

Energia Solar nas Escolas: Uma Revisão Bibliométrica sobre o Potencial e os Desafios dos Sistemas Fotovoltaicos no Ambiente Educacional

Leandro Fernandes Pereira¹ and Albemerc Moura de Moraes¹

¹ Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza (Brazil)

Abstract

O uso de combustíveis fósseis para gerar energia contribui para a degradação ambiental, e muitos países, incluindo o Brasil, têm investido em fontes renováveis, como a energia solar. A implementação de sistemas fotovoltaicos nas escolas é uma área pouco explorada, apesar da viabilidade econômica da tecnologia. Este estudo revisou artigos sobre a instalação de sistemas fotovoltaicos em instituições educacionais, destacando benefícios como a redução de custos e a promoção da educação ambiental. Projetos como o "Escolas Solares no Piauí" demonstraram a viabilidade técnica e econômica da energia solar nas escolas. Além disso, iniciativas como *learnsapes* mostraram que a integração dessas tecnologias no ambiente escolar pode enriquecer o aprendizado sobre energias renováveis. Conclui-se que sistemas fotovoltaicos em escolas contribuem para a sustentabilidade e a conscientização ambiental dos alunos.

Keywords: photovoltaic systems in schools, solar energy education, renewable energy in education, sustainable schools and solar power

1. Introduction

O uso de combustíveis fósseis para geração de energia é um dos principais responsáveis pela degradação ambiental, provocando emissões de gases de efeito estufa, derramamentos de óleo, perda de biodiversidade e poluição urbana (Mendonça; Tiago Filho, 2019). Como resposta a esses impactos, muitos países vêm investindo em fontes renováveis de energia. No Brasil, destaca-se o elevado potencial de geração solar, especialmente no Nordeste, devido à intensa irradiação e grande número de dias ensolarados (Carpio, 2021; Drumond; Abel; Seabra, 2021). Mesmo em regiões brasileiras com menor insolação, a capacidade de geração solar supera a de locais altamente ensolarados na Alemanha, país referência mundial em energia fotovoltaica (Pereira et al., 2017).

Partindo desse cenário e considerando o aumento na procura de energia solar fotovoltaica por consumidores residenciais, comerciais, industriais e pelo setor público, surgiu no mercado a necessidade de analisar e validar o custo-benefício desse segmento, já que essa é uma das principais motivações para a aquisição de um sistema fotovoltaico. Sabe-se que a adoção de energia solar é, de fato, viável em termos econômicos, especialmente com a crescente redução nos custos dos sistemas fotovoltaicos e os benefícios de longo prazo em termos de economia de energia.

Apesar do potencial já demonstrado em pesquisas recentes, como as de Mendonça e Tiago Filho (2019), Souza e Trigo (2020), e Silva Júnior *et al.* (2022), a instalação de sistemas fotovoltaicos em instituições escolares ainda é um tema pouco explorado na literatura científica. Especificamente, há uma falta de estudos que abordem o potencial desses sistemas na promoção da educação ambiental dos alunos, especialmente no contexto da implementação da energia solar em escolas do Ceará. Isso evidencia uma lacuna significativa na pesquisa atual sobre o assunto.

Nesse sentido, o estudo tem como objetivo analisar a produção científica sobre a implementação de sistemas fotovoltaicos em instituições escolares.

2. Metodologia

Realizou-se uma revisão bibliométrica com levantamento dos artigos nas bases de dados CAPES Periódicos, Web of Science, Scopus e IEEE Xplore, com o objetivo de analisar a produção científica sobre a implementação de sistemas fotovoltaicos em instituições escolares. Para a seleção dos trabalhos, adotaram-se como critérios de inclusão

publicações redigidas em inglês, espanhol ou português, que abordassem aspectos técnicos, educacionais e ambientais relacionados à instalação de sistemas fotovoltaicos em escolas. A análise bibliométrica permite mapear tendências, identificar autores e instituições mais produtivos, bem como compreender a evolução de temas de pesquisa, sendo uma metodologia consolidada em estudos de ciência da informação e inovação tecnológica (Donthu et al., 2021).

A busca bibliográfica foi realizada entre junho e julho de 2025, utilizando combinações das palavras-chave: “photovoltaic systems in schools”, “solar energy education”, “renewable energy in education” e “sustainable schools and solar power”. Para refinar os resultados e garantir a pertinência com o objetivo do estudo, as palavras-chave foram combinadas utilizando operadores booleanos (AND, OR) e truncagem, ampliando a abrangência da busca e considerando variações dos termos.

A análise dos dados incluiu estatística descritiva, para verificar a distribuição dos artigos por ano, idioma, base de dados e tipo de publicação; análise de redes de coautoria, a fim de identificar colaborações entre autores, instituições e países; análise de palavras-chave, para mapear os principais temas e tendências; e avaliação do impacto dos artigos, considerando o fator de impacto das revistas e número de citações. Essa abordagem permite identificar lacunas na literatura, padrões de pesquisa e oportunidades de investigação futura sobre a adoção de sistemas fotovoltaicos em instituições escolares, além de fornecer subsídios para o desenvolvimento de políticas públicas e práticas educacionais sustentáveis.

