANTITATIVO DE TRABALHOS POR ANO.	36
FIGURA 15: QUANTITATIVO DE ARTIGOS MEDIANTE CRITÉRIOS DE QUALIFICAÇÃO.	44
FIGURA 16: FACHADA BIPV PRETA COM VIDRO LAMINADO EM UM EDIFÍCIO PÚBLICO.	45
FIGURA 17: UNIVERSIDADE TÉCNICA DE VIENA, EDIFÍCIO PÚBLICO ALTO COM FACHADA BIPV.	45
FIGURA 18: MÓDULOS COLORIDAS E COM TEXTURAS.	46
FIGURA 19: FACHADAS DUPLAS COM PERSIANAS FOTOVOLTAICAS.	47
FIGURA 20: JANELAS FOTOVOLTAICAS.	47
FIGURA 21: FACHADA FOTOVOLTAICAS DUPLA.....	48

LISTA DE SÍMBOLOS

@	Arroba
©	Copyright
®	Marca registrada
%	Porcentagem
\$	Cifrão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Objetivos.....	16
1.1.2 Objetivos Específicos	16
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	17
3. METODOLOGIA.....	27
3.1 Tipo e descrição Geral da Pesquisa	27
3.2 Caracterização do Instrumento de Pesquisa	27
3.3 Procedimento e Coleta de Dados.....	28
3.1 Análise Estatística dos Documentos encontrados.....	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 Análise Estatística	32
4.2 Síntese dos Trabalhos Encontrados	37
4.3 Análise do Conteúdo levantado na RSL.....	43
4.3 Discussão dos trabalhos obtidos	45
5 CONCLUSÃO.....	50
REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

No campo das energias renováveis, a revisão sistemática tem sido amplamente aplicada, com destaque para a energia solar fotovoltaica. Esta tecnologia se consolidou como uma solução promissora para atender à crescente demanda global por energia limpa e sustentável (IRENA, 2022). Um exemplo inovador dessa tecnologia é a integração da energia solar fotovoltaica na construção civil, conhecida como BIPV (Building Integrated Photovoltaics). Nos últimos anos, a preocupação com as mudanças climáticas e a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa têm impulsionado a adoção dessa tecnologia (Belazzi, 2018).

Apesar do seu grande potencial, a aplicação dos sistemas BIPV em diversos países ainda enfrenta desafios, como o alto custo inicial, a falta de conhecimento técnico e a ausência de regulamentações específicas (Belazzi, 2018).

No entanto, o mercado da construção civil está em expansão, com empresas nacionais já produzindo módulos em diversas cores e formatos, ajustados às necessidades arquitetônicas (IRENA, 2022). Nesse cenário, surgem diversas questões a serem investigadas, entre elas a viabilidade econômica dos sistemas BIPV, que, apesar dos benefícios ambientais, como a redução das emissões de CO₂, enfrenta barreiras devido aos elevados custos de instalação.

Outro aspecto relevante é a aceitação estética dos BIPV, que muitas vezes encontra resistência entre arquitetos e designers preocupados com o impacto visual dos painéis fotovoltaicos nas fachadas. A aceitação dessas tecnologias depende, em grande parte, da capacidade de os sistemas se integrarem harmoniosamente ao design arquitetônico. Como destacado por (Attoye,2020), a estética é um fator crucial para a adoção de novas tecnologias no mercado.

Além da estética, a personalização dos módulos BIPV representa um desafio que envolve tanto flexibilidade quanto custos adicionais. Embora a customização possa aumentar a atratividade dos sistemas, especialmente em áreas urbanas densamente povoadas, ela também acarreta despesas significativas. Embora a personalização melhore a integração visual dos painéis, o impacto financeiro exige uma análise detalhada de custo-benefício (Kroyer,2021).

Com os avanços tecnológicos e a crescente demanda por soluções sustentáveis, é essencial investigar como diferentes mercados estão se adaptando à adoção da tecnologia BIPV. A relação entre aceitação estética, viabilidade econômica e eficiência energética precisa ser explorada para que se possam propor melhorias. Em países da União Europeia, políticas públicas têm incentivado o uso de energia solar integrada à construção civil, com subsídios e incentivos fiscais que tornam essas tecnologias mais acessíveis (Kroyer,2021).

Por fim, a comparação entre diferentes contextos internacionais, como Singapura, Itália e Chipre, onde os sistemas BIPV já são amplamente utilizados, é fundamental para entender como essas nações superaram barreiras semelhantes. Esses exemplos podem oferecer soluções práticas que podem ser replicadas em outras regiões, como o Brasil, promovendo o crescimento global da tecnologia BIPV e ajudando a enfrentar os desafios relacionados ao custo e à aceitação estética. A inovação tecnológica, que busca desenvolver soluções mais acessíveis e eficientes, é um fator determinante para a otimização da adoção global dos BIPV, contribuindo para o avanço da construção sustentável.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo é: analisar as tendências e desafios da implementação de tecnologias solares em fachadas no setor da construção civil.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para o presente estudo, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Levantamento dos estudos;
- Análise Estatística;
- Análise Qualitativa.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, será apresentado o referencial teórico, que explorará de maneira mais aprofundada os temas abordados neste trabalho, dividido em três seções: uma visão geral sobre BIPV, uma fundamentação completa para o desenvolvimento da RSL e, por último, a aplicação do BIPV em fachadas na construção civil.

Além disso, seção dedicada ao BIPV, serão discutidos os diferentes tipos e sua evolução ao longo do tempo. Em relação à RSL, será fornecida uma análise abrangente da sua história, incluindo o desenvolvimento e a aplicação no mercado, bem como os pilares e tipos de pesquisa relacionados. Além disso, todas as etapas da estrutura mencionada anteriormente serão detalhadas, pois são essenciais para o nosso tipo de pesquisa.

2.1 BIPV (Building Integrated Solar Panels)

O conceito de Building Integrated Photovoltaics (BIPV) emergiu como uma resposta natural à busca por eficiência energética nas construções, buscando integrar soluções sustentáveis e funcionais. Diferentemente dos sistemas fotovoltaicos convencionais, que são adicionados a edifícios já existentes, o BIPV é projetado para fazer parte integrante da estrutura desde a sua concepção.

Segundo Malhotra e Schulz (2017), "a integração de sistemas fotovoltaicos nas construções não apenas oferece uma solução estética, mas também maximiza a eficiência energética, utilizando o próprio edifício como gerador de eletricidade". O desenvolvimento do BIPV começou na década de 1970, motivado pela crise do petróleo e a urgência em encontrar novas fontes de energia. No entanto, foram nas décadas de 1990 e 2000 que inovações tecnológicas possibilitaram a fabricação de painéis solares mais eficientes e acessíveis para uso em edificações.

Gonçalves et al. (2019) afirmam que "o BIPV evoluiu significativamente nos últimos anos, à medida que as tecnologias de células solares avançaram e os custos de produção diminuíram, tornando sua aplicação em edifícios mais viável". Existem diferentes tipos de sistemas BIPV, cada um adequado a partes específicas da construção e com características próprias. O primeiro tipo é o BIPV para telhados, onde os painéis solares substituem materiais de construção tradicionais, como telhas. Essa solução é bastante comum, já que os telhados são frequentemente as superfícies mais expostas ao sol, tornando-os ideais para a geração de energia

solar (MALHOTRA; SCHULZ, 2017). A Figura 1, demonstra exemplo de um projeto de telhado solar.

Figura 1: Projeto de Telhado Solar.



Fonte: Google Imagens (2024).

Outro tipo relevante é o BIPV para fachadas, como pode ser observado na Figura 2, que integra os painéis nas paredes externas dos edifícios. Essa aplicação é particularmente importante em arranha-céus e estruturas de vidro, onde as fachadas recebem grande quantidade de luz solar. Como observado por Santos e Costa (2021), "a integração de módulos fotovoltaicos em fachadas é uma solução interessante para edifícios urbanos, onde o espaço para instalação de painéis convencionais é limitado".

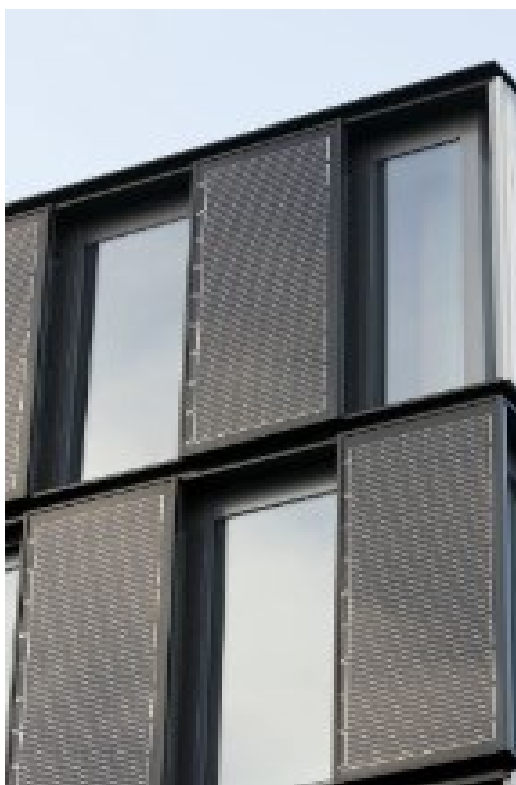
Figura 2: Projeto de Fachada Solar.



Fonte: Google Imagens (2024).

Além disso, há o BIPV para janelas, como pode ser observado na Figura 3, que utiliza tecnologias como o vidro fotovoltaico, permitindo a geração de energia sem comprometer a transparência. Essa é uma abordagem inovadora que transforma áreas envidraçadas, frequentemente vistas como ineficientes em termos de energia, em superfícies que geram eletricidade. "O vidro fotovoltaico é uma das tecnologias mais promissoras no setor de BIPV, pois combina estética com funcionalidade energética", diz Silva (2020).

Figura 3: Projeto de Janela Solar.



Fonte: Google Imagens (2024).

Ao longo do tempo, os sistemas BIPV também evoluíram para incluir telhas solares e persianas fotovoltaicas, cada uma projetada para otimizar o aproveitamento da energia solar em diferentes partes da construção. As telhas solares oferecem uma solução mais estética e discreta, enquanto as persianas fotovoltaicas possibilitam o controle da luz e da temperatura interna, ao mesmo tempo em que geram eletricidade (GONÇALVES et al., 2019). Pode-se observar na Figura 4, exemplo de modelo convencional da telha solar.

Figura 4: Modelo de Talhas Solares.



Fonte: Google Imagens (2024).

A evolução do BIPV foi acelerada não apenas pelos avanços nas tecnologias fotovoltaicas, mas também por incentivos governamentais e regulamentações ambientais. A União Europeia, por exemplo, estabeleceu normas que exigem que novas construções sejam "edifícios de energia quase zero" até 2021, estimulando o uso de tecnologias como o BIPV (SANTOS; COSTA, 2021). Essas regulamentações têm contribuído para tornar o BIPV uma opção mais comum e financeiramente viável em novos projetos de construção.

