

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA EDIFÍCIOS MULTI-UNIDADES: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

Cláudio Albuquerque Frate - cafrate10@gmail.com

Leticia de Oliveira Santos

Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica

Ana Teresa Caldas Araripe

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Mecânica

Paulo César Marques de Carvalho

Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica

5.1. Aspectos arquitetônicos do uso de instalações fotovoltaicas

Resumo. O uso de sistemas fotovoltaicos (FV) em edifícios multi-unidades (ERM) tem despertado grande interesse nos mercados, principalmente devido aos contínuos aumentos nas tarifas de eletricidade e à busca por tecnologias de conversão de recursos energéticos renováveis capazes de reduzir as emissões de carbono para atmosfera. Esse artigo tem como objetivo realizar uma revisão bibliométrica sobre a utilização de sistemas de conversão FV para ERM. Procuramos categorizar as áreas de pesquisa nesse campo, identificar benefícios, desafios, aspectos técnicos e econômicos por meio da análise de trinta artigos científicos publicados a partir de 2019, coletados nas bases de dados Elsevier, Scopus e Google Scholar. Dos artigos científicos selecionados, 10% abordam barreiras e facilitadores, 23% concentram-se nas necessidades e disponibilidades energéticas, 10% examinam as possibilidades de mercado, 10% exploram a alocação e negociação dos sistemas, 27% investigam o tema da Fotovoltaica Integrada em Edifícios (BIPV), e 20% se relacionam com as estratégias para instalação de sistemas FV em ERM. Os principais benefícios incluem economia de custos de energia, viabilidade econômica e melhora da confiabilidade do fornecimento de energia dos sistemas elétricos. Os principais desafios incluem custos iniciais, regulamentação, planejamento energético e falta de conscientização. Especificamente para o Brasil, os autores recomendam pesquisas para mapear as fachadas de edifícios residências e comerciais multi-unidades e suas respectivas orientações, a fim de estimar a capacidade de integração de sistemas FV nas grandes cidades do Nordeste.

Palavras-chave: Solar fotovoltaica, Comunidades energéticas, Edifícios multi-unidades.

1. INTRODUÇÃO

A eclosão dos coletivos para produção de eletricidade, os preços decrescentes de painéis solares, as crescentes tarifas de eletricidade, somadas a busca por tecnologias de conversão de recursos energéticos renováveis distribuídos tem despertado o interesse de diversos cientistas sobre as potencialidades e utilização de sistemas fotovoltaicos (FV) em edifícios multi-unidades (ERM) (Stauch e Vuichard, 2019; Fina *et al.*, 2021; Monna *et al.* 2020; Syed *et al.* 2020; Krarti, 2021; Woo *et al.* 2022; Abu *et al.* 2022; Feng *et al.* 2023; Chen *et al.* 2022; Narjabadifam *et al.* 2023; Restrepo-Herrera *et al.* 2023; D'Agostino *et al.* 2022; Frate *et al.* 2023). No âmbito dessa temática de trabalho, muitas são as linhas de pesquisas perscrutadas pelos autores. Fina *et al.* (2021) realizaram uma revisão de literatura sobre o uso de plantas FV para autoconsumo em edifícios com múltiplos apartamentos na Austrália e na Áustria. Com objetivo semelhante, Narjabadifam *et al.* (2023) focaram em um tipo de produção coletiva de energia conhecida como energia solar compartilhada pela comunidade (*community-shared solar* - CSS). Feng *et al.* (2023) analisaram o potencial dos sistemas FV integrados a edifícios em Xangai-China afim de avaliar a integração desses sistemas levando em conta as condições meteorológicas e as características dos edifícios. Chen *et al.* (2022) analisaram as barreiras para a implementação de sistemas FV integrados em edifícios na república de Cingapura, enquanto Restrepo *et al.* (2023) desenvolveram uma metodologia holística destinada para avaliação da integração de projetos FV em edifícios. Já Woo *et al.* (2022) estudaram os tipos hoje existentes de sistemas FV e suas características, bem como fizeram uma pesquisa de opinião com os proprietários e gestores de edifícios com multi-unidades na Coréia do Sul.

Stauch *et al.* (2019) verificaram a viabilidade e aceitação comunitária de modelos de negócios de energia solar integrados a edifícios na Suíça. Abu *et al.* (2022) avaliaram o potencial de instalação de FV em prédios de apartamentos em Amã, na Jordânia, considerando os telhados e as superfícies verticais dos edifícios. D'Agostino *et al.* (2022) investigaram o potencial de sistemas FV em edifícios multi-unidades para alcançarem o status de “Edifício de Energia Quase Zero” em Nápoles, na Itália. Krarti *et al.* (2021) analisaram o desempenho de janelas rotativas deslizantes com sistema FV, em edifícios de apartamentos nos Estados Unidos. Monna *et al.* (2020) analisaram a viabilidade da produção por meio da instalação de sistemas FV nos telhados de edifícios multi-unidades na Palestina. Já Syed *et al.* (2020) examinaram como um prédio de apartamentos de três unidades, localizado em Perth, na Austrália Ocidental, se beneficiou

de uma micro rede em termos de desempenho energético. Para o Brasil, Martins e Pereira (2011) afirmam que aplicações FV têm um futuro promissor na maioria das grandes cidades, uma vez que as curvas de demanda para cargas de ar-condicionado seguem normalmente a curva de oferta de irradiação solar, enquanto Frate *et al.* (2023) estimaram a capacidade dos telhados de edifícios multi-unidades da capital Brasília, para suprir suas necessidades de energia, além de identificarem e discutirem os principais obstáculos e facilitadores para adoção de desses sistemas. O Brasil tem um enorme potencial solar devido a sua localização geográfica intertropical, com uma irradiação solar global entre 1900 e 2150 kWh/m² ao longo do ano (Solargis, 2017). Por meio do acordo de Paris, o Brasil se comprometeu a aumentar a participação de energia solar, biomassa e eólica em pelo menos 23% até 2030 (NDC, 2021).