3. Resultados e Discussão

O levantamento bibliométrico sobre a temática da energia solar em instituições escolares resultou em um total de 46.701 publicações localizadas nas quatro bases de dados pesquisadas: CAPES Periódicos (18.134), Web of Science (26), Scopus (53) e IEEE Xplore (28.488). As estratégias de busca consideraram inicialmente cada palavra-chave: “Photovoltaic systems in schools”, “Solar energy education”, “Renewable energy in education” e “Sustainable schools and solar power”, possibilitando identificar a amplitude da produção científica sobre o tema (Tabela 1).

Tabela 1. Resultados totais por base de dados e palavras-chave

Base de Dados	“Photovoltaic systems in schools” (Sistemas fotovoltaicos em escolas)	“Solar energy education” (Educação e energia solar)	“Renewable energy in education” (Energia renovável na educação)	“Sustainable schools and solar power” (Escolas sustentáveis e energia solar)	Total
CAPES Periódicos	944	6.579	10.270	341	18.134
Web of Science	2	23	1	0	26
Scopus	2	50	1	0	53
IEEE Xplore	15.920	2.970	5.527	4.071	28.488
Total	16.868	9.622	15.799	4.412	46.701

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Entre as bases consultadas, IEEE Xplore apresentou o maior número de resultados (28.488; 60,9% do total), evidenciando a predominância de publicações técnico-científicas relacionadas à aplicação de sistemas fotovoltaicos. Em seguida, a base CAPES Periódicos concentrou 38,8% dos resultados, enquanto Scopus e Web of Science tiveram participação residual. Após a filtragem inicial, considerando a exclusão por tipo e idioma de publicação, duplicidade e indisponibilidade em texto completo, foram revisados 23.291 registros. Observou-se que o inglês foi o idioma predominante (23.152 publicações, 99,4%), seguido por português (83) e espanhol (56). Essa predominância reforça o caráter internacional do debate científico sobre energia solar em ambientes educacionais.

Em relação ao tipo de documento, os artigos científicos representaram a quase totalidade das publicações (23.979; 99,9%), enquanto teses e dissertações foram praticamente inexistentes, o que revela uma lacuna de pesquisas aprofundadas sobre o tema em nível de pós-graduação (Tabela 2).

Tabela 2. Resultados gerais por tipo de publicação

Base de Dados	“Photovoltaic systems in schools” (Sistemas fotovoltaicos em escolas)	“Solar energy education” (Educação e energia solar)	“Renewable energy in education” (Energia renovável na educação)	“Sustainable schools and solar power” (Escolas sustentáveis e energia solar)	Total
Artigos	4465	7.410	11.241	863	23.979
Teses	0	0	0	0	-
Dissertações	0	1	0	0	1
Excluídos por estarem em outros formatos	12.403	2.211	4.558	3.549	22.721
Total	4.465	7.411	11.241	863	23.980

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Para delimitar o escopo da análise, foi utilizada uma combinação refinada de descritores — ("photovoltaic system" OR "solar panel*") AND ("school*" OR "educational institution*") AND ("implementation" OR "case study" OR "deployment")* —, o que permitiu uma busca mais precisa e direcionada ao tema de interesse. Na base CAPES Periódicos, foram inicialmente identificados 150 artigos, dos quais foram excluídos aqueles com foco estritamente técnico (53), sem relação com instituições escolares (32), voltados ao ensino superior (4), baseados em modelos ou simulações (23), relacionados a outras fontes de energia renovável (24), revisões de literatura (12), guias (1), duplicatas (2) e um artigo indisponível em formato completo, resultando em dois artigos selecionados. Na Web of Science, foram obtidos 42 resultados, sendo excluídos os estudos de abordagem técnica (5), sem vínculo com escolas (11), de ensino superior (5), voltados a simulações (10), que tratavam de outras fontes de energia (8), revisões (1) e duplicatas (2), permanecendo sete artigos válidos. Na base Scopus, a busca gerou 78 resultados, dos quais, após exclusões por critérios semelhantes, foram mantidos três artigos. Por fim, na base IEEE Xplore, identificaram-se 205 publicações, a maioria voltada ao desempenho técnico dos sistemas (180) ou sem relação direta com instituições escolares, restando dois artigos selecionados para compor o conjunto final de análises (Tabela 3).

Tabela 3. Publicações selecionadas por base de dados

Base de Dados	Resultados Delimitados	Total de Publicações Selecionadas
CAPES Periódicos	150	2
Web of Science	42	7
Scopus	78	3
IEEE Xplore	205	2
Total	475	15

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Ao final do processo, 14 artigos científicos e 1 dissertação de mestrado foram selecionados para análise detalhada, compondo o corpus final da pesquisa. Esses estudos abordaram experiências diversas de implementação e uso de sistemas fotovoltaicos em instituições escolares, tanto em contextos nacionais quanto internacionais. A Tabela 4 apresenta a síntese estatística dos 16 estudos analisados sobre a aplicação de sistemas fotovoltaicos no contexto escolar, abrangendo o período de 2016 a 2025. Observa-se uma tendência crescente de publicações na última década, o que reflete o fortalecimento das discussões sobre sustentabilidade energética e educação ambiental no ambiente escolar.