Os benefícios do BIPV vão além da geração de energia. Eles incluem a redução da necessidade de materiais de construção tradicionais, a diminuição das emissões de carbono e a melhoria da eficiência energética do edifício. Segundo Malhotra e Schulz (2017), "o BIPV pode reduzir significativamente os custos operacionais de uma edificação ao gerar eletricidade localmente e diminuir a dependência de fontes de energia externas".

A estética é outro fator importante. Com a evolução do design dos módulos fotovoltaicos, arquitetos têm mais liberdade para integrar o BIPV em seus projetos, de modo que muitas vezes a aparência do edifício é aprimorada. Silva (2020) observa que "o design dos painéis fotovoltaicos está cada vez mais sofisticado, permitindo uma maior integração visual com o estilo arquitetônico de cada projeto". Sendo assim, a Figura 5, demonstra que exemplo de sofisticação do arranjo em modelo real dos painéis fotovoltaicos.

Figura 5: Projeto de módulos em fachada de arranha céu.



Fonte: Google Imagens (2024).

Entretanto, a implementação generalizada do BIPV ainda enfrenta desafios. O custo inicial, por exemplo, pode ser mais elevado do que o de sistemas fotovoltaicos convencionais. Além disso, há a necessidade de treinamento especializado para arquitetos e engenheiros, já que o BIPV requer conhecimentos interdisciplinares que englobam arquitetura, engenharia elétrica e design sustentável (GONÇALVES et al., 2019).

Apesar dessas dificuldades, as perspectivas para o futuro do BIPV são promissoras. Com a contínua redução dos custos das tecnologias fotovoltaicas e o aumento da conscientização sobre as mudanças climáticas, a demanda por construções sustentáveis deve crescer. Gonçalves et al. (2019) afirmam que "o BIPV tem o potencial de se tornar uma solução padrão para construções nos próximos anos, à medida que as cidades buscam reduzir suas pegadas de carbono e aumentar a eficiência energética".

Por fim, a evolução histórica do BIPV ilustra um caminho de inovação tecnológica em resposta à crescente demanda por soluções sustentáveis no setor da construção civil. A adoção dessa tecnologia não apenas ajuda a mitigar impactos ambientais, mas também oferece vantagens econômicas e estéticas para projetos arquitetônicos. Com os recentes avanços, é razoável afirmar que o BIPV continuará a desempenhar um papel vital na transição para um futuro mais sustentável e energeticamente eficiente.

2.2 Fachada Solares

O conceito de Building Integrated Photovoltaics (BIPV), especialmente em fachadas solares, representa um avanço significativo na busca por eficiência energética e sustentabilidade na construção civil. O BIPV integra painéis fotovoltaicos diretamente na estrutura das edificações, transformando superfícies, como fachadas, em geradores de energia. Segundo Malhotra e Schulz (2017), "a integração de sistemas fotovoltaicos nas construções não apenas proporciona uma solução estética, mas também maximiza a eficiência energética, utilizando o próprio edifício como um gerador de eletricidade", a Figura 6, demonstra exemplo de como a eficiência e sustentabilidade podem se complementar.

Figura 6: Projeto de fachada solar 1.



Fonte: Google Imagens (2024).

Nos últimos anos, a utilização de BIPV em fachadas ganhou destaque, especialmente em edifícios urbanos, conforme pode-se observar na Figura 7.

A aplicação de BIPV em fachadas solares traz vantagens específicas. Em áreas urbanas densamente povoadas, onde os telhados podem ser limitados em espaço e eficiência, as fachadas se tornam uma alternativa ideal para a instalação de módulos fotovoltaicos. "A integração de módulos fotovoltaicos em fachadas é uma solução interessante para edifícios urbanos, onde o espaço para instalação de painéis convencionais é limitado", afirmam Santos e Costa (2021).

Figura 7: Projeto de fachada solar 2.



Fonte: Google Imagens (2024).

Além das vantagens funcionais, as fachadas solares oferecem benefícios estéticos, conferindo uma aparência moderna e tecnológica às edificações. O design dos painéis pode ser adaptado para harmonizar com o estilo arquitetônico, sem comprometer a estética do edifício, conforme aplicado em edifício na Figura 8.

Figura 8: Projeto de fachada solar 3.



Fonte: Google Imagens (2024).

Como destaca Silva (2020), "o design dos painéis fotovoltaicos está cada vez mais sofisticado, permitindo uma integração visual maior com o estilo arquitetônico de cada projeto".

Outro aspecto fundamental do BIPV em fachadas é a possibilidade de utilizar vidro fotovoltaico, que combina transparência e geração de energia, exemplo este, que está em destaque na Figura 9. Essa característica é particularmente relevante em edifícios com grandes áreas envidraçadas, permitindo a entrada de luz natural enquanto as superfícies geram eletricidade. "O vidro fotovoltaico é uma das tecnologias mais promissoras no setor de BIPV, pois combina estética com funcionalidade energética", afirma Silva (2020).

Figura 9: Exemplo de vidro transparente fotovoltaico.



Fonte: Google Imagens (2024).

O desempenho energético das fachadas solares também é um ponto crucial. Como elas recebem luz solar direta por várias horas ao longo do dia, dependendo da orientação do edifício, podem gerar uma quantidade significativa de energia elétrica. Gonçalves et al. (2019) destacam que "o BIPV em fachadas pode fornecer uma contribuição substancial para o suprimento energético de um edifício, reduzindo sua dependência de fontes de energia externas".

Apesar das vantagens, a adoção de BIPV em fachadas enfrenta desafios. Um dos principais obstáculos é o custo inicial, que tende a ser mais elevado em comparação com sistemas fotovoltaicos convencionais. No entanto, como afirmam Malhotra e Schulz (2017), "o BIPV pode reduzir significativamente os custos operacionais de uma edificação ao gerar eletricidade localmente e diminuir a dependência de fontes de energia externas". As economias de longo prazo e os benefícios ambientais justificam o investimento.

A manutenção das fachadas solares também deve ser considerada. Como parte da estrutura do edifício, os módulos BIPV precisam ser projetados para resistir a diferentes condições climáticas e garantir durabilidade a longo prazo. "A implementação de fachadas solares requer um planejamento cuidadoso em termos de resistência a intempéries e durabilidade dos materiais", ressaltam Santos e Costa (2021).

Em termos de impacto ambiental, o uso de BIPV em fachadas contribui diretamente para a redução das emissões de carbono. Ao gerar energia renovável, esses sistemas diminuem a necessidade de fontes de energia baseadas em combustíveis fósseis, ajudando a mitigar os efeitos das mudanças climáticas. "O BIPV tem o potencial de se tornar uma solução padrão para construções nos próximos anos, à medida que as cidades buscam reduzir suas pegadas de carbono e aumentar a eficiência energética", afirmam Gonçalves et al. (2019).

Outro benefício importante é a eficiência térmica proporcionada pelas fachadas solares. Os painéis solares ajudam a isolar o edifício, reduzindo a necessidade de sistemas de climatização, como ar-condicionado. Segundo Silva (2020), "as fachadas solares não apenas geram energia, mas também atuam como barreiras térmicas, melhorando o desempenho energético geral da edificação".

A integração de BIPV em fachadas também estimula a inovação arquitetônica, permitindo que arquitetos experimentem novos formatos e materiais. Essa tecnologia oferece flexibilidade para criar edifícios que sejam não apenas eficientes em termos de energia, mas também visualmente atrativos. Como observam Malhotra e Schulz (2017), "a integração de BIPV oferece novas possibilidades criativas para arquitetos, permitindo que os edifícios se destaquem tanto por seu design quanto por sua sustentabilidade".

Por fim, o futuro do BIPV em fachadas solares parece promissor. Com a evolução contínua das tecnologias fotovoltaicas e o aumento da conscientização sobre a importância da sustentabilidade, espera-se que mais projetos de construção incorporem essa solução nos próximos anos. "O BIPV continuará desempenhando um papel fundamental na transição para um futuro mais sustentável e energeticamente eficiente", concluem Gonçalves et al. (2019).

2.3 Revisão Sistemática da Literatura (RSL)

A história das revisões sistemáticas e da metanálise começou no início do século XX, mas ganhou força só nos anos 1990. A primeira metanálise surgiu em 1904, e a primeira revisão sistemática foi publicada em 1955. A partir da década de 1980, revisões sistemáticas e metanálises consolidaram-se na área da saúde com publicações influentes e a criação da Colaboração Cochrane, que estabeleceu diretrizes para revisões de qualidade.

As revisões sistemáticas são classificadas em três tipos principais: com meta-análise (para consolidar dados quantitativos), narrativas (para integrar estudos teóricos ou conceituais variados) e meta-sínteses (para estudos qualitativos). Existem também revisões mistas, que combinam dados quantitativos e qualitativos, adaptando-se a diferentes contextos e

necessidades. Ferramentas como PRISMA e MMAT ajudam a garantir a qualidade e a transparência das revisões, guiando desde a elaboração até a publicação.

A produção de uma revisão sistemática inclui etapas essenciais: definição do tema, escolha de bases de dados adequadas, formulação de estratégias de busca, e delimitação da questão de pesquisa (seguindo o modelo PICO: população, intervenção, comparação e resultados). A seleção de bases de dados relevantes é vital para um levantamento bibliográfico eficaz, permitindo que as revisões abordem questões de forma mais robusta e detalhada.

Quadro 1: Base de Dados.

SciELO;
LISA;
LISTA;
SCOPUS;
PsycINFO;
IEEE Xplore;
Medline Ovid;
Web Of Science.

Fonte: Autores (2024).

As bases de dados acadêmicas são voltadas a diferentes públicos e abordam temas variados, com foco específico em certos tipos de documentos. Por isso, escolher as bases adequadas ao tema é essencial, incluindo aquelas de acesso restrito em universidades e institutos de pesquisa, como o Portal de Periódicos Capes, que oferece acesso a ampla coleção científica (Coordenação, 2019).

Sendo assim, para uma busca eficiente em bases bibliográficas, deve-se elaborar uma estratégia avançada, que permite pesquisar campos específicos como título, autor e data de publicação. Ferramentas como operadores booleanos (AND, OR e NOT) ajudam a direcionar a pesquisa. Registros detalhados da estratégia de busca, com mapeamento terminológico e consultas em dicionários especializados, são recomendáveis para garantir a replicabilidade da revisão.

Os documentos recuperados podem ser organizados em softwares de referência para evitar duplicidade. A seleção deve ser feita por pelo menos dois revisores, com um terceiro para mediar possíveis divergências. O processo de seleção segue etapas rigorosas, iniciando pelos títulos, passando pelos resumos e, por fim, uma análise crítica completa dos estudos, seguindo diretrizes como o diagrama de fluxo PRISMA (2015).

3. METODOLOGIA

Neste capítulo, será apresentada a metodologia adotada neste estudo, em conformidade com os objetivos e especificações propostos. De modo geral, foi conduzida uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) realizado no período de setembro de 2023 até agosto de 2024, com o propósito de investigar como o mercado tem se ajustado à utilização de BIPV em fachadas, com foco específico no setor da construção civil.