Diante do exposto, o presente artigo tem como objetivo realizar uma revisão bibliométrica sobre a utilização de sistemas de conversão FV para ERM. Esta revisão busca tanto demonstrar e categorizar as linhas de trabalho, como identificar e analisar os benefícios, desafios, aspectos técnicos e aspectos econômicos na área.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Na presente pesquisa é adotada uma abordagem metodológica de coleta e análise de dados estritamente baseada em artigos científicos: uma revisão sistemática de literatura científica seguida de uma bibliometria. Esta escolha se deve à relevância e a credibilidade dessas fontes de informação no contexto acadêmico e científico. Com isso buscou-se manter um alto padrão de rigor e excelência acadêmica, demonstrando o compromisso deste trabalho em contribuir para a construção de uma base teórica sólida e confiável. Contudo, o uso exclusivo de um número não tão grande de artigos científicos também pode ter limitado os achados de pesquisa, uma vez que outras fontes de informação, como livros e relatórios técnicos não foram consideradas neste estudo.

2.1. Seleção dos artigos

A realização de pesquisa acadêmica de qualidade requer acesso a fontes de informações confiáveis e atualizadas. Nesse sentido, apenas plataformas de pesquisa consolidadas são utilizadas para a busca e seleção de artigos científicos. Neste trabalho foram utilizadas três plataformas: Scopus, Google Scholar e Elsevier. A busca nas plataformas de pesquisa ocorreu de acordo com as seguintes etapas:

- Seleção de artigos mais recentes, com publicações a partir do ano de 2019;
- Utilização das palavras-chaves: "fotovoltaics"; "multi-unitbuilding"; e "challenges".
- Uma segunda busca em português se deu por meio das seguintes palavras-chaves: "fotovoltaica"; "edifícios multifamiliares"; e "desafios".

No processo de coleta foram identificados à princípio 56 artigos que serviriam para o estudo. Entretanto, realizou-se uma análise de conteúdo, excluindo-se então aqueles que não se encaixavam no escopo do tema selecionado. Com isso foi possível deixar apenas os 30 artigos mais relevantes, e assim garantir a consistência do objetivo do trabalho.

2.2. Análise dos artigos selecionados

Essa é uma etapa fundamental na elaboração da pesquisa, consiste em analisar e sintetizar criticamente a literatura do tema de estudo com objetivo de estabelecer as bases para a pesquisa buscando um embasamento teórico. Ao revisar a literatura selecionada é pretendido:

- (I) Categorizar as linhas de trabalho de acordo com os objetivos das respectivas pesquisas;
- (II) Classificar as declarações presentes nos artigos em: benefícios, desafios, aspectos técnicos e aspectos econômicos; e
- (III) Identificar as principais tendências desse mercado. Na Fig. 1 são demonstradas as etapas do desenvolvimento implementadas na presente revisão bibliométrica.

A Fig. 1 demonstra as etapas do desenvolvimento implementadas na presente revisão bibliométrica.