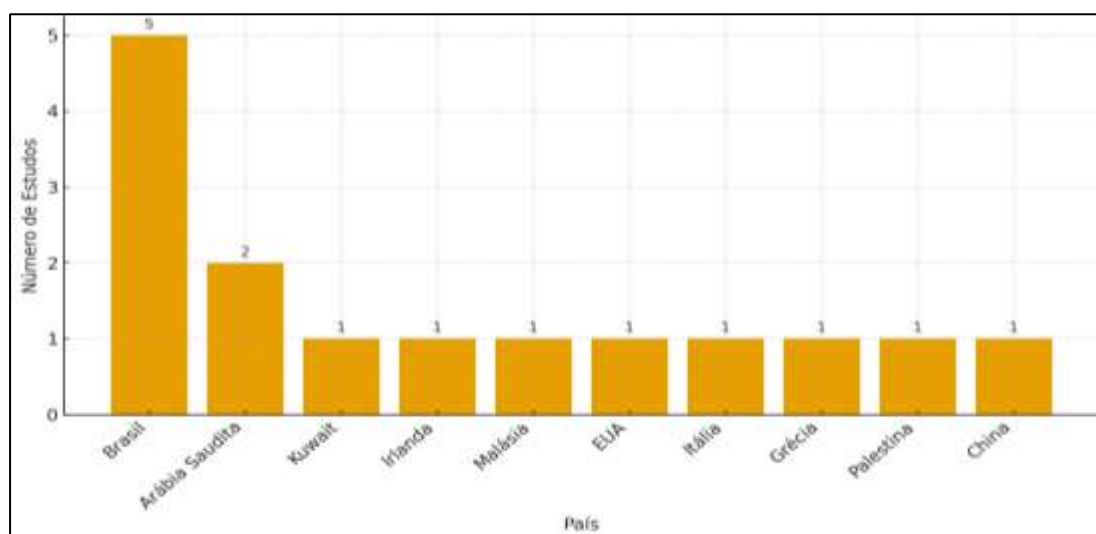
Tabela 4. Estatística Descritiva Geral dos Estudos Incluídos

Indicador	Resultado
Total de estudos analisados	16
Período de publicação	2016 – 2025
Total de autores envolvidos	52
Média de autores por artigo	3,2
Total de países representados	9
Média de citações por artigo	36,3
Mediana de citações	23
Revistas/Eventos com maior recorrência	<i>International Journal of Energy Economics and Policy</i> (2 artigos)
Predominância institucional	Universidades públicas e centros de pesquisa
Tipos de instituições escolares analisadas	Escolas públicas (11), escolas particulares (1), escolas indígenas (1), escolas rurais (3)

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

O conjunto de trabalhos contabiliza 52 autores, com média de 3,2 autores por artigo, indicando predominância de produções colaborativas, frequentemente associadas a grupos de pesquisa interdisciplinares e instituições de ensino superior. A diversidade geográfica também é expressiva: os estudos representam nove países, distribuídos entre América, Europa, Ásia e Oriente Médio, o que reforça o caráter global da temática e o interesse em integrar energia solar e educação em diferentes realidades socioeconômicas. Quanto ao impacto das publicações, a média de citações por artigo foi de 36,3, com mediana de 23, sugerindo que parte dos trabalhos possui reconhecimento considerável na área, ainda que haja dispersão de visibilidade entre periódicos. A revista com maior recorrência foi o *International Journal of Energy Economics and Policy*, com dois artigos, consolidando-se como um veículo relevante para estudos que articulam sustentabilidade, economia e educação. Em termos institucionais, universidades públicas e centros de pesquisa se destacam como os principais espaços de produção científica, o que reforça o papel das instituições públicas no avanço de tecnologias sustentáveis e na experimentação de modelos educacionais inovadores. Por fim, observa-se a predominância de escolas públicas (11) entre os casos estudados, seguidas de escolas rurais (3), uma escola particular e uma escola indígena. Essa distribuição revela uma forte relação entre políticas públicas, inclusão social e adoção de tecnologias fotovoltaicas em contextos educacionais.

A análise da distribuição geográfica (Figura 1) demonstra a predominância do Brasil, responsável por 5 publicações (31,3%) do total de estudos incluídos.

Figura 1 – Distribuição dos estudos por país de origem

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

Essa liderança brasileira é coerente com o fortalecimento das políticas nacionais de incentivo à energia solar e à educação ambiental, especialmente em programas voltados à sustentabilidade em escolas públicas e rurais, como evidenciado nos projetos “Escolas Solares” e em pesquisas desenvolvidas por universidades federais. A distribuição dos estudos revela um caráter amplamente multinacional e interdisciplinar, com contribuições provenientes de países desenvolvidos e emergentes, refletindo diferentes contextos de infraestrutura energética e prioridades educacionais. Destacam-se os trabalhos do Oriente Médio (Arábia Saudita, Kuwait e Palestina), voltados à viabilidade técnica e econômica dos sistemas fotovoltaicos, e os da Ásia (China e Malásia), que enfatizam o potencial solar e o design arquitetônico de escolas sustentáveis, alinhados ao conceito de edifícios de energia quase nula (nZEB).