3.1 Tipo e descrição Geral da Pesquisa

Este estudo pode ser classificado como uma pesquisa qualitativa, com foco em gerar resultados sobre como a tecnologia BIPV é aplicada em fachadas na construção civil. A linha de pesquisa adotada é de natureza exploratória, visto que ainda não existem estudos sistematizados que tratem diretamente da integração de fachadas solares. No que diz respeito à abordagem, ela é predominantemente qualitativa, com a revisão bibliográfica baseada em dados textuais.

Houve uma influência significativa do tema nas pesquisas, e os resultados obtidos buscaram expandir amplamente o conhecimento sobre o assunto, considerando sua relevância. Em termos de procedimentos práticos, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), com o objetivo de investigar o que já foi produzido e pesquisado sobre o tema, aplicando ferramentas adequadas para analisar os resultados. A delimitação da pesquisa foi transversal, pois os dados foram coletados em um intervalo de tempo específico, sem a necessidade de acompanhar uma evolução histórica.

3.2 Caracterização do Instrumento de Pesquisa

Para realizar a revisão sistemática, foi necessário utilizar o método de Cronin, Ryan e Coughlan (2008), com o objetivo de identificar os trabalhos relacionados ao tema em questão. Após a seleção dos estudos mais relevantes, foi realizada uma análise qualitativa, focada no conteúdo dos trabalhos selecionados. Esse modelo de pesquisa foi escolhido porque permite integrar estudos práticos com os teóricos, abrangendo tanto abordagens qualitativas quanto quantitativas.

Conforme o trabalho de Cronin, Ryan e Coughlan (2008), a revisão sistemática possibilita a seleção de artigos de revisão e de pesquisa, ampliando a análise. A escolha dessa abordagem visou examinar um conjunto de estudos, observando características como o ano de publicação, metodologias adotadas, entre outros aspectos relevantes.

Dessa forma, o discurso dos trabalhos foi cuidadosamente analisado para abordar de maneira eficaz o problema de pesquisa. Todos os argumentos dos trabalhos selecionados foram lidos integralmente, e as principais ideias foram escolhidas conforme sua pertinência, seguindo rigorosamente os critérios e metodologias exigidos para a realização de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL).

3.3 Procedimento e Coleta de Dados

Tendo em vista que a revisão sistemática apresenta etapas rigorosamente definidas e um processo criterioso para a busca e caracterização de informações, com foco em diversos trabalhos empíricos, a revisão integrativa também se destaca por seu rigor, especialmente quando comparada à RSL. No entanto, a revisão integrativa permite a inclusão tanto de artigos teóricos quanto empíricos, o que torna seu procedimento adequado para uma análise mais abrangente. Portanto, este trabalho se caracteriza como uma revisão integrativa da literatura, conforme será detalhado a seguir (CRISTIANE et al., 2001).

Conforme mencionado, seguimos o protocolo de Cronin, Ryan & Coughlan (2008). Durante o processo de revisão, os seguintes procedimentos são exigidos e rigorosamente seguidos:

1. Formular a pergunta de pesquisa;
2. Definir os critérios para inclusão e exclusão dos estudos;
3. Identificar e acessar as fontes relevantes de literatura;
4. Avaliar a qualidade dos estudos selecionados;
5. Realizar a busca, análise e divulgação dos resultados.

Esse conjunto de etapas assegura que a revisão seja conduzida de maneira organizada e rigorosa, permitindo uma análise confiável e aprofundada dos dados coletados.

a) Definir a pergunta de pesquisa: Como se dar a aplicação de tecnologias solares BIPV em fachadas na construção civil?

b) Definir Critérios de Inclusão ou Exclusão: As palavras-chave utilizadas na pesquisa foram: “solar ceramics”, “solar ceramics and facade”, “solar cladding and facade”, “solar coating and civic construction”, “solar ceramics and construction civil”, “solar ceramics and

facade and construction civil”, “technology and solar ceramics”, “technology and solar ceramics and facade” e “technology and solar ceramics and civil construction”. Essas palavras-chave foram buscadas em inglês com o objetivo de ampliar o resultado dos trabalhos e permitir comparações com práticas adotadas em diferentes partes do mundo. Para otimizar a busca, foram utilizados operadores booleanos, conectando as palavras-chave de maneira eficiente.

Além disso, as palavras-chave foram restringidas aos títulos dos trabalhos, com o intuito de garantir que a literatura selecionada estivesse diretamente relacionada ao tema, assegurando maior especificidade e evitando a inclusão de estudos irrelevantes. O período de busca abrangeu os anos de 2000 a 2024, com o objetivo de incluir uma quantidade significativa de estudos relevantes sobre o tema.

Após a busca, os títulos e resumos dos estudos retornados foram analisados para verificar sua adequação ao tema proposto. Apenas os trabalhos que atendiam aos critérios de inclusão foram selecionados. Foram excluídos estudos que tratavam de formação de professores, aplicação com docentes, livros didáticos ou ensino voltado para pessoas com necessidades especiais. Para a realização do estudo, foram empregadas bases de dados, incluindo:

1. Scopus;
2. Science Direct;
3. Web Of Science;
4. IEEE;
5. Compedex.

c) Selecionando e acessando a literatura: No início, foram analisados apenas o título, o resumo e as palavras-chave do trabalho. Se houver concordância, o artigo será selecionado para uma leitura completa e finalização.

d) Avaliação da qualidade da literatura incluída na avaliação: Após a aplicação do primeiro conjunto de filtros, os trabalhos aprovados foram submetidos a um segundo conjunto de critérios, que incluía a leitura do título, resumo, introdução e conclusões. Se o conteúdo total do trabalho estivesse em conformidade com os critérios estabelecidos, ele seria incluído na análise; caso contrário, seria descartado.

Os estudos foram organizados em categorias com base em seus respectivos buscadores e armazenados em pastas específicas. Essa abordagem visou facilitar o controle sobre os trabalhos totalmente selecionados e a origem de cada um deles. Com isso, conforme Quadro 2,

é possível visualizar de maneira geral, todos os passos que foram seguidos para desenvolver a pesquisa.

Quadro 2: Etapas a serem seguidas na metodologia.

ETAPAS		
1ª Etapa: Identificação da temática e elaboração da questão de pesquisa.	TEMA: APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS SOLARES BIPV EM FACHADAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.	
	QUESTÃO DE PESQUISA: ANALISAR AS TENDÊNCIAS E DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DE TECNOLOGIAS SOLARES EM FACHADAS NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL.	
2ª Etapa: Definição da estratégia de busca nas bases de dados: Estratégia de busca: 1º Definição das bases de dados; 2º Definição das palavras-chave e operadores booleanos.	Bases	As palavras-chave /operadores booleanos
	<i>Scopus</i> <i>Science</i> <i>Direct</i> <i>Web Of</i> <i>Science</i> <i>IEEE</i> <i>Compedex</i>	solar ceramics solar ceramics and facade solar cladding and facade solar coating and civic construction solar cladding and facade solar ceramics and construction civil solar ceramics and facade and construction civil technology and solar ceramics technology and solar ceramics and civil construction
3ª Etapa – Elaborando os critérios de inclusão e exclusão		
Crítérios de inclusão: Artigos que apresentem com clareza os experimentos e metodologia aplicada Artigos que apresentem coerência com o tema técnico proposto; Trabalhos relacionados a aplicação de módulos e painéis solares em fachadas.	Crítérios de exclusão: Artigos com digressão do tema técnico proposto; Artigos secundários; Artigos incompletos.	
4ª Etapa – Busca dos materiais nas bases de dados de acordo com critérios de inclusão e exclusão.	Período de realização da Busca: 03/09/2023 á 01/10/2024	
5ª Etapa – Organização dos estudos pré-selecionados e selecionados.	Leitura do resumo, palavras-chave e título das publicações considerando a questão da pesquisa e os critérios de inclusão e exclusão; Leitura na íntegra dos estudos considerando os critérios de inclusão e exclusão; Organização dos estudos pré-selecionados; Identificação dos estudos selecionados.	
6ª Etapa – Categorização dos estudos selecionados	Categorização e análise das informações; Síntese dos estudos selecionados.	
7ª Etapa – Análise, Interpretação e Discussão dos dados	Análise e interpretação dos resultados; Discussão dos resultados.	

Fonte: Autoria Própria.

e) **Resumir e explicar os resultados:** Esta etapa incluiu uma análise detalhada e abrangente de cada obra, bem como uma leitura e interpretação minuciosa das obras publicadas, a fim de extrair os principais modelos e formas em que o BIVP é abordado nos países em que as pesquisas foram encontradas, tendo para si uma seção que discutiu os resultados da RSL.

3.1 Análise Estatística dos Documentos encontrados

As análises estatísticas e discursivas são conduzidas com os artigos selecionados na Revisão Sistemática da Literatura, logo após a conclusão do procedimento de RSL descrito anteriormente.

Para a análise estatística, adota-se o seguinte método: os artigos selecionados são organizados em uma tabela com informações gerais, como título, ano de publicação, tipo de pesquisa, metodologia utilizada e país de origem. Com base nessa tabulação, gráficos são elaborados para representar visualmente essas categorias, seguidos de observações e comentários sobre as informações categorizadas.

Na análise do discurso, emprega-se uma abordagem qualitativa. Cada trabalho é examinado na íntegra, e os principais argumentos qualitativos são extraídos e destacados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise Estatística

A revisão analisou trabalhos na literatura científica que tratam das aplicações das fachadas solares na construção civil. No entanto, devido à baixa quantidade de documentos específicos sobre o tema mencionado, optou-se por expandir a pesquisa para incluir trabalhos que abordam métodos construtivos utilizados, designs, materiais inovadores, sistemas de resfriamento e topologias de conexões elétricas envolvendo células solares, entre outros aspectos relacionados às telhas solares.

Os resultados e análises dos dados obtidos com as ferramentas metodológicas descritas no capítulo anterior são apresentados neste capítulo. Os dados obtidos por meio da pesquisa de RSL serão apresentados na primeira seção, seguidos de uma análise de conteúdo desses dados na segunda seção.

Com isso, conforme Quadro 3, os estudos foram realizados nos bancos de dados:

Quadro 3: Base de dados usadas para busca.

Nº	BASE DE DADOS
1	Scopus
2	Science Direct
3	Web Of Science
4	IEEE
5	Compedex

Fonte: Autor (2024).

Sendo assim, como foi exposto, em cada banco de dados, foram usadas strings apresentadas no Quadro 4, afim de delimitar o tema em questão e trazer consigo um melhor resultado.

Quadro 4: Strings aplicadas nas buscas.