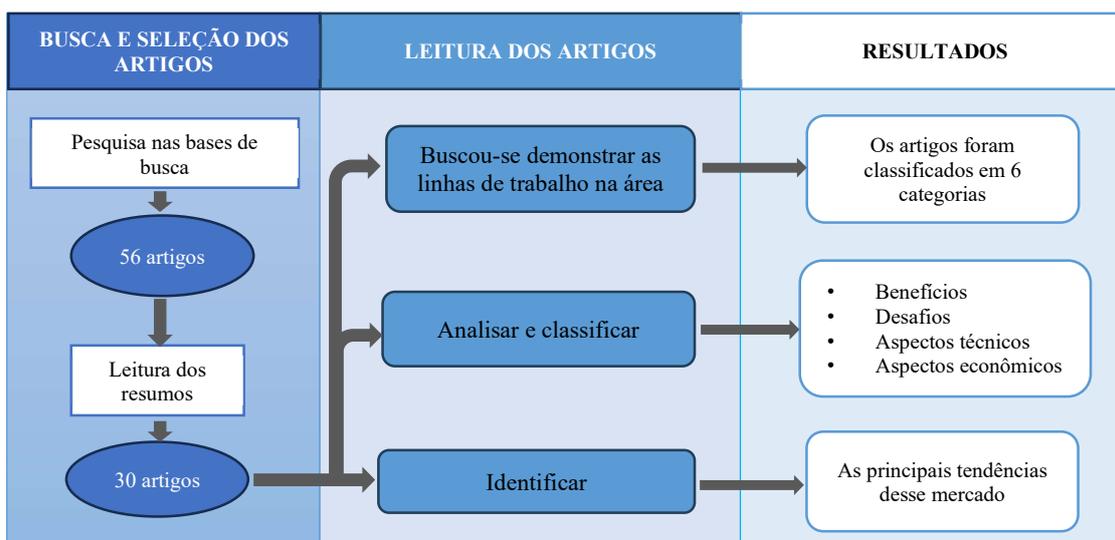


Figura 1 – Etapas de construção da presente revisão bibliométrica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para esta pesquisa foram criteriosamente escolhidos 30 artigos que tratam de diferentes tópicos relacionados à área de pesquisa. Por meio de uma análise minuciosa, foram identificadas as principais linhas de trabalho, metodologias, permitindo obter conclusões relevantes e promover discussões que contribuem para a compreensão e o desenvolvimento do tema. Ao longo desta seção, com o intuito de ampliar a compreensão acerca da geração distribuída em ERM, faz-se uma análise exploratória e uma discussão das principais tendências extraídas desses artigos. São abordados diversos temas, incluindo benefícios dos sistemas FV, desafios dos sistemas FV, aspectos técnicos dos sistemas FV entre outros. Por meio desta análise, pretende-se consolidar o conhecimento na área e oferecer informações valiosas para profissionais, pesquisadores e tomadores de decisão que desejam realizar e fomentar a GD em edifícios multi-unidades.

3.1. Categorização dos artigos

Os 30 artigos selecionados são apresentados na Tab. 1, cada artigo possui informações como referência, localização e objetivo/metodologia. Esses artigos abordam uma variedade de temas relacionados, fornecendo uma visão abrangente e aprofundada sobre os principais aspectos relacionados a FV em ERM. Após a completa leitura dos artigos são identificadas similaridades das linhas de trabalho; assim, os artigos são identificados nas seguintes categorias:

- I. Barreiras e dificuldades para a adoção de sistemas FV em ERM (10% dos artigos)
- II. Necessidades e disponibilidades energéticas em ERM (23% dos artigos)
- III. Possibilidades de Mercado em ERM (10% dos artigos)
- IV. Alocação e negociação de sistemas FV em ERM (10% dos artigos)
- V. Tecnologia BIPV (Fotovoltaica integrada à edifícios, do inglês *Building Integrated Solar Panels*) (27% dos artigos)
- VI. Estratégias para instalação de sistemas FV em ERM (20% dos artigos)

A categorização dos artigos estudados também é exibida da Tabela 1. A Fig. 2 (a) informa a quantidade de artigos resumidos em porcentagem por tópicos selecionados para os 30 artigos. A Fig. 2 (b) representa a quantidade de artigos de acordo com a origem, visando demonstrar a abrangência e o alcance da pesquisa. O gráfico mostra que a maioria dos artigos é de fonte internacional (83%). Essa predominância mostra a contribuição de pesquisadores de diversos países e contextos. Mesmo a quantidade de artigos nacionais sendo inferior vale ressaltar sua qualidade e diversidade, que fortalece a validade e abrangência dos resultados. Portanto a abordagem global nesta pesquisa contribui para a qualidade e relevância para a construção de uma base sólida para a compreensão e avanço do tema proposto. A Fig. 2 (c) ilustra a quantidade de artigos de acordo com o ano de publicação, representando a distribuição temporal dos estudos selecionados, permitindo identificar as tendências e evoluções no decorrer do tempo. É importante ressaltar que no ano de 2023 foram selecionados somente artigos até o mês de junho devido à data de elaboração da pesquisa.

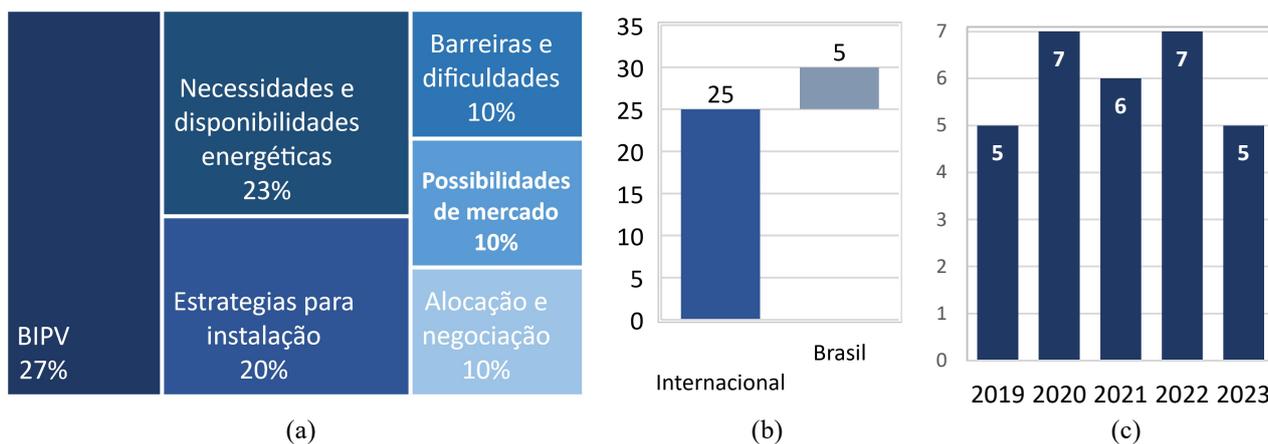


Figura 2 - Quantidade de artigos: (a) por assunto; (b) de acordo com a origem; e (c) em relação ao ano de publicação.