Nos países ocidentais, como Estados Unidos, Itália e Grécia, prevalecem abordagens centradas na dimensão educacional, explorando metodologias de ensino e a integração da energia solar nos currículos escolares. De modo geral, os estudos se organizam em dois grandes eixos internacionais: o técnico-econômico, voltado ao desempenho e eficiência dos sistemas fotovoltaicos, e o educacional-social, que busca compreender seus impactos culturais e pedagógicos no contexto escolar.

A análise das revistas e eventos mais produtivos evidencia a diversidade de canais de disseminação do conhecimento sobre o uso de energia solar em contextos educacionais. Observa-se o predomínio de periódicos internacionais de médio e alto impacto, com destaque para *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (FI 16.8) e *Energy Policy* (FI 9.0), ambos sediados no Reino Unido. Essas revistas concentram estudos voltados à eficiência energética, políticas públicas e inovação tecnológica, reforçando a dimensão técnico-científica do tema e sua inserção nas agendas globais de sustentabilidade e transição energética (Tabela 5).

Tabela 5. Revistas e eventos mais produtivos

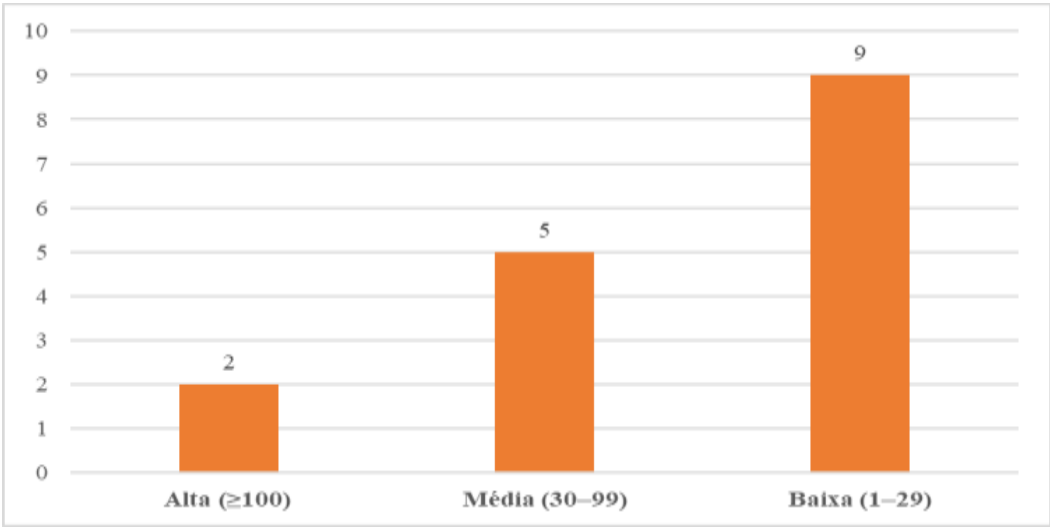
Revista / Evento	País	Tipo	Fator de impacto médio (Scopus/2024)
International Journal of Energy Economics and Policy	Multinacional	Revista	2.3
Energy Policy	Reino Unido	Revista	9.0
Sustainability (MDPI)	Suíça	Revista	4.1
Renewable and Sustainable Energy Reviews	Reino Unido	Revista	16.8
Experiências em Ensino de Ciências	Brasil	Revista nacional	0.2
Buildings (MDPI)	Suíça	Revista	3.8
Congressos Brasileiros de Energia Solar	Brasil	Evento técnico-científico	—
Simpósios Internacionais (Malásia, Irlanda)	Diversos	Evento	—
Teses e Dissertações	Brasil	Pós-graduação	—

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Em uma faixa intermediária de impacto, destacam-se *Sustainability* (FI 4.1) e *Buildings* (FI 3.8), ambas da editora MDPI (Suíça), que têm se consolidado como espaços relevantes para discussões sobre arquitetura sustentável e design escolar voltado à energia limpa. Já o *International Journal of Energy Economics and Policy* (FI 2.3) apresenta recorrência na amostra, refletindo a importância das análises econômicas e de viabilidade no campo. Em contraste, as publicações nacionais, como *Experiências em Ensino de Ciências* (FI 0.2) e os *Congressos Brasileiros de Energia Solar*, demonstram o esforço de inserção do tema na realidade educacional brasileira, ainda que com menor visibilidade internacional. A presença de teses e dissertações reforça a contribuição acadêmica emergente e o potencial de crescimento das pesquisas sobre energia solar em ambientes escolares no Brasil.