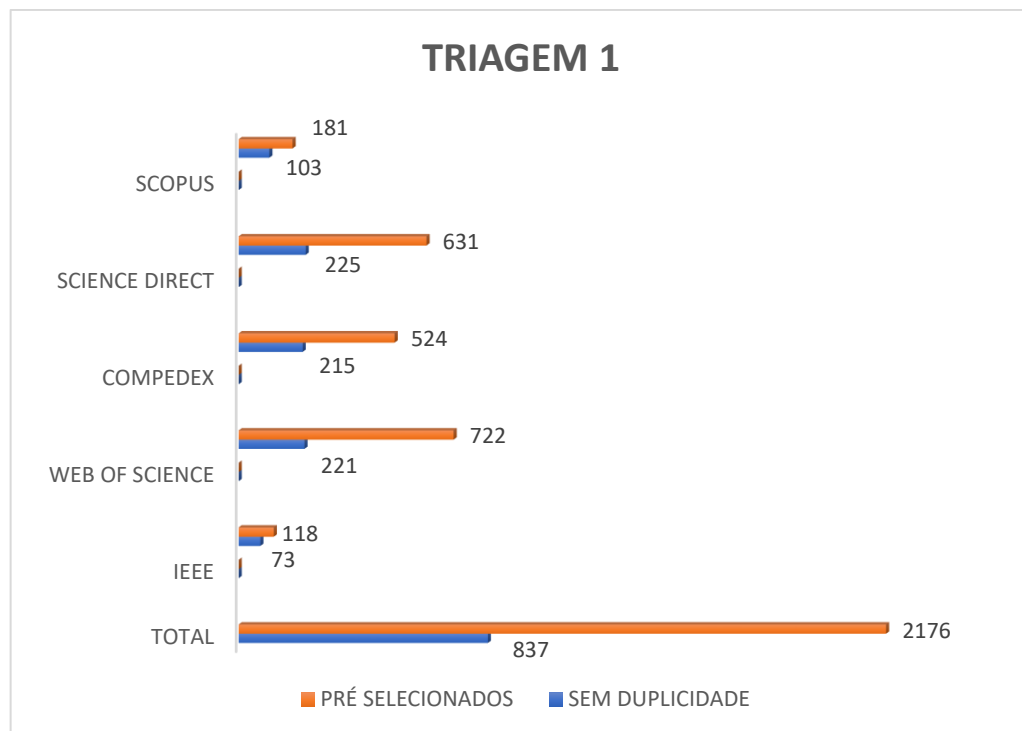
Nº	CONFORMAÇÃO DAS STRINGS
1	solar ceramics
2	solar ceramics AND facade
3	solar cladding AND facade
4	solar coating AND civic construction

5	solar cladding AND facade
6	solar ceramics AND construction civil
7	solar ceramics AND facade AND construction civil
8	technology AND solar ceramics
9	technology AND solar ceramics AND facade
10	technology AND solar ceramics AND civil construction

Fonte: Autor (2024).

Conforme mencionado, o primeiro passo da revisão sistemática é realizar um levantamento geral da literatura disponível sobre a temática proposta, utilizando as bases de dados listadas no Quadro 3 e aplicando os operadores booleanos e strings descritos no quadro 4. O retorno inicial desse levantamento é um quantitativo geral de estudos, de forma que não considera de forma qualitativa, já que a seleção inicial é baseada apenas na correlação com os termos de busca, caracterizando-se como uma primeira triagem, conforme pode-se observar na figura 10.

Figura 10: Artigos pré-selecionados em busca primária e total sem duplicidade.



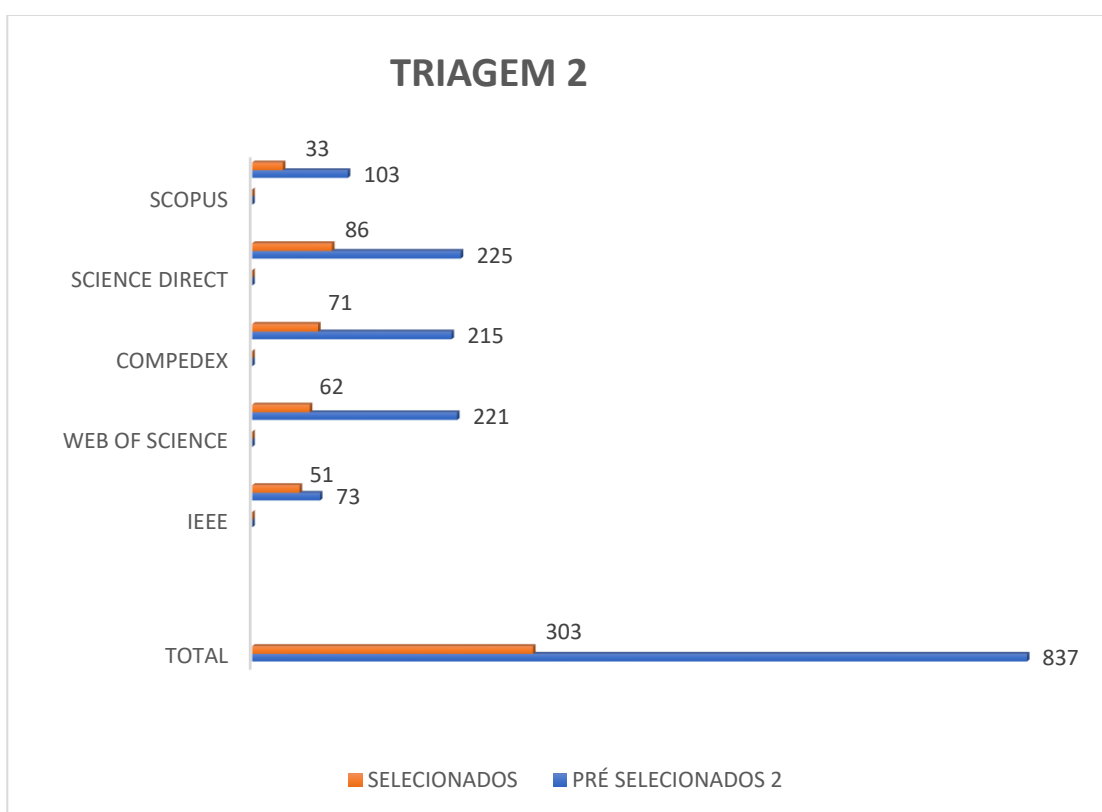
Fonte: Autor (2024).

Como resultado da aplicação dos construtos de pesquisa, foram obtidos 2.176 experimentos. Desses, 38,47% eram artigos repetidos, ou seja, estavam presentes na mesma

base de dados várias vezes. Isso reduziu o total para 837 trabalhos únicos. Esse índice de repetição é comum em cada base, o que justifica a necessidade de realizar verificações para eliminar duplicidades e garantir a exclusividade dos artigos analisados em cada base respectiva.

Portanto, é necessário realizar uma segunda triagem. Esta etapa tem como objetivo identificar a duplicidade, mas não na mesma base de dados. Em vez disso, buscamos verificar a repetição dos trabalhos selecionados na primeira triagem entre as diferentes bases pesquisadas, sendo assim, a figura 11, traz consigo uma síntese dos resultados obtidos.

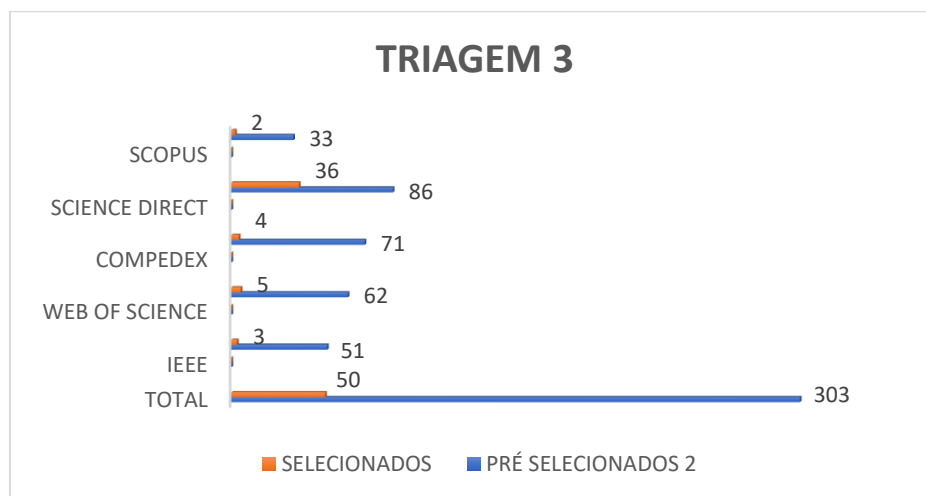
Figura 11: Artigos pré-selecionados na triagem 1 e total sem duplicidade entre as bases.



Fonte: Autor (2024).

Com isso, a primeira triagem devolveu um total de 837 trabalhos e após a segunda análise criteriosa, foi constatado um índice de 36,20% de repetição dos artigos (entre as bases de dados), sendo assim, foram feitas as devidas remoções dos mesmos, resultando-se em um total de 303 trabalhos selecionados para próxima análise.

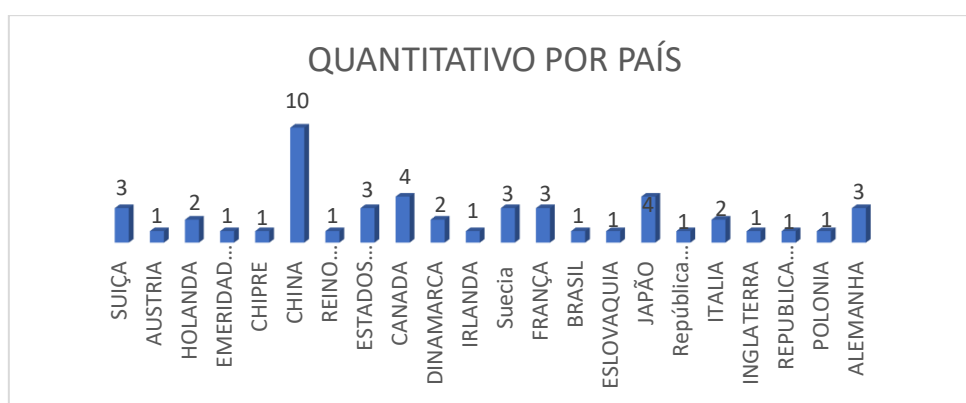
Após garantir que todos os trabalhos não se repetem, é possível aplicar todos os critérios de inclusão e exclusão exposto na metodologia, afim de se obter uma maior precisão no resultado final, conforme resultados da Figura 12.

Figura 12: Artigos selecionados por critérios de inclusão e exclusão.

Fonte: Autor (2024).

É possível afirmar, que após aplicação dos respectivos critérios, a pesquisa devolveu um resultado final de 50 trabalhos, os quais foram lidos na íntegra e analisados conforme critérios, bem como sua relevância diante da temática proposta. Vale destacar, que essa pesquisa é do tipo qualitativa, que busca apresentar relevância nas pesquisas escolhidas.

Na presente seção é analisada a contabilização das informações dos 50 documentos admitidos nessa RSL. Para tal, apresenta-se uma análise bibliométrica ilustrado na figura 13, considerando o local de realização dos estudos, vale destacar o número de trabalhos desenvolvidos na china, totalizando 10 trabalhos encontrados.