3.2. Perspectivas e tendências da GD em ERM

Analisando os artigos selecionados, foram identificadas as declarações mais recorrentes em termos de benefícios, desafios, aspectos técnicos e aspectos econômicos. O número de declarações em cada categoria foi contabilizado totalizando 192 declarações, essas afirmações foram distribuídas da seguinte forma: 108 estão relacionados a benefícios; 36 a desafios; 24 a aspectos técnicos; e 24 a aspectos econômicos. Fig. 3 (a) apresenta a distribuição das declarações entre as categorias mencionadas, representando as principais temáticas abordadas nos artigos revisados. Fig. 3 (b) apresenta a quantidade de declarações em cada categoria mencionada. É importante destacar que esses valores são específicos para os 30 artigos selecionados neste trabalho de revisão.



Figura 3 - (a) Declarações nos artigos de revisão bibliográfica, (b) Distribuição de declarações nos artigos selecionados.

Os artigos revisados foram classificados de acordo com as quatro divisões estabelecidas, fornecendo uma visão da contribuição de cada estudo para as diferentes áreas analisadas. Sendo assim, os estudos por área são:

- Benefícios: Abdelhafez *et al.* (2021), Feng *et al.* (2023), Chen *et al.* (2022), Stauch *et al.* (2019), Abu *et al.* (2022), Moreno *et al.* (2020), Lauffer *et al.* (2020), D'Agostino *et al.* (2022a), Yang *et al.* (2021), Ciesla *et al.* (2021), Oliveira *et al.* (2019), Soares *et al.* (2020) e Lin *et al.* (2020).
- Desafios: Abdelhafez *et al.* (2021), Feng *et al.* (2023), Chen *et al.* (2022), Moreno *et al.* (2020) e Lin *et al.* (2020).
- Aspectos técnicos: Abdelhafez *et al.* (2021), Feng *et al.* (2023), Lauffer *et al.* (2020) e D'Agostino *et al.* (2022b).
- Aspectos econômicos: Abdelhafez *et al.* (2021), Feng *et al.* (2023), Moreno *et al.* (2020), Soares *et al.* (2020) e Lin *et al.* (2020).

Tabela 1 – Artigos selecionados para revisão da literatura

Referência	Localização	Objetivo/método	Categoria
Fardi <i>et al.</i> (2021)	Irã	A utilização de painéis FV em ERM em áreas urbanas no Teerã pode proporcionar danos à qualidade do ecossistema, à saúde humana e à disponibilidade de recursos. Porém, soluções técnicas são capazes de superar tais desafios.	I
Roberts <i>et al.</i> (2019a)	Austrália	Oportunidades e barreiras para a implementação de sistemas FV em ERM na Austrália. As barreiras incluem a falta de incentivos financeiros e regulamentações, falta de conhecimento e apoio aos proprietários e inquilinos. Como benefícios, o potencial para redução de custos de energia e emissões de gases de efeito estufa e o aumento do valor da propriedade.	I
Frate <i>et al.</i> (2023)	Brasil	Obstáculos e facilitadores da adoção de sistemas FV em ERM em Brasília. Obstáculos e facilitadores em cidades importantes ao redor do mundo, como falta de informação, custos iniciais e influência social, também são vistos em Brasília.	I
Fina <i>et al.</i> (2021)	Áustria e Austrália	Literatura sobre plantas FV para autoconsumo em ERM na Austrália e na Áustria. Vantagens como a redução de custos de energia e geração de receita.	II
D'Agostino <i>et al.</i> (2022a)	Itália	Potencial FV para edifícios alcançarem o status de Edifício de Energia Quase Zero (NZEB, Near Zero Energy Building). O estudo apontou que autossuficiência energética é de sete a oito andares.	II
Krarti <i>et al.</i> (2021)	Estados Unidos	Desempenho de janelas rotativas deslizantes com sistema FV para edifícios de apartamentos. Indica que a utilização de bordas deslizantes com painéis FV pode diminuir o consumo de energia nas residências.	II
Roberts <i>et al.</i> (2019b)	Austrália	Interesse em aumentar o autoconsumo de eletricidade gerada por sistemas FV instalados nos telhados e apontam benefícios financeiros para as famílias.	II
Syed <i>et al.</i> (2020)	Austrália	Como um ERM de três unidades se beneficia de uma micro rede compartilhada. A taxa anual de autossuficiência reflete que 75% da demanda é atendida pela combinação de sistemas FV-baterias.	II
Gassar <i>et al.</i> (2022)	Coréia do Sul	Impacto dos sistemas FV e material de mudança de bio-fase no custo do ciclo de vida de ERM. Mostram reduções nas necessidades anuais de energia, com um período de retorno do investimento entre 5 a 8 anos.	II
Roberts <i>et al.</i> (2019c)	Austrália	Fluxos de eletricidade e transações financeiras em apartamentos com FV e BESS. Demonstram aumento na capacidade de autossuficiência energética em até 15-22%.	II
Fina <i>et al.</i> (2020)	Áustria	Rentabilidade da implementação de FV em um ERM. Uma comparação dos resultados de contratação da capacidade FV custeando o CO ₂ , mostra que conforme a taxa de juros aumenta a capacidade instalada diminui.	III
Woo <i>et al.</i> (2022)	Coréia do Sul	Valor econômico dado e níveis de aceitação dos consumidores aos sistemas residenciais de energia solar. Os entrevistados se mostram cientes da importância dos sistemas de energia solar e acreditam que podem ser economicamente viáveis e aceitáveis. Também demonstram preferência por painéis mais discretos.	III
Monna <i>et al.</i> (2020)	Palestina	Consumo de energia e ERM: levantamento das tipologias mais comuns e conversão de recursos renováveis em diferentes cenários. A produção de eletricidade pode suprir de mais da metade do consumo projetado para o futuro, ou até exceder as estimativas de consumo dependendo da quantidade de unidades no edifício.	III
Mohammadi <i>et al.</i> (2023)	Teórico	Alocação e negociação de FV em ERM à luz dos princípios de equidade energética. Do método utilizado pode ser notado um aumento no lucro dos vendedores e para os compradores uma redução nos custos.	IV
Narjabadifam <i>et al.</i> (2023)	África, Europa, Ásia, América do Norte e Central.	Revisão sobre produção coletiva FV - CSS. Os resultados evidenciam que aspectos institucionais, regulatórios, socioeconômicos e políticos, são barreiras que podem reduzir o avanço do CSS.	IV
Roberts <i>et al.</i> (2022)	Austrália	Ferramenta de código aberto para modelar fluxos de eletricidade e transações financeiras em ERM com FV. O estudo aponta que tarifas adequadas são essenciais para maximizar benefícios e incentivar a participação dos consumidores em iniciativas de energia compartilhada.	IV