A análise da distribuição dos artigos selecionados por fator de impacto das revistas revelou que a maioria das publicações está concentrada em periódicos com baixo impacto, refletindo um padrão comum em áreas emergentes

Figura 2 - Distribuição dos estudos por número de citações



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Dos 16 artigos analisados com informações de citação, 9 artigos (56%) foram publicados em revistas com baixo impacto (1 a 29 citações), indicando que grande parte da produção científica sobre sistemas fotovoltaicos em escolas ainda se encontra em veículos com menor visibilidade ou reconhecimento internacional. 5 artigos (31%) situam-se na faixa de impacto médio (30 a 99 citações), o que sugere que uma parcela relevante da literatura já alcança periódicos consolidados na área de energia e educação. Por fim, apenas 2 artigos (13%) foram publicados em revistas de alto impacto (≥100 citações), demonstrando que estudos sobre implementação de sistemas fotovoltaicos em instituições escolares ainda têm representatividade limitada em periódicos de ampla circulação e referência na comunidade científica. Essa distribuição evidencia que, embora exista produção científica consistente, há oportunidades para consolidar pesquisas de maior impacto e fortalecer a visibilidade do tema, especialmente em revistas de referência internacional.

As redes de autoria também foram analisadas e os resultados verificados estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Análise das redes de autoria

Principais Autores	Instituições Vinculadas	Colaborações Internacionais
Ilhan Ozturk	University of Sharjah (UAE) / Nisantasi University (Turquia)	Itália, Polônia
Imad Ibrik	An-Najah National University (Palestina)	Cooperação técnica regional
Marcelo C. Souza & Frederico Trigo	Universidade Federal do ABC (Brasil)	Parceria interinstitucional nacional
Wang et al.	Hebei University of Technology (China)	Cooperação entre universidades e centros de pesquisa em arquitetura e energia
Cole et al.	Colorado State University e University of Missouri (EUA)	Interdisciplinar (educação e design)

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A análise dos principais autores e suas respectivas colaborações internacionais revela padrões distintos de cooperação

acadêmica no campo estudado. Ilhan Ozturk, vinculado à University of Sharjah (Emirados Árabes Unidos) e à Nisantasi University (Turquia), demonstra forte integração com instituições europeias, destacando-se as colaborações com Itália e Polônia, o que sugere uma estratégia de intercâmbio e pesquisa orientada para a transferência de conhecimento entre regiões geográficas distintas. Imad Ibrik, da An-Najah National University (Palestina), apresenta uma cooperação mais regional, caracterizada como “cooperação técnica regional”, indicando foco em projetos colaborativos que atendem a necessidades locais e regionais, possivelmente envolvendo capacitação e desenvolvimento de soluções específicas para o contexto palestino. Marcelo C. Souza e Federico Trigoso, da Universidade Federal do ABC (Brasil), concentram-se em parcerias interinstitucionais nacionais, o que evidencia uma estratégia voltada ao fortalecimento de redes acadêmicas dentro do país, priorizando integração entre instituições brasileiras em vez de colaborações internacionais diretas.

Wang et al., da Hebei University of Technology (China), apresentam colaborações que englobam universidades e centros de pesquisa, com ênfase em áreas interdisciplinares como arquitetura e energia, refletindo uma abordagem colaborativa que combina ensino, pesquisa aplicada e inovação tecnológica. Por fim, Cole et al., vinculados à Colorado State University e à University of Missouri (EUA), destacam-se por uma colaboração interdisciplinar, envolvendo educação e design, o que evidencia um modelo de cooperação acadêmica que busca integrar diferentes áreas do conhecimento e promover abordagens mais abrangentes e inovadoras.

No que diz respeito às palavras-chave dos estudos selecionados foram verificados os resultados apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Análise das palavras-chave

Palavra-chave (agrupada)	Frequência	% do total	Interpretação temática
Energia solar / fotovoltaica	16	100%	Tema central
Educação / ensino / aprendizagem	10	62%	Ênfase na integração pedagógica
Sustentabilidade / energia limpa	8	50%	Alinhamento com ODS 7 e 13
Avaliação técnica / econômica	6	37%	Estudos de viabilidade e payback
Escola pública / edifício escolar	6	37%	Contexto institucional predominante
Simulação / PVsyst / modelagem	3	19%	Abordagem técnica quantitativa
Comunidade / impacto social	3	19%	Perspectiva socioambiental
Zero energy / eficiência energética	2	12%	Inovação e sustentabilidade urbana

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A análise das palavras-chave indica que energia solar e fotovoltaica é o tema central da literatura, presente em todos os estudos analisados. Há uma forte ênfase em educação, ensino e aprendizagem, evidenciando a integração pedagógica com tecnologias solares, e em sustentabilidade e energia limpa, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 7 e 13). Termos como avaliação técnica e econômica e escola pública/edifício escolar apontam para a preocupação com viabilidade e aplicação em contextos institucionais.

Além disso, palavras relacionadas a simulação e modelagem refletem abordagens quantitativas, enquanto comunidade e impacto social indicam atenção aos efeitos socioambientais. Conceitos como zero energy e eficiência energética destacam tendências emergentes em inovação urbana e sustentabilidade. Em conjunto, os resultados evidenciam que a pesquisa sobre energia solar em ambientes educacionais combina aspectos técnicos, pedagógicos e socioambientais, propondo soluções integradas que conectam tecnologia, educação e impacto social.