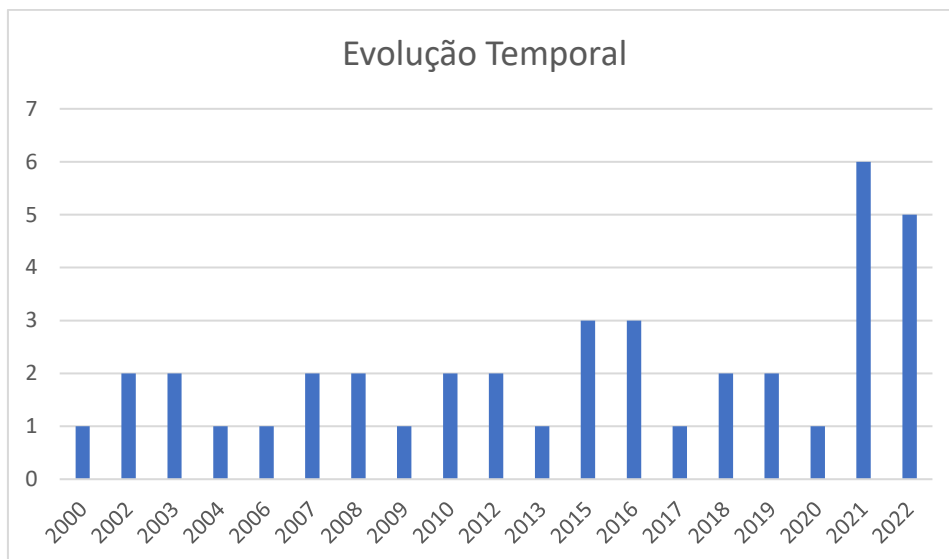
Figura 13: Locais de realização dos estudos.

Fonte: Autor (2024).

De acordo com os dados, os países europeus e asiáticos são os locais de estudo mais representativos entre os trabalhos selecionados, somando aproximadamente 78,2% dos estudos encontrados. Segundo Paleati (2021), isso reflete a valorização das energias renováveis pela comunidade acadêmica nessas regiões, além do esforço contínuo em inovações tecnológicas

para atender às qualificações e exigências do mercado. Outro fator importante, é observar a evolução temporal dos respectivos trabalhos na Figura 14:

Figura 14: Quantitativo de Trabalhos por ano.



Fonte: Autor (2024).

Diante dos resultados explanados na Figura 14, é possível afirmar que há uma uniformidade em relação aos valores temporais até o ano de 2020. É notório e importante destacar, o avanço significativo na produção e publicação das pesquisas referente ao tema em questão nos anos de 2021 e 2023, totalizando um resultado de 11 trabalhos nessa crescente.

4.2 Síntese dos Trabalhos Encontrados

Sendo assim, serão destacados, em síntese, todos os trabalhos selecionados nas criteriosas buscas de inclusão e exclusão, apresentando as principais informações, bem como, autor e ano de publicação, conforme Quadro 5.

Quadro 5: Sínteses dos Trabalhos selecionados.

AUTOR	SINTESE
Gabriele Eder et al (2017).	O estudo avaliou o design de cores dos elementos BIPV impressos no vidro frontal dos módulos, comparando estética e desempenho elétrico. Foram realizadas simulações e testes experimentais para diferentes padrões de impressão e situações de instalação. Resultados indicaram que a eficiência dos módulos variou entre 50-90% comparado aos módulos sem impressão, com as simulações corroborando os dados experimentais, prevendo o impacto de novos designs.
Gerhard Peharz (2019).	O trabalho mostra que fachadas BIPV convencionais foram modificadas em cor e aparência para solucionar conflitos, impulsionando a personalização no design. A implementação em paredes e janelas é crucial para o futuro do BIPV, destacando a necessidade de aprimoramento tecnológico e pesquisa em novas tecnologias emergentes.
Chris Tzikas (2018)	O estudo avaliou o desempenho de protótipos de fachadas fotovoltaicas de diferentes tecnologias, cores e texturas. Um protótipo foi construído e monitorado na SolarBEAT, consistindo em 9 painéis fotovoltaicos com vidros solares planos e texturizados nas cores preto, cinza e vermelho. Os resultados indicam uma queda de desempenho inferior a 20% para todas as cores e texturas testadas.
Attoye (2017)	O estudo mostra que o avanço da Fotovoltaica Integrada em Edifícios (BIPV) transformou fachadas em geradores de energia renovável, combinando estética e controle ambiental. A personalização de BIPV pode resolver conflitos entre design arquitetônico e desempenho energético, aumentando a adoção e eficiência desses sistemas. Pesquisas mostram que a customização pode melhorar a integração e a geração de energia em até 80%, superando barreiras como estética e desempenho.
Rafaela A (2016)	Este artigo revisa estudos sobre análise térmica de fachadas duplas com painéis fotovoltaicos integrados (BIPV). A investigação se concentra em sistemas ventilados naturalmente e mecanicamente, destacando a predominância de estudos em ventilação mecânica devido à complexidade da ventilação natural. O artigo compara correlações de transferência de calor propostas para diferentes condições e faixas de número Ra.
Alejandro Prieto (2017)	O estudo promove a energia solar como fonte limpa, mas também enfatiza que sua aplicação no ambiente construído ainda é limitada. Tecnologias como BIPV e BIST são alternativas promissoras, mas enfrentam barreiras para ampla integração em fachadas. Este artigo discute essas barreiras, baseando-se em um inquérito com profissionais da área, e faz parte do projeto COOLFACADE da TU Delft.

AC Longas (2017)	O estudo enfatiza que na Suíça, novas diretrizes energéticas buscam reduzir a pegada de carbono dos edifícios, destacando a eficiência da Fotovoltaica Integrada em Edifícios (BIPV). No entanto, sua adoção é limitada pela resistência dos arquitetos, que consideram suas qualidades estéticas insuficientes.
Yongqian g Luo (2017)	A pesquisa propõe uma nova fachada dupla com persianas fotovoltaicas (PVB-DSF), que combina geração de energia, controle solar e flexibilidade na iluminação. Estudada em uma área de clima extremo na China, a PVB-DSF mostrou desempenho térmico superior em comparação com fachadas duplas convencionais, resultando em economias de energia de até 25,57% no verão. Os resultados indicam que o espaçamento entre as persianas fotovoltaicas influencia positivamente a eficiência do sistema.
Meng Wang (2017)	Este estudo compara o desempenho de fachadas fotovoltaicas duplas (PV-DSF) e unidades de vidro isolante fotovoltaico (PV-IGU) em termos de ganho de calor solar, isolamento térmico e eficiência de conversão de energia. Os resultados mostram que o PV-DSF reduz melhor o ganho de calor solar, enquanto o PV-IGU apresenta ligeiramente melhor isolamento térmico. Em diferentes climas na China, ambos demonstram potenciais significativos de economia de energia, com o PV-IGU mostrando um desempenho ligeiramente superior em média.
Sung Lok Faça (2017)	O estudo avalia os benefícios energéticos de janelas fotovoltaicas integradas (BIPV) em um edifício residencial em clima quente e úmido, destacando sua capacidade de gerar eletricidade e regular a luz natural. Os resultados indicam que janelas voltadas para o sul maximizam a geração de energia e reduzem as cargas de refrigeração, enquanto janelas voltadas para o leste oferecem maior economia de energia para iluminação. As janelas BIPV podem reduzir o consumo anual de energia em 12-21% e a demanda de pico de refrigeração em 14-26%, com janelas maiores proporcionando ainda mais economia.
Peng, JQ (2015)	O trabalho mostra que a fachada dupla, composta por múltiplas camadas, pode melhorar o desempenho térmico em comparação com fachadas convencionais de camada única. Este estudo, realizado em Hong Kong, utilizou simulações com EnergyPlus para avaliar o desempenho energético de diversas configurações de fachadas duplas, mostrando uma economia de até 26% na energia de resfriamento com um sistema específico. No entanto, o longo período de retorno de 81 anos torna sua adoção economicamente inviável, necessitando de apoio governamental para promover sua implementação.
Hachem (2016)	O estudo analisa como o design geométrico de fachadas duplas voltadas para o equador afeta o desempenho energético de edifícios de escritórios. Foram investigadas duas geometrias principais: uma simples de placa dobrada e uma mais complexa baseada em pirâmides. Os resultados mostram que, embora essas configurações possam aumentar a carga de aquecimento, elas reduzem a carga de arrefecimento e potencializam a geração de eletricidade, superando em até 80% a geração de fachadas planas, especialmente em Calgary, Alberta.
Hagar Elarga (2015)	O estudo mostra que o setor da construção na Europa representa mais de 40% do consumo total de energia, exigindo novas estratégias de energia renovável para reduzir a dependência de combustíveis fósseis até 2020 e 2050. Este estudo analisa o desempenho energético de um edifício com fachada integrada que utiliza módulos fotovoltaicos semitransparentes, comparando diferentes sistemas de ventilação da cavidade, composições de envidraçamento e condições climáticas. A pesquisa, realizada com TRNSYS, propõe uma otimização entre sistemas de ventilação híbrido e natural para melhorar a eficiência de conversão das células fotovoltaicas.

Jinping Peng (2013)	Este artigo analisa o desempenho térmico anual de uma parede fotovoltaica em uma fachada multicamadas, mostrando que, em comparação a uma parede normal, a parede fotovoltaica voltada para o sul pode reduzir o ganho de calor em 51% no verão em Hong Kong. No inverno, a parede também diminui o ganho de calor diurno e a perda noturna em 69% e 32%, respectivamente. A substituição de uma parede normal por uma fotovoltaica resulta em uma redução anual de 52,1 kWh no consumo de energia térmica, correspondendo a uma economia de 18,6 kWh na energia elétrica do sistema de ar condicionado.
Quesada (2012)	O estudo mostra que na antiguidade, as pessoas já utilizavam princípios de arquitetura solar, orientando suas casas para o sol. Atualmente, a arquitetura solar está em revolução com o surgimento de fachadas solares, que integram aquecimento, ventilação, isolamento, sombreamento e geração de eletricidade. Este artigo revisa os desenvolvimentos significativos nesse campo na última década.
Yang (2000)	O estudo investiga a transferência de calor em paredes fotovoltaicas para determinar sua contribuição para a carga de resfriamento em edifícios. Uma nova definição de temperatura exterior média horária é proposta para simplificar os cálculos, demonstrando que os ganhos de calor e a carga de resfriamento podem ser avaliados usando dados meteorológicos de cidades como Hong Kong, Xangai e Pequim. Os resultados indicam que a integração de paredes fotovoltaicas reduz a carga de resfriamento em 33% a 50% em comparação com paredes maciças.
Mallick (2006)	O estudo analisa um novo concentrador fotovoltaico parabólico assimétrico, que aumenta o fluxo solar na superfície fotovoltaica, reduzindo a quantidade de material necessário. A pesquisa mostrou uma relação de potência de 1,62 em comparação com um painel fotovoltaico não concentrador, com eficiências de conversão de 8,6% e 6,8%, respectivamente. A temperatura média da célula solar no sistema concentrador foi apenas 12 °C maior que no sistema não concentrador com a mesma área de célula.
M Brogren (2003)	O estudo demonstra um novo elemento concentrador de parede fotovoltaica foi desenvolvido, utilizando módulos de Cu(In,Ga)Se ₂ , refletores de alumínio e isolamento para integração predial, com uma razão de concentração geométrica de cerca de 3×. A potência elétrica máxima dos módulos concentradores é apenas 1,9 vezes maior que a de módulos verticais equivalentes, devido a perdas ópticas e uma redução no fator de preenchimento de 0,6 para 0,5. A eficiência óptica do sistema alcançou 76% a uma altura solar efetiva de 40°.
Tapas K Mallick (2004)	O trabalho expõe o estudo de um novo concentrador fotovoltaico parabólico composto assimétrico sem imagem (ACPPVC) foi projetado e testado na Universidade de Ulster, onde diferentes configurações de cadeias fotovoltaicas conectadas em série foram avaliadas. Os experimentos revelaram que o ACPPVC aumentou o ponto de potência máximo em 62% em comparação a um painel fotovoltaico não concentrador semelhante. A geração máxima de energia, fator de preenchimento e eficiência do sistema foram calculados a partir das curvas I-V obtidas nas condições de teste.
Ji Jie (2002)	O estudo analisa um modelo de simulação para paredes fotovoltaicas em Hong Kong em 1989, considerando modos de integração com e sem ventilação. Os resultados indicam que, embora os modos de integração tenham pouco impacto na produção anual de energia, eles afetam significativamente o ganho de calor. A pesquisa destaca a importância da orientação das paredes na eficiência térmica e elétrica.
TT Chow (2007)	O estudo mostra o desenvolvimento da tecnologia solar integrada em edifícios levou a alternativas de design de fixação de painéis solares nas fachadas, visando melhor desempenho energético. Um estudo experimental de um sistema fotovoltaico e coletor de água quente em fachadas verticais mostrou uma