Feng <i>et al.</i> (2023)	China	Potencial de BIPV na China. Com base em análise anual é dado o ângulo de inclinação ideal, fachada sul, leste ou oeste e fachada norte.	V
Chen <i>et al.</i> (2022)	Singapura	Barreiras para a implementação de BIPV em Singapura. Se destacam o alto custo, a falta de incentivos governamentais, escassez de conhecimento técnico e a falta de conscientização pública sobre BIPV.	V
Restrepo <i>et al.</i> (2023)	Colômbia	Perspectivas para sistemas BIPV. No estudo foi possível prospectar que as adições anuais de geração FV globalmente acelerem durante 2023–2025.	V
Stauch <i>et al.</i> (2019)	Suíça	Disposição dos clientes em adquirir solar comunitária BIPV ou painéis convencionais. 46,2% estariam dispostos a comprar painéis de usina solar da comunidade. Já painéis solar convencional, 50,3% estariam dispostos.	V
Abu <i>et al.</i> (2022)	Jordânia	Área adequada nas superfícies do edifício para instalação FV. A maior radiação solar anual se dá na superfície inclinada a 30° sul, sendo menor nas fachadas verticais, a área mais indicada para instalação o telhado.	V
Lauffer <i>et al.</i> (2020)	Brasil	Geração FV em ERM. Compara o desempenho em diferentes fachadas, localizações e tecnologias FV. O silício monocristalino se mostra superior, suprimindo a demanda das edificações nas cidades estudadas.	V
Abdelhafez <i>et al.</i> (2021)	Arábia Saudita	Potencial da tecnologia BIPV integrada aos telhados de edifícios em Hail City. Constatou-se que quanto maior a inclinação do sistema, maior a taxa de desempenho e eficiência.	V
Moreno <i>et al.</i> (2020)	Suíça	Arquétipos de ERM por meio da análise de Sistemas de Informação Geográfica e dados estatísticos. Os resultados destacam o efeito de autofinanciamento proporcionado pelos cenários de renovação com soluções BIPV e apontam que é possível alcançar até 83% de economia total de energia com uma combinação de estratégias passivas, ativas e BIPV.	V
D'Agostino <i>et al.</i> (2022b)	Itália	Isolamento e custo-benefício da instalação FV com e sem armazenamento em diferentes edifícios. Mostra uma economia de 64,3% considerando o isolamento ideal e FV adicionado.	VI
Yang <i>et al.</i> (2021)	Coréia do Sul	Casos de instalação coletiva de mini-FV em varandas de complexos residenciais em Dongdaemun, Seul. Desafios incluíram oposição de moradores e preferências de orientação.	VI
Ciesla <i>et al.</i> (2021)	Brasil	Instalação de FV num conjunto habitacional de baixa renda. A medida se mostra benéfica, 80% das famílias tem interesse em adotar o sistema FV, o investimento possui um retorno de 6,6 anos.	VI
Oliveira <i>et al.</i> (2019)	Brasil	Análise de ERM em Brumadinho por meio de projetos técnicos, memorial descritivo e faturas dos usuários. O sistema FV pode proporcionar uma economia de R\$10.664,95, o tempo de retorno do investimento é entre 6,36 - 6,6 anos.	VI
Soares <i>et al.</i> (2020)	Brasil	Estudo em Brasília com dimensionamento de sistema FV em três blocos de apartamentos, considerando o consumo das áreas comuns e diferentes cenários de financiamento.	VI
Lin <i>et al.</i> (2020)	China	Análise de um sistema FV-Hidrelétrico de armazenamento por bombeamento em edifícios de vilas e de apartamentos. A comparação entre os edifícios de vilas e apartamentos destaca as vantagens do edifício de apartamentos por ser mais alto.	VI