No que diz respeito aos principais temas analisados pelos autores foram verificados os resultados apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Análise dos temas mais abordados

Eixo Temático	Nº de estudos
Avaliação técnica e econômica de sistemas FV	6
Integração da energia solar no ensino e na formação ambiental	5
Sustentabilidade e políticas públicas em edifícios escolares	3
Inclusão social e comunidades vulneráveis	2

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A análise dos temas mais abordados revela que a literatura sobre a implementação de sistemas fotovoltaicos em instituições escolares concentra-se principalmente na avaliação técnica e econômica dos sistemas FV, com seis estudos, evidenciando a preocupação em verificar viabilidade, desempenho e retorno financeiro antes da implementação. Em seguida, destaca-se a integração da energia solar no ensino e na formação ambiental, presente em cinco estudos, o que demonstra a relevância pedagógica e educativa dessas tecnologias, contribuindo para a formação de estudantes em conceitos de energia limpa e sustentabilidade.

Menos frequentes são os estudos voltados à sustentabilidade e políticas públicas em edifícios escolares (três estudos), indicando uma lacuna na análise de diretrizes institucionais e regulamentações que apoiem a adoção de sistemas solares em escolas. Por fim, a inclusão social e o engajamento com comunidades vulneráveis aparecem em apenas dois estudos, sinalizando que os aspectos socioambientais e de equidade ainda são pouco explorados na literatura. Em síntese, os resultados sugerem que, embora a pesquisa seja robusta no aspecto técnico e educativo, há oportunidades para aprofundar análises sobre políticas públicas, sustentabilidade institucional e impacto social das implementações fotovoltaicas em escolas.

Destacam-se trabalhos como o de Souza e Trigoso (2016), que analisaram escolas rurais em São Paulo, evidenciando melhorias nas condições de ensino a partir da iluminação proporcionada pela energia solar, e o de Silva Júnior et al. (2022), que avaliou o projeto “Escolas Solares” no Piauí, demonstrando viabilidade técnica, retorno econômico e benefícios ambientais. O potencial de uso dos sistemas fotovoltaicos em ambientes escolares já tem sido verificado em pesquisas como a de Souza e Trigoso (2016), que analisaram o impacto da tecnologia fotovoltaica na educação dos alunos. Três escolas rurais de comunidades localizadas nos municípios de Cananéia e Ilhabela, duas delas com sistemas fotovoltaicos, foram comparadas com uma escola que utiliza gerador a diesel. Os resultados mostraram que a iluminação foi o principal benefício da geração fotovoltaica, permitindo aulas em qualquer horário.

Em continuidade, o estudo de Silva Júnior et al. (2022) analisou o projeto “Escolas Solares no Piauí”, desenvolvido pela Universidade Federal do Piauí (UFPI) em parceria com escolas públicas, focando na instalação de sistemas fotovoltaicos para promover a educação em energias renováveis e sustentabilidade. Realizado entre 2019 e 2022, com destaque para o município de Oeiras (PI), o projeto demonstrou a viabilidade técnica e econômica da instalação dos sistemas, evidenciando boa irradiação solar, geração energética satisfatória e rápido retorno do investimento. Além da redução de custos com energia elétrica, o projeto contribuiu para a diminuição das emissões de CO₂ e incentivou a conscientização ambiental dos estudantes.

Ainda no contexto brasileiro, Figueirêdo Neto e Rossi (2019) apresentaram o uso de energia fotovoltaica na Escola Estadual Indígena Aiha, do povo Kalapalo, na Amazônia. O estudo demonstrou que a eletrificação por PV melhorou significativamente as condições de ensino e aprendizagem, integrando atividades escolares com práticas culturais e comunitárias, e proporcionando recursos audiovisuais e preservação de alimentos. Mendonça e Tiago Filho (2019) investigaram a aplicação de metodologias ativas de aprendizagem baseadas em problemas em um colégio particular de Varginha, Minas Gerais, a partir da instalação de energia fotovoltaica na escola. O trabalho demonstrou que integrar o ensino de ciências com a infraestrutura solar disponível não só possibilitou maior compreensão dos conceitos de energia renovável pelos estudantes, mas também estimulou o desenvolvimento de uma consciência ecológica, alinhando práticas pedagógicas com objetivos de sustentabilidade.

Os achados de Sousa (2024) reforçam esse panorama, ao demonstrar que a geração de energia por painéis fotovoltaicos instalados em uma escola estadual em Várzea Grande (MT) sofre influência direta de variáveis climáticas como precipitação, temperatura e radiação solar. O estudo evidenciou que, mesmo com variações sazonais, o sistema apresentou produção energética consistente ao longo do ano, contribuindo para a economia de energia elétrica e reduzindo a dependência da rede de distribuição.

Em nível internacional, Alfaraidy e Sulieman (2019) investigaram a situação energética de escolas em Arar, na Arábia Saudita, avaliando o consumo atual de energia e a possibilidade de utilização de sistemas fotovoltaicos em conformidade com as regulamentações governamentais. O estudo concluiu que a implementação de energia fotovoltaica em edifícios escolares é economicamente viável, embora seja necessária maior motivação governamental para ampliar sua adoção no país. Complementando essas evidências, Al-Otaibi et al. (2015) realizaram uma avaliação de desempenho de sistemas fotovoltaicos CIGS instalados nos telhados de duas escolas em Kuwait ao longo de 12 meses. O estudo constatou que a performance ratio dos sistemas manteve-se entre 0,74 e 0,85, com produção mínima mensal de aproximadamente 104 kWh/kWp e rendimento diário médio anual de 4,5 kWh/kWp/dia, destacando o potencial dos telhados escolares como espaços adequados para geração distribuída de energia solar e fornecendo dados relevantes para a comunidade internacional de pesquisa em PV.