	eficiência térmica de 38,9% e uma eficiência de conversão elétrica de 8,56%. Sugestões foram feitas para aprimorar o desempenho do sistema e reduzir as cargas térmicas do espaço em diferentes estações do ano.
Jie Jia (2003)	O artigo apresenta um modelo térmico computacional para analisar o desempenho anual de um sistema híbrido fotovoltaico/coletor térmico em fachadas de edifícios residenciais em Hong Kong. Os resultados mostram que os módulos híbridos EPV e BPV possuem eficiências elétricas médias anuais de 4,3% e 10,3%, e eficiências térmicas médias anuais de 47,6% e 43,2%, respectivamente. As reduções no ganho de calor ambiente no verão são de 52,9% e 59,1%, com eficiências térmicas gerais de 58,9% e 70,3%.
Ji Jie (2007)	Este artigo apresenta uma nova parede solar com células fotovoltaicas, com um modelo bidimensional e um modelo do sistema PV-Trombe. A diferença máxima de temperatura entre os elementos com e sem célula fotovoltaica é de 10,6 °C, e entre a sala com e sem parede PV-Trombe é de 12,3 °C em 3 dias, mantendo-se em 13,4 °C após 7 dias. A eficiência elétrica aumenta em 5,00%.
L. Zalewski (2002)	O artigo apresenta um estudo comparativo de quatro tipos de parede solar, utilizando um modelo de simulação numérica validado por um estudo experimental em uma parede solar composta. Descreve as configurações das paredes solares, a instalação experimental, medições e modos de transferência térmica. O modelo validado analisa a eficiência energética das paredes solares em diferentes locais e condições climáticas, ajudando arquitetos e gestores de projetos na escolha da configuração mais adequada.
L. Zalewski (1997)	O artigo mostra a utilização da energia solar para aquecimento de edifícios através de paredes de armazenamento tem sido extensivamente estudada desde as obras das paredes solar. A parede Solar padrão apresenta desvantagens como perdas de calor no inverno e insumos indesejados no verão, superadas pela parede trombe composta.
Dehra (2009)	Um modelo de rede térmica bidimensional é proposto para prever a distribuição de temperatura em uma seção de parede solar fotovoltaica na Universidade Concordia, Montreal. A parede é feita com módulos fotovoltaicos revestidos de vidro e um painel traseiro de compensado preenchido com poliestireno, e a ventilação solar ativa é realizada com um exaustor.
Amorim (2022)	O estudo mostra que edificações brasileiras consomem cerca de 50% da eletricidade. Este artigo avalia o impacto térmico e energético da incorporação de painéis fotovoltaicos (PV) na fachada norte de uma edificação educacional em Florianópolis, usando simulações computacionais com o EnergyPlus. Os resultados mostram que, embora o uso de PV aumente o consumo de energia para condicionamento de ar, a geração de energia pelos painéis é superior à demanda adicional, resultando em uma redução de 8% no consumo total de energia em comparação com o caso base.
Jakub Čurpek (2016)	Este artigo apresenta um modelo térmico dinâmico usando a plataforma DesignBuilder para um edifício de escritórios com fachada fotovoltaica ventilada integrada a um coletor solar de ar em Bratislava, Eslováquia. A simulação termodinâmica avalia o desempenho térmico da fachada ventilada com material de mudança de fase ao longo de um ano. Os resultados mostram que essa fachada pode reduzir a temperatura dos painéis fotovoltaicos em mais de 20 °C durante dias extremos e atrasar o pico de temperatura em mais de 5 horas.
Quesada (2012)	Essa é uma continuação do trabalho do autor, onde no primeiro artigo de uma série de duas publicações, foi proposta uma revisão exaustiva de estudos científicos sobre fachadas solares opacas, que absorvem e refletem radiação solar sem transferir diretamente o calor para o edifício. Este segundo artigo complementa

	o primeiro, revisando estudos sobre fachadas solares transparentes e translúcidas, com destaque para fachadas ventiladas e fachadas fotovoltaicas semitransparentes integradas em edifícios.
Fung (2008)	Este artigo apresenta o modelo Semi-transparent Photovoltaic Module Heat Gain (SPVHG), um modelo unidimensional de transferência de calor transitória para avaliar o ganho de calor de módulos fotovoltaicos semitransparentes integrados em edifícios. O modelo considera detalhadamente a energia transmitida, absorvida e refletida nos módulos fotovoltaicos, incluindo células solares e camadas de vidro, e incorpora um modelo de radiação solar para superfícies inclinadas.
Jong- Ho Yoon (2008)	O estudo mostra alguns dados experimentais e simulados, tais dados mostraram boa correlação após calibração, destacando que um módulo com inclinação de 30° voltado para o sul apresentou o melhor desempenho energético, gerando cerca de 2,5 vezes mais potência do que um módulo vertical. Módulos voltados para o sul superaram aqueles voltados para o leste, e a variação na potência foi atribuída ao efeito do ângulo de incidência do vidro, com inclinações acima de 70° resultando em menor transmissão de energia solar e, conseqüentemente, menor produção de energia.
KE Park (2010)	O artigo enfatiza que a fotovoltaica integrada em edifícios (BIPV) é uma tecnologia intrigante que requer consideração de fatores como ângulo de instalação, orientação, sombreamento e temperatura. Este estudo analisa o desempenho elétrico e térmico de um módulo fotovoltaico semitransparente projetado para envidraçamento, avaliando como suas características térmicas impactam a geração elétrica.
Davidsson (2010)	Uma janela solar fotovoltaica multifuncional foi desenvolvida, integrando células fotovoltaicas laminadas em absorvedores solares atrás do vidro, com refletores inclináveis para concentrar a radiação solar e controlar a quantidade de luz transmitida ao edifício. Esses refletores também ajudam a reduzir as perdas térmicas.
Scognamiglio (2017)	O trabalho mostra que a tecnologia fotovoltaica é crucial para alcançar metas energéticas na concepção de edifícios, sendo adequada para integração nas superfícies envolventes devido às características dos componentes disponíveis.
A. Giordanardi (2015)	Este trabalho propõe um componente modular de fachada solar térmica não envidraçada (UST) para facilitar a instalação de fachadas solares ativas. A renovação de edifícios existentes é vista como uma oportunidade para melhorar a eficiência energética, utilizando uma nova metodologia de design paramétrico.
Jingchun Shen (2017)	O estudo enfatiza que para reduzir as emissões de carbono, é crucial aumentar a proporção de fontes de energia renováveis disponíveis localmente e diminuir o consumo de energia fóssil. A energia solar se destaca como uma das fontes renováveis mais promissoras, especialmente em aplicações na construção. O sistema de Fachada Solar Térmica (STF) exemplifica uma integração eficaz com o edifício, representando uma solução viável para melhorar a eficiência energética e reduzir custos operacionais no ambiente construído contemporâneo.
BELAZZI I (2018)	O estudo mostrou uma campanha experimental que teve como objetivo monitorizar o desempenho energético e térmico da fachada ventilada BIPV na configuração atual. O artigo descreve o resultado da experimentação. Especificamente, a temperatura operacional, a eficiência global e a produção elétrica do sistema foram avaliadas em condições reais de funcionamento.

Bock, M (2019)	Este artigo apresenta um novo sistema de envoltório de edifício que capta energia solar através da pele de aço da fachada do edifício. A energia é gerada por um painel sanduíche de aço com um design modular que permite a integração total na envolvente do edifício, tanto em edifícios novos como em edifícios remodelados.
AY Foo (2021)	Este artigo tem como objetivo incorporar texturas de mármore e madeira por meio de impressão digital cerâmica em módulos fotovoltaicos. As características do mármore e da madeira (por exemplo, densidade de linha e painéis de madeira) foram ajustadas através de um software de imagem antes dos módulos serem fabricados e caracterizados.
C. Schmid (2022)	O estudo apresente um instalação, onde é composta por duas faixas com 76 m de comprimento, 1,2 m de altura e uma superfície total de 180 m ² . É composto por 68 módulos de 1,18 m por 1,78 m. A construção por trás dos módulos é projetada de forma que seja realizada uma transição contínua entre os módulos fotovoltaicos e os elementos metálicos vizinhos da fachada.
JP Singh (2020)	O estudo tem como objetivo melhorar a aparência visual de módulos fotovoltaicos c-Si para energia fotovoltaica integrada em edifícios; entretanto, a impressão no vidro frontal reduz a transmitância de luz e, portanto, afeta o desempenho do módulo. Combinando experimentos e modelagem de regressão, quantificamos o efeito de seis cores diferentes com opacidades de impressão variadas nos parâmetros elétricos do módulo sob condições de teste padrão.
An Lu (2022)	O artigo mostra a escalabilidade para janelas transparentes poderia ser alcançada com um material compósito incorporando materiais poliméricos transparentes. A estrutura projetada da estrutura de sílica porosa transparente fornece um caminho para sistemas solares térmicos e aplicações em janelas transparentes. 2022 O(s) Autor(es).
Ensslen (2022)	Dentro do projeto de pesquisa, uma variedade de configurações de envidraçamento de fachada e módulos fotovoltaicos vidro-vidro integrados ao edifício (BIPV), por exemplo, como revestimento de fachada com ventilação traseira, estão sendo investigados por meio de simulação numérica e subsequente validação experimental com até -data dados meteorológicos alemães.
Perkows ka (2021)	A autora demonstra uma das estratégias para melhorar o desempenho energético dos edifícios poderá passar pela utilização de sistemas solares passivos com isolamento transparente. No artigo é apresentado um modelo numérico de parede solar (SW) com isolamento transparente (TI) obtido pelo método de balanços elementares. Nesta base, simulações numéricas de comportamento do SW com um isolamento transparente em favor de mel feito de acetato de celulose modificado foram realizadas para 4 condições climáticas diferentes na Europa (Estocolmo, Varsóvia, Paris e Roma).
Zhang (2021)	A integração de sistemas transparentes de captação de energia solar nas janelas pode fornecer fornecimento de energia renovável no local, sem alterar a estética do edifício ou impor outras restrições de design. A energia fotovoltaica transparente mostrou um grande potencial, mas o aumento da transparência ocorre às custas da redução da eficiência de conversão de energia.
Hannoud i (2017)	Este artigo investiga o uso de painéis solares como revestimento em fachadas multiangulares de edifícios de escritórios, otimizando a captação de radiação solar para alimentar sistemas de refrigeração, ventilação e iluminação. Quatro cenários com diferentes orientações de fachada são analisados usando os programas IDA ICE e PVBAT para avaliar consumo energético e custo da eletricidade. A pesquisa também inclui uma avaliação das emissões de CO ₂ associadas a cada cenário.