Dos resultados analisados, 56% das declarações abordam os benefícios associados à implementação de sistemas FV em ERM. Isso pode demonstrar um consenso entre os autores em relação aos impactos positivos desses sistemas. Das declarações analisadas, 19% abordam os desafios enfrentados nesse contexto. Esses desafios englobam uma variedade de aspectos, desde questões técnicas, como a limitação de espaço para a instalação dos painéis solares e a integração com a infraestrutura existente, até desafios financeiros, como o alto investimento inicial requerido. Além disso, foram identificados desafios regulatórios, de governança e de participação dos condôminos como elementos a serem superados. Um percentual de 12,5% aborda aspectos técnicos e a mesma porcentagem de estudos abordam aspectos econômicos. No que diz respeito aos aspectos técnicos, foram mencionados tópicos como a seleção apropriada da área de instalação, a eficiência dos painéis solares, o dimensionamento do sistema, a integração com os demais componentes elétricos do edifício e a consideração de elementos como sombreamento e orientação solar. Já as declarações relacionadas aos aspectos econômicos dizem respeito à viabilidade financeira da instalação de sistemas FV em edifícios residenciais. Nesse contexto, são analisados os custos e benefícios envolvidos, o retorno do investimento, as opções de financiamento disponíveis e a disponibilidade de incentivos governamentais ou programas de subsídios.

Sobre barreiras e dificuldades para a adoção de sistemas FV em ERM, no geral, os textos fornecem uma visão abrangente dos obstáculos e facilitadores para a adoção de sistemas FV em edifícios multi-unidades. Também destacam a importância das políticas governamentais e das parcerias público-privadas na superação das barreiras para a adoção de sistemas FV. Além disso, sugerem que a adoção de sistemas FV pode fornecer uma série de benefícios, incluindo custos de energia reduzidos, redução de emissões de gases de efeito estufa, bem como aumento do valor da propriedade e criação de empregos. Os textos destacam a importância das políticas governamentais -como incentivos fiscais e abatimentos- na promoção da adoção de sistemas FV.

Sobre estimativa e avaliação das necessidades e disponibilidades energéticas em ERM, o consumo de energia e seu impacto decorrente da implementação de sistemas FV foram realizados estudos em diferentes locais e climas, utilizando diversos métodos. No entanto, foram identificadas conclusões comuns: 1. o uso de sistemas FV em edifícios de apartamentos pode resultar em uma redução significativa no consumo de energia, que varia de acordo com diversos fatores, como o tamanho do sistema, o tipo de edifício e as condições climáticas; 2. os sistemas FV com armazenamento tem a capacidade de fortalecer a resiliência de ERM.

Discutindo o potencial dos BIPV, os textos oferecem informações valiosas e apresentam uma variedade de benefícios. Os sistemas BIPV aprimoram a eficiência energética do edifício, reduzindo a necessidade de energia para aquecimento e resfriamento. No entanto, também existem desafios associados aos sistemas BIPV, como custos iniciais elevados, já que podem ser mais dispendiosos do que os painéis solares tradicionais, devido à complexidade do processo de projeto e instalação. Os sistemas têm uma disponibilidade limitada no caso ainda há uma oferta restrita de sistemas BIPV, dificultando a localização de instaladores qualificados. Por outro, a aparência dos sistemas BIPV pode gerar objeções, especialmente em edifícios históricos ou em áreas sensíveis. Em suma, os sistemas BIPV apresentam uma variedade de benefícios potenciais para os proprietários de edifícios. Contudo, é fundamental considerar cuidadosamente esses benefícios e desafios antes de decidir pela instalação de um sistema BIPV.

Os trinta artigos revisados fornecem informações sobre as tendências na instalação de sistemas FV em edifícios multi-unidades, permitindo a identificação de padrões e direcionamentos nesse campo, destacam-se: (I) avanços tecnológicos têm contribuído para a redução do custo dos sistemas FV, esse declínio no custo tem tornado os sistemas fotovoltaicos mais acessíveis para os proprietários; (II) as tecnologias de redes inteligentes podem ajudar a melhorar a eficiência dos sistemas FV e torná-los mais confiáveis; e (III) está havendo uma adesão ao uso de energia solar comunitária, um programa que viabiliza a participação dos proprietários em projetos solares sem a obrigatoriedade de instalarem seus próprios sistemas FV.

4. CONCLUSÃO

No presente estudo é proposta uma revisão bibliométrica sobre o uso da conversão FV para ERM. A revisão bibliométrica fornece uma visão abrangente do estado atual do uso desta tecnologia para ERM. As publicações desenvolvem pesquisa em seis linhas de trabalho: I) Obstáculos e facilitadores para a adoção de sistemas FV em ERM (10% dos artigos); II) necessidades e disponibilidades energéticas em ERM (23% dos artigos); III) possibilidades de mercado em ERM (10% dos artigos); IV) alocação e negociação de sistemas FV em ERM (10% dos artigos); V) tecnologia BIPV (27% dos artigos); e VI) estratégias para instalação de sistemas FV em ERM (20% dos artigos). Os artigos nas categorias V e VI são mais técnicos e juntos formam a maioria das publicações, um total de 47%. Já as categorias III e IV, que possuem um viés predominantemente econômico equivalem juntas a 20% do total de publicações.