Além disso, estudos como o de Alshammari e Duffy (2019) compararam sistemas de distribuição AC e DC em uma instalação fotovoltaica de 6 kW em uma escola na Irlanda, constatando que o sistema DC apresentou menores perdas em relação ao AC tradicional. Este estudo evidencia que a escolha da arquitetura de distribuição de energia pode impactar significativamente a eficiência dos sistemas fotovoltaicos em escolas, oferecendo insights para futuras implementações de micro-redes em ambientes educacionais. De maneira similar, Alwi et al. (2023), na Malásia, avaliaram como modificações no design de escolas podem otimizar a integração de sistemas fotovoltaicos, utilizando análises pós-ocupação e simulações energéticas. O estudo mostrou que a instalação solar não apenas fornece energia de forma eficiente, mas também oferece benefícios educacionais, unindo aprendizado em sala de aula à geração de energia e contribuindo para o planejamento de escolas mais sustentáveis e preparadas para o futuro.

Em linha semelhante, Altassan (2023) propôs um modelo de sustentabilidade ambiental para escolas na Arábia Saudita, integrando sistemas fotovoltaicos, práticas de conservação de energia, reaproveitamento de água e reciclagem, visando não apenas a redução de custos, mas também a formação de alunos engajados com práticas sustentáveis, por meio de uma abordagem prática e colaborativa com a comunidade. Já o estudo de Cole et al. (2023) investigou o impacto do uso de um learnscape (uma sala de aula ao ar livre equipada com painéis solares) no aprendizado de alunos do ensino fundamental sobre energia renovável. A pesquisa, que comparou duas escolas do mesmo distrito, revelou que os estudantes expostos ao learnscape desenvolveram uma compreensão mais profunda e detalhada dos sistemas de energia solar em comparação aos alunos que tiveram apenas aulas tradicionais. Os resultados indicam que ambientes escolares que incorporam práticas sustentáveis, como o learnscape, podem tornar o aprendizado mais concreto e efetivo, reforçando a importância de integrar tecnologias renováveis ao espaço educacional.

Em um contexto europeu, D'Adamo et al. (2025) avaliaram a viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos instalados em escolas públicas na Itália, integrando a análise com um modelo educacional inovador. O estudo mostrou que a implementação de PV em prédios escolares pode gerar lucros significativos e reduzir emissões de CO₂, ao mesmo tempo em que envolve estudantes em processos de decisão energética e promove competências de resolução de problemas. Complementando essa perspectiva, Economou (2025) analisou escolas na Grécia com sistemas fotovoltaicos instalados, evidenciando que a adoção de PV contribui para economia de energia, redução de custos, proteção de recursos naturais e mitigação de gases de efeito estufa. Os estudos destacam que políticas públicas e legislação são fundamentais para o sucesso dessas iniciativas e que, em regiões com maior vento, a energia eólica poderia complementar ou mesmo superar os sistemas fotovoltaicos em eficiência energética.

Ibrik & Hashaika (2019) avaliaram sistemas fotovoltaicos conectados à rede em três escolas da Palestina, demonstrando performance ratio médio de 78%, produção anual média de 10,93 MWh/ano, payback inferior a cinco anos e taxa interna de retorno de aproximadamente 20%. Além disso, os sistemas fotovoltaicos contribuíram para redução de perdas e melhoria de tensão na rede elétrica, evidenciando impactos positivos tanto econômicos quanto ambientais. Complementando a discussão na Ásia, Wang et al. (2024) avaliaram o potencial multivariado de utilização fotovoltaica em escolas primárias e secundárias da província de Hainan, na China, articulando aspectos técnicos, econômicos e arquitetônicos. Utilizando o software PVsyst 7.2, os autores identificaram condições ótimas de orientação e inclinação (10°–20° voltadas para o sul), além de demonstrar que a combinação entre painéis de fachada e de cobertura pode conduzir à autossuficiência energética das escolas, reduzindo a pressão sobre as redes urbanas. Esse enfoque amplia o debate sobre sustentabilidade escolar ao conectar a dimensão energética à arquitetura bioclimática e à política urbana de energia limpa, demonstrando que o ambiente escolar pode funcionar como laboratório vivo de transição energética.

Assim, observa-se uma convergência entre experiências nacionais e internacionais no sentido de consolidar as escolas como espaços de experimentação e difusão das tecnologias sustentáveis. O conjunto dos estudos analisados reforça que a adoção de sistemas fotovoltaicos vai muito além do retorno financeiro: ela atua como catalisadora de novas

práticas pedagógicas, promove a formação de cidadãos ambientalmente conscientes e contribui para a redução das emissões de carbono, fortalecendo o papel social da educação na construção de um futuro sustentável.