Abel Tablada (2021)	O artigo discute a importância de reduzir as emissões de gases de efeito estufa em Singapura, visando aumentar a autossuficiência energética e alimentar por meio da integração de sistemas agrícolas solares e verticais em fachadas de edifícios. O foco é otimizar o design dessas fachadas no Laboratório de Tecnologias Rápidas da Universidade Nacional de Singapura, analisando indicadores de desempenho como potencial solar, impacto na luz natural e eficiência térmica. Utilizando a análise multicritério VIKOR, o estudo seleciona o design de fachada ideal para quatro tipos de sistemas BIPV e agrícolas, com orientações norte e sul.
Riedel (2021)	Este artigo apresenta um estudo experimental que compara o desempenho óptico e elétrico de soluções de envidraçamento BIPV coloridas, analisando 25 amostras de vidro e 10 laminados fotovoltaicos coloridos, com o objetivo de identificar combinações que otimizem a estética e o desempenho para futuras aplicações.
Schindel holz (2021)	As fachadas fotovoltaicas integradas em edifícios (BIPV) são uma solução promissora para geração de eletricidade em canteiros de obras, mas enfrentam o desafio de equilibrar eficiência elétrica e uso de energia. Este estudo visa otimizar o desempenho elétrico e térmico em um edifício de teste, avaliando cenários onde o revestimento de madeira é substituído por painéis fotovoltaicos ou adicionados à fachada existente. Os resultados indicam que a fachada BIPV voltada para leste apresenta maior eficiência elétrica, devido à menor inércia térmica, facilitando a propagação do calor.
Shemelin (2022)	Neste artigo, um novo conceito de coletor solar térmico de fachada não envidraçado (USTFC) foi desenvolvido com base em um coletor comercialmente sistema de fachada de revestimento metálico disponível. Um modelo matemático detalhado do USTFC foi desenvolvido. Para validar o desenvolvido modelo matemático, cinco protótipos do USTFC, com design diferente, foram preparados e testados experimentalmente.

4.3 Análise do Conteúdo levantado na RSL

Afim de se obter alguns parâmetros de qualidade dos trabalhos refinados durante os três processos de tiragem, foram utilizados critérios de qualidade e respectivas pontuações específicos. As pontuações são atribuídas com base nos critérios de qualidade adotados, sendo sete no total. Cada critério atribui uma pontuação de 0,0; 0,5 ou 1,0, com um valor máximo possível de 7,0 pontos por trabalho.

De acordo com o Quadro 6, os critérios qualitativos são baseados nas seguintes perguntas:

Quadro 6: Critérios qualitativos para resultado final.

TERMO	CRITERIO
QL1	Os objetivos do trabalho são apresentados de forma clara?
QL2	Os experimentos são apresentados de forma clara?

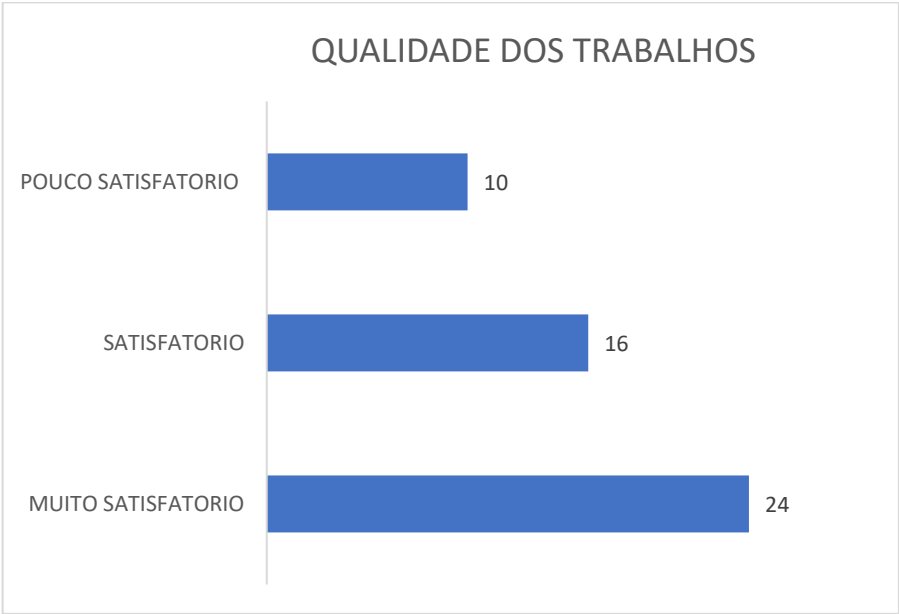
QL3	Existe uma descrição clara dos materiais e do design utilizados no método construtivo?
QL4	O objeto foi validado em um cenário de aplicabilidade real?
QL5	Os resultados são apresentados de forma clara?
QL6	Há uma descrição adequada do contexto da pesquisa (industrial, acadêmico, estatal)?
QL7	A pesquisa aborda mais de um objetivo?

Fonte: Autor (2024).

Com base nesses critérios, os trabalhos que obtiveram uma pontuação inferior a 3,0 foram classificados como "pouco satisfatórios". Aqueles com pontuação entre 3,5 e 5,0 foram considerados "satisfatórios", enquanto os que alcançaram entre 5,5 e 7,0 pontos foram avaliados como "muito satisfatórios".

A Figura 15 apresenta o resultado qualitativo após a atribuição dos critérios do Quadro 6, indicando que 1 artigo foi classificado como "pouco satisfatório", 2 como "satisfatórios" e 7 como "muito satisfatórios".

Figura 15: Quantitativo de artigos mediante critérios de qualificação.



Fonte: Autor (2024).

Conforme Figura 15, é possível que dentre os 50 trabalhos selecionados, cerca de 48,00% possuem uma qualidade muito satisfatória, 32% satisfatória e apenas 20% pouco

satisfatória, porém, trazendo consigo, suas possíveis contribuições. Tal resultado, explana ótimos índices quanto a qualidade de trabalhos selecionados em correlação com a parametrização dos critérios adotados.

4.3 Discussão dos trabalhos obtidos

A análise sistemática dos trabalhos relacionados à implementação de tecnologias solares em fachadas no setor da construção civil revela uma diversidade de abordagens, desafios e oportunidades. As tecnologias fotovoltaicas integradas em edifícios (BIPV) se destacam como uma solução promissora, conforme abordado por diversos autores, como Gabriele Eder et al. (2017) e Gerhard Peharz (2019), que exploraram a estética e o desempenho dessas tecnologias, conforme pode ser visto na Figura 16 e Figura 17.

Figura 16: Fachada BIPV preta com vidro laminado em um edifício público.



Fonte: Gabriele Eder et al. (2018).

Figura 17: Universidade Técnica de Viena, edifício público alto com fachada BIPV.



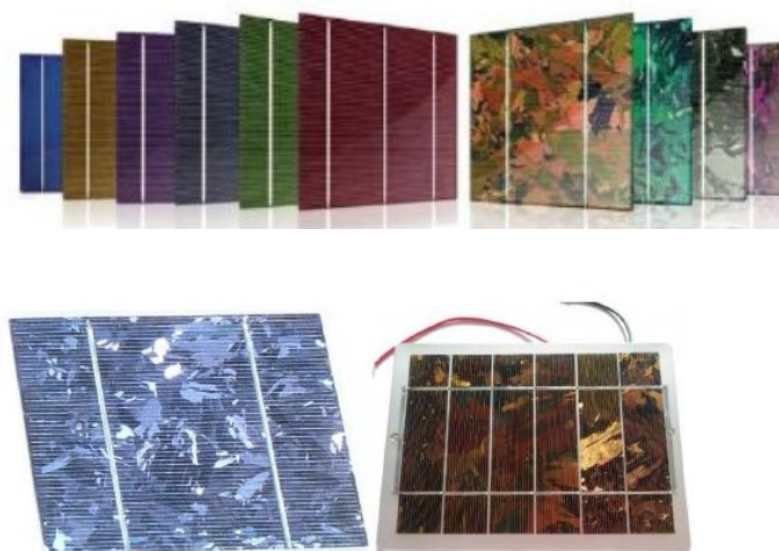
Fonte: Gerhard Peharz (2019).

Eder et al. (2017) demonstraram que o design de cores em módulos BIPV influencia diretamente a eficiência dos painéis solares, variando de 50% a 90% em comparação com

módulos sem impressão. Peharz (2019) complementa ao discutir a necessidade de personalização do design para facilitar a integração estética, destacando a importância de novas tecnologias emergentes para superar esses desafios.

A implementação de diferentes tecnologias fotovoltaicas também foi objeto de estudo por Chris Tzikas (2018), que avaliou o desempenho de fachadas solares com diferentes cores e texturas, conforme pode-se observar na Figura 18, demonstra que a redução de desempenho foi inferior a 20% em todos os casos. De maneira semelhante, Attoye (2017) apontou que a personalização das fachadas solares é essencial para a adoção massiva dessa tecnologia, mostrando que a customização pode melhorar a eficiência de integração em até 80%.

Figura 18: Módulos coloridas e com texturas.



Fonte: Chris Tzikas (2018).

Os desafios de desempenho térmico e energético também foram amplamente discutidos na literatura. Rafaela. A (2016) revisou estudos sobre fachadas duplas com painéis fotovoltaicos, destacando a complexidade dos sistemas ventilados mecanicamente, enquanto Yongqiang Luo (2017) propôs uma nova fachada dupla com persianas fotovoltaicas, que mostrou economias de energia de até 25,57% no verão.

Esse aspecto de controle climático foi corroborado por Meng Wang (2017), que comparou diferentes configurações de fachadas fotovoltaicas e isolantes, mostrando que ambas apresentam grande potencial de economia energética em climas variados, sendo a unidade de vidro isolante fotovoltaico (PV-IGU) ligeiramente mais eficiente, sendo assim, em consonância disso, pode-se observar o modelo na Figura 19.