Há nos artigos selecionados um consenso entre os autores quanto aos impactos positivos e negativos dos sistemas de conversão. É discutida a viabilidade econômica da instalação de sistemas FV em ERM e destacada a importância de incentivos governamentais para torná-los mais acessíveis. Outro ponto importante é o grande potencial dos BIPV e as tendências nas instalações FV em residências multifamiliares. Essas tecnologias demonstram resultados promissores que podem melhorar a eficiência energética dos edifícios. Um dos principais desafios é o custo inicial de instalação. Os sistemas FV ainda podem ser caros para instalar, mas o custo tem diminuído nos últimos anos. Outro desafio é a falta de incentivos governamentais. Muitos governos oferecem incentivos para a instalação de sistemas FV, mas esses incentivos não estão disponíveis em todos os países. No que tange às tendências, é discutido que formuladores de políticas devem concentrar esforços em remover obstáculos específicos para a adoção de energia solar FV em ERM. Deve ocorrer uma

conscientização sobre os benefícios dos sistemas FV e demonstrar ao público a viabilidade econômica da instalação destes sistemas. No geral, os benefícios dos sistemas FV parecem superar os desafios, o que sugere que o futuro dos sistemas FV em ERM é promissor.

Por fim, buscou-se contribuir para a disseminação e adoção dessa prática, oferecendo uma ampla visão dos desafios, oportunidades e tendências, com informações para formuladores de políticas e demais partes interessadas. As contribuições deste trabalho vão além da síntese dos estudos revisados, elas proporcionam novas perspectivas e tendências para o campo da GD em ERM.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio da bolsa de pós doutorado PD2-0175- 00351.03.01/20, Edital 03/2020. A segunda autora, agradece a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio da bolsa de doutorado nos termos da Instrução Normativa N° 04/2019. A terceira autora agradece ao CNPq pela bolsa de iniciação científica. O quarto autor agradece ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Abdelhafez, M. H. H., Touahmia, M., Noaime, E., Albaqawy, G. A., Elkhayat, K., Achour, B., Boukendakdji, M., 2021. Integrating Solar Photovoltaics in Residential Buildings: Towards Zero Energy Buildings in Hail City, KSA. *Sustainability* 2021, 13(4).
- Abu Qadourah, J., Al-Falahat, A. M., Alwashdeh, S. S., Pham, D. T., 2022. Assessment of Solar Photovoltaics Potential Installation Into Multi-family Building's Envelope in Amman, Jordan. *Cogent Engineering*, n.9.
- ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica 2023. Disponível em <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acessado em junho/2023.
- Chen, T., Sun, H., Tai, K. F., Heng, C. K., 2022. Analysis of the barriers to implementing building integrated photovoltaics in Singapore using an interpretive structural modelling approach. *Journal of Cleaner Production*, 365.
- Ciesla, J. S., Gouvêa, M. T., Júnior, M. V. C., Filho, J. L. P., Guimarães, D. H. P., Rosa, M. T. M. G., 2021. Painéis fotovoltaicos em um conjunto de edificações popular em Campinas: Viabilidade econômica e social. *Revista de Ciência e tecnologia*, v.7.
- D'agostino, D., Mazzella, S., Minelli, F., Minichiello, F, 2022a. Obtaining the NZEB target by using photovoltaic systems on the roof for multi-storey buildings, *Energy and Buildings*, n.267. DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.112147.
- D'agostino, D., Parker, D., Melià, P., Dotelli, G., 2022b. Optimizing photovoltaic electric generation and roof insulation in existing residential buildings, *Energy and Buildings*, n.255. DOI: 0.1016/j.enbuild.2021.111652.
- Edelson, J., 2021. Codes for loadds – Making our buildings work with renewable Power grids. New buildings institute. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/unlocking-the-potential-of-distributed-energy-resources/executive-summary>>. Junho/2023.
- Fardi, A. R., Sohani, A., Saedpanah, E., Sayyaadi, H., 2021. Towards Achieving the Best Solution to Utilize Photovoltaic Solar Panels for Residential Buildings in Urban Areas. *Sustainable Cities and Society*, 71, 102968.
- Fina B. A. B., Auer, H., Friedl, W., 2020. Profitability of contracting business cases for shared photovoltaic generation and renovation measures in a residential multi-apartment building. *Journal of Cleaner Production*, 265, 121549.
- Fina B., Roberts, M. B., Auer, H., Bruce, A., Macgill, I., 2021. Exogenous influences on deployment and profitability of photovoltaics for self-consumption in multi-apartment buildings in Australia and Austria. *Applied Energy*, 283, 116309.
- Frate, C. A., Carvalho, P. C. M., Shayani, R. A., 2023. Barreiras para adoção de sistemas FV em condomínios residenciais: vozes de especialistas do planalto central do Brasil. *Revista Brasileira de Energia*, v2.
- Feng, X., Ma, T., Yamaguchi, Y., Peng, J., Dai, Y., Ji, D., 2023. Potential of residential building integrated photovoltaic systems in different regions of China. *Energy for Sustainable Development*, 72.
- Gassar, A. A. A.; Cha, S. H., 2022. Feasibility assessment of adopting distributed solar photovoltaics and phase change materials in multifamily residential buildings. *Sustainable Production and Consumption*, n.29, p.507-528.
- Green, J., Martin, D., Cojocar, M., 2018. The Untouched Market: Distributed Renewable Energy in Multitenanted Buildings and Communities. *Urban Energy Transition (2th Edition)*, p. 401-418.
- IEA - International Energy Agency, 2023. Disponível em <<https://www.iea.org/topics/net-zero-emissions>>. Acesso em junho/2023.
- IRENA – International Renewable Energy Agency, 2022. World energy transitions outlook. Disponível em <<https://www.irena.org/Digital-Report/World-Energy-Transitions-Outlook-2022>>. Acesso em junho/2023.
- Krarti, M., 2021. Evaluation of PV integrated sliding-rotating overhangs for US apartment buildings, *Applied Energy*, n.293.

- Lauffer, H. A., Tomaszewski, G. A., Haeberle, F., Dias, J. B., Wander, P. R., 2020. Simulação e análise de diferentes tecnologias de módulos fotovoltaicos aplicados em uma edificação residencial vertical. Congresso brasileiro de energia solar, Anais CBENS.
- Lin, S., Ma, T., Javed, M. S., 2020. Prefeasibility study of a distributed photovoltaic system with pumped hydro storage for residential buildings. *Energy Conversion and Management*, n.222.
- Martins, F. R.; Pereira, E.B. (2011) Enhancing information for solar and wind energy technology deployment in Brazil. *Energy Policy*, 39, 4378–4390.
- Mohammadi, S., Eliassen, F., Jacobsen, H., 2023. Applying Energy Justice Principles to Renewable Energy Trading and Allocation in Multi-Unit Buildings. *Energies*, 16. <https://doi.org/10.3390/en16031150>.
- Monna, S., Juaidi, A., Abdallah, R., Itma, M., 2020. A Comparative Assessment for the Potential Energy Production from PV Installation on Residential Buildings, *Sustainability*, n.12(24). <https://doi.org/10.3390/su122410344>.
- Moreno, S. A., Rey, E., 2020. Active renovation strategies with building-integrated photovoltaics (BIPV): application on an early 20th century multi-family building. *Proceedings of the 8th Euro-American Congress, Rehabend*.
- Narjabadifam, N., Fouladvand, J., Gül, M., 2023. Critical Review on Community-Shared Solar—Advantages, Challenges, and Future Directions. *Energies*, 16. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1996-1073/16/8/3412>>.
- NREL – National Renewable Energy Laboratory, 2022. Disponível em <<https://www.iea.org/reports/unlocking-the-potential-of-distributed-energy-resources/executive-summary>>. Acesso em junho/2023.
- NDC (2021). Nationally Determined Contribution Convention on Climate Change (UNFCCC).
- Oliveira, G. L. C., Penna, R. M. M., Oliveira, F. M. D., Oliveira, R. D., 2019. Análise de viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede em uma edificação multifamiliar. Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, setembro de 2019.
- Restrepo-Herrera, D., Martínez, W., Trejos-Grisales, L. A., Restrepo-Cuestas, B. J., 2023. A Holistic Approach for Design and Assessment of Building-Integrated Photovoltaics Systems. *Applied Science*, 13.
- Roberts, M. B., Bruce, A., Macgill, I., 2019a. Opportunities and barriers for photovoltaics on multi-unit residential buildings: Reviewing the Australian experience. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 104.
- Roberts, M. B.; Bruce, A.; Macgill, I., 2019b. A comparison of arrangements for increasing self-consumption and maximizing the value of distributed photovoltaics on apartment buildings, *Solar Energy*, n.193, p.372-386.
- Roberts, M. B.; Bruce, A.; Macgill, I., 2019c. Impact of shared battery energy storage systems on photovoltaic self-consumption and electricity bills in apartment buildings. *Applied Energy*, n.245, p.78-95, July 2019.
- Roberts, M. B.; Sharma, A.; Macgill, I., 2022. Efficient, effective and fair allocation of costs and benefits in residential energy communities deploying shared photovoltaics. *Applied Energy*, n.305, January 2022.
- Sonal. Ghosh, D., 2020. Impact of Distributed Generation on the Reliability Allocation of Distribution System: A mesh-Grid Approach. *International Conference on Emerging Frontiers in Electrical and Electronic Technologies-ICEFEET*, Patna, India, 2020, p. 1-6.
- Soares, P. M., Rocha, A. M., Silva, M. S., Lopes, J. M., Hocevar, L. S., Borges, D. B., 2020. Avaliação econômica e técnica de um sistema conectado à rede: estudo de caso de condomínio na cidade de Brasília, Brasil. *Brazilian Journal of Development*, 6(6).
- Solargis. (2017). Brazil global horizontal irradiation. Yearly sum of global horizontal irradiation. Retrieved December 29, 2017, from (<https://solargis.com/assets/graphic/free-map/GHI/Solargis-Brazil-GHI--solar-resource-map-en.png>)
- Stauch, A., Vuichard, P., 2019. Community solar as an innovative business model for building-integrated photovoltaics: An experimental analysis with Swiss electricity consumers. *Energy and Buildings*, 204.
- Syed, M. M., Hansen, P., Morrison, G., 2020. Performance of a shared solar and battery storage system in an Australian apartment building