4. Conclusão

Diante da análise realizada, conclui-se que a implementação de sistemas fotovoltaicos em instituições escolares é uma temática crescente na produção científica, refletindo a preocupação global com a sustentabilidade e a educação ambiental. O levantamento bibliométrico evidenciou o predomínio de artigos científicos em inglês. Os estudos analisados demonstraram que a adoção da tecnologia fotovoltaica nas escolas traz benefícios significativos, como a redução de custos com energia elétrica, a viabilidade técnica e econômica da instalação, a diminuição das emissões de carbono e a promoção de práticas sustentáveis entre os alunos. Experiências como a criação de learnscapes comprovam o potencial desses recursos para aprimorar a aprendizagem sobre energias renováveis, tornando os conceitos mais acessíveis e fortalecendo a formação de uma consciência ambiental desde a educação básica.

5. References

- Alfaraidy, F.A. and Sulieman, H.A., 2019. The economics of using solar energy: school buildings in Saudi Arabia as a case study. *ARO-The Scientific Journal of Koya University*, 7(1), pp.13-18.
- Al-Otaibi, A., Al-Qattan, A., Fairouz, F. and Al-Mulla, A., 2015. Performance evaluation of photovoltaic systems on Kuwaiti schools' rooftop. *Energy Conversion and Management*, 95, pp.110-119.
- Altassan, A., 2023. Sustainable integration of solar energy, behavior change, and recycling practices in educational institutions: a holistic framework for environmental conservation and quality education. *Sustainability*, 15(20), p.15157.
- Alshammari, M. and Duffy, M., 2019, May. Comparative analysis between AC and DC distribution systems in a photovoltaic system: A case study of a school in Ireland. In *PCIM Europe 2019; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management* (pp. 1-8). VDE.
- Alwi, N.M., Flor, J.F., Anuar, N.H., Hanafi, N.N.H., Muhammad, N.H., Zain, M.H.K.M. and Nasir, M.R.M., 2023, June. Energy transitioning school buildings in Peninsula Malaysia: A case study on the potential of photovoltaic power. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1205, No. 1, p. 012043). IOP Publishing.
- Carpio, L.G.T., 2021. Mitigating the risk of photovoltaic power generation: A complementarity model of solar irradiation in diverse regions applied to Brazil. *Utilities Policy*, 71, p.101245.
- Cole, L.B., Fallahhosseini, S., Zangori, L. and Oertli, R.T., 2023. Learnscapes for renewable energy education: An exploration of elementary student understanding of solar energy systems. *Interdisciplinary Journal of Environmental and Science Education*, 19(1), p.e2305.
- D'Adamo I, Ozturk I, Passarelli F, Salvati C. Economic Analysis, Innovative Educational Models and Pragmatic Sustainability: The Case Study of a Photovoltaic System on a Public Building. *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2025;15(3):47-59.
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N. and Lim, W.M., 2021. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of business research*, 133, pp.285-296.
- Drumond Jr, P., de Castro, R.D. and Seabra, J.A.E., 2021. Impact of tax and tariff incentives on the economic viability of residential photovoltaic systems connected to energy distribution network in Brazil. *Solar Energy*, 224, pp.462-471.
- Economou, A., 2011. Photovoltaic systems in school units of Greece and their consequences. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), pp.881-885.
- Ibrik, I. and Hashaika, F., 2019. Techno-economic impact of Grid-connected rooftop solar PV system for schools in Palestine: a case study of three schools. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(3), pp.291-300.
- Mendonça, D. and Tiago Filho, G.L., 2019. Práticas de metodologias ativas de aprendizado baseadas em problemas, para a abordagem da energia solar fotovoltaica no ensino de ciências. *Experiências em ensino de ciências*, 14(1), pp.271-289.
- Pereira, E.B., Martins, F.R., Gonçalves, A.R., Costa, R.S., Lima, F.J., Rüther, R., Abreu, S.D.L., Tiepolo, G.M.,

Pereira, S.V. and Souza, J.G.D., 2017. Atlas brasileiro de energia solar.

Silva Júnior, P.C., de Moraes, A.M., Lira, M.A.T., da Silva, E.M., de Araújo Costa, G.C. and de Araújo, A.D.F., 2022, August. Análise de viabilidade técnica na instalação de um sistema fotovoltaico conectado a rede em uma escola rural no âmbito do Projeto Escolas Solares no Piauí. In *Anais Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS* (pp. 1-10).

Sousa, E.R., De Souza, M.D., Pereira, O.A. and Costa, A.P., 2024. Influência das Variáveis Climáticas na Geração de Energia por Painéis Fotovoltaicos Instalado em Escola Estadual. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, 28(5), pp.603-609.

Souza, M.C. and Trigo, F.B.M., 2016, December. A contribuição da tecnologia fotovoltaica no processo educativo em escolas rurais de Ilhabela e Ilha do Cardoso, Estado de São Paulo. In *Anais Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS* (pp. 1-8).

Wang, C., Zhang, X., Chen, W., Jiang, F. and Zhao, X., 2024. Multivariate evaluation of photovoltaic utilization potential of primary and secondary school buildings: A case study in Hainan Province, China. *Buildings*, 14(3), p.810.