Figura 19: Fachadas duplas com persianas fotovoltaicas.



Fonte: Meng Wang (2017).

A evolução e o aprimoramento das tecnologias solares para fachadas são evidentes em estudos como o de Sung Lok Faça (2017), que avaliou os benefícios de janelas fotovoltaicas integradas em climas quentes, revelando que essas janelas podem reduzir o consumo de energia em até 21%. Além disso, autores como Hachem (2016) destacaram o impacto do design geométrico nas fachadas solares, demonstrando que estruturas mais complexas, como pirâmides, podem aumentar a geração de eletricidade em até 80%, a Figura 20 demonstra proposta de modelo de janelas fotovoltaicas.

Figura 20: Janelas Fotovoltaicas.



Fonte: Hachem (2016).

Por outro lado, barreiras à implementação dessas tecnologias também foram amplamente discutidas. Alejandro Prieto (2017) identificou que, apesar do potencial das

tecnologias BIPV, a aplicação em fachadas ainda enfrenta resistências, principalmente relacionadas à estética e ao custo. Esse desafio é reforçado por AC Longas (2017), que analisou o caso da Suíça, onde a resistência dos arquitetos às qualidades estéticas da BIPV limitou sua adoção.

Estudos como os de Hagar Elarga (2015) e Peng JQ (2015) indicam que a fachada dupla com múltiplas camadas pode melhorar significativamente o desempenho térmico e elétrico, mas questões econômicas, como o longo período de retorno de investimento, ainda limitam sua viabilidade. Hagar Elarga (2015), por exemplo, propôs estratégias de ventilação híbrida para otimizar o desempenho térmico das fachadas, enquanto Peng (2015) apontou que, apesar da economia de energia de até 26%, o retorno de 81 anos exige incentivos governamentais para promover sua adoção, sendo assim, pode-se observar na Figura 21, modelo aplicado da fachada fotovoltaica dupla.

Figura 21: Fachada Fotovoltaicas Dupla.



Fonte: Hagar Elarga (2015).

Além disso, autores como Jakub Čurpek (2016) e Fung (2008) exploraram o impacto de tecnologias solares em diferentes condições climáticas. Čurpek (2016) demonstrou que fachadas fotovoltaicas ventiladas podem reduzir a temperatura dos painéis em mais de 20 °C, atrasando o pico de temperatura em dias extremos, enquanto Fung (2008) apresentou um

modelo que avalia o ganho de calor em módulos fotovoltaicos semitransparentes, sugerindo que essa tecnologia tem grande potencial para climas mais amenos.

Por fim, a discussão sobre as perspectivas futuras para a implementação de tecnologias solares em fachadas é otimista. Trabalhos como os de Tapas K Mallick (2006, 2004) e L. Zalewski (2002, 1997) mostram avanços na utilização de concentradores fotovoltaicos e paredes solares compostas, respectivamente, sugerindo que o desenvolvimento de novas geometrias e materiais pode ampliar a eficiência dessas soluções. Zalewski (2002) destacou, ainda, que a integração de paredes solares compostas ajuda a mitigar as perdas de calor no inverno e reduz os insumos indesejados no verão.

Portanto, a análise dos trabalhos indica que, embora existam desafios relacionados à estética, custo e desempenho térmico, as tecnologias solares para fachadas apresentam grandes oportunidades, tanto em termos de eficiência energética quanto de personalização arquitetônica. A tendência é que, com o avanço da pesquisa e da inovação tecnológica, como sugerem Giovanardi (2015) e Ensslen (2022), essas soluções se tornem cada vez mais viáveis e amplamente adotadas no setor da construção civil.

5 CONCLUSÃO

A partir de uma análise aprofundada dos estudos revisados e das inovações tecnológicas aplicadas ao uso de sistemas fotovoltaicos em fachadas, é possível concluir que os Sistemas Fotovoltaicos Integrados em Edificações (BIPV) apresentam grande potencial de transformação no setor da construção civil. No entanto, para que esse potencial seja plenamente realizado, há desafios a serem superados, tanto em termos de viabilidade econômica quanto de aceitação estética.

A revisão de 50 artigos revelou que as barreiras relacionadas aos custos iniciais e à estética dos módulos BIPV são os principais entraves para sua adoção em larga escala. Embora os módulos solares BIPV possam oferecer uma redução significativa no consumo de energia a longo prazo, o investimento inicial continua sendo um fator limitante, especialmente em países onde subsídios e incentivos governamentais são limitados. O retorno sobre o investimento, que pode variar entre 10 a 20 anos, ainda desmotiva muitos investidores e construtores a optar por essa tecnologia, conforme apontado por Prieto (2017).

Além disso, o fator estético continua sendo um obstáculo significativo para a adoção de BIPV. Arquitetos muitas vezes demonstram resistência à implementação de painéis solares integrados nas fachadas, devido ao impacto visual que esses sistemas podem ter no design arquitetônico. Como observado por Kroyer et al. (2021), a personalização de módulos solares, com cores e texturas específicas, surge como uma solução promissora para mitigar esse problema, oferecendo uma maior harmonia entre os módulos e o design dos edifícios. No entanto, essa personalização pode implicar em custos adicionais, o que reforça a necessidade de análises de custo-benefício mais detalhadas para cada projeto.

Por outro lado, os avanços tecnológicos têm mostrado que a eficiência dos módulos BIPV pode ser mantida, mesmo com a personalização estética. Estudos recentes indicam que as perdas de eficiência com a adoção de cores e texturas específicas são inferiores a 20%, o que garante uma performance aceitável, mesmo em cenários onde a estética é uma prioridade (Tzikas, 2018).

Dada a crescente demanda por soluções sustentáveis e energias renováveis, e considerando o impacto das mudanças climáticas, a pesquisa sobre BIPV se revela mais urgente do que nunca. O Brasil, apesar de apresentar grande potencial solar, ainda está em fase inicial na adoção dessa tecnologia, sendo essencial o desenvolvimento de políticas públicas que incentivem o uso de BIPV, como subsídios e incentivos fiscais. Nesse sentido, o governo tem

um papel central em criar um ambiente propício para que essa tecnologia seja amplamente utilizada no país.

Além disso, a capacitação técnica dos profissionais envolvidos na construção civil é uma necessidade urgente para garantir a implementação eficaz dessas tecnologias no país. Sem o conhecimento técnico adequado, a instalação de BIPV pode ser comprometida, levando a falhas no desempenho e a uma menor aceitação no mercado. A inovação tecnológica também desempenhará um papel essencial na superação das barreiras atuais, com a introdução de novos materiais e sistemas que reduzam custos e aumentem a eficiência energética dos edifícios.

Por fim, este estudo contribuiu para a compreensão das tendências globais na adoção de BIPV, apontando para a necessidade de mais pesquisas que explorem a viabilidade econômica e os impactos estéticos em diferentes contextos geográficos. O setor da construção civil está em uma posição privilegiada para liderar a transformação para uma economia mais sustentável, e os sistemas BIPV, se adequadamente integrados, podem ser um dos pilares dessa transição.

REFERÊNCIAS

ATTOYE, D. The role of façade customization in the adoption of solar technologies in urban areas. **Journal of Sustainable Building Design**, v. 42, p. 87-94, 2017.

ČURPEK, J. Impact of ventilated photovoltaic façades on panel temperature reduction. **Journal of Solar Energy Engineering**, v. 138, n. 2, p. 210-217, 2016.

EDER, G.; MACH, T.; ZACH, M.; FASEL, D. The impact of colored BIPV on energy performance and aesthetics. **Energy Procedia**, v. 122, p. 413-418, 2017.

ELARGA, H. Improving thermal performance with hybrid ventilation strategies in double façades. **Journal of Building Physics**, v. 39, n. 1, p. 85-98, 2015.

ENSSLEN, A. Policy implications for solar façades and their impact on sustainable architecture. **Energy Policy Journal**, v. 133, p. 110-119, 2022.

FAÇA, S. L. Benefits of photovoltaic windows in hot climates: A case study. **Energy and Buildings**, v. 158, p. 1023-1030, 2017.

FUNG, W. Model for heat gain in semi-transparent photovoltaic modules in mild climates. **Renewable Energy Journal**, v. 33, n. 10, p. 2021-2029, 2008.

GIOVANARDI, N. New trends in BIPV technology: Challenges and solutions. **Solar Energy**, v. 122, p. 482-491, 2015.

GONÇALVES, R.; LOPES, A.; MENEZES, J. Desafios e Oportunidades para a Implementação de BIPV no Brasil. **Revista de Energia Solar**, v. 25, n. 3, p. 45-56, 2019.

HACHEM, C. The impact of geometric design on solar façades: Complex shapes and their energy benefits. **Solar Energy**, v. 145, p. 202-210, 2016.

LONGAS, A. C. Resistance to photovoltaic technology in architectural design: The case of Switzerland. **Journal of Architectural Engineering**, v. 23, n. 1, p. 112-120, 2017.

LUO, Y. A study on energy-saving potential of photovoltaic blinds for double-skin façades. **Building and Environment**, v. 119, p. 73-83, 2017.

MALHOTRA, P.; SCHULZ, G. **Building Integrated Photovoltaics: A Handbook for Architects**. New York: Springer, 2017.

MALLICK, T. K. Advances in concentrating photovoltaics: New materials and geometries. **Solar Energy**, v. 123, p. 82-91, 2006.

MALLICK, T. K. Evolution of photovoltaic concentrators in architectural design. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 81, p. 137-143, 2004.

PEHARZ, G. Integration of Photovoltaics in Buildings: Customization of Aesthetics and Efficiency. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 201, p. 17-22, 2019.

PENG, J. Q. Economic viability of multi-layered photovoltaic façades: An energy-saving analysis. **Applied Energy**, v. 156, p. 212-224, 2015.

PRIETO, A. Challenges in the implementation of BIPV technologies in building façades. **Building Research and Information**, v. 45, n. 3, p. 213-223, 2017.

RAFAELA, A. Review of double-skin façades with integrated photovoltaics: Thermal and energy performance. **Energy and Buildings**, v. 125, p. 107-120, 2016.

SANTOS, T.; COSTA, V. A Integração de Painéis Fotovoltaicos na Arquitetura Moderna. **Construção Sustentável**, v. 19, n. 2, p. 78-90, 2021.

SILVA, M. C. **Sustentabilidade e Eficiência Energética em Edificações**. São Paulo: Editora Ambiental, 2020.

TZIKAS, C. Performance evaluation of solar façades: The influence of colors and textures on BIPV. **Renewable Energy Journal**, v. 135, p. 898-906, 2018.

WANG, M. Comparative analysis of solar façades and insulating glass units: Energy savings and thermal behavior. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 68, p. 1223-1232, 2017.

ZALEWSKI, L. Composite solar walls for energy-efficient buildings. **Energy and Buildings**, v. 36, p. 543-550, 2002.

ZALEWSKI, L. The role of composite solar walls in reducing winter heat losses. **Solar Energy**, v. 62, n. 5, p. 347-354, 1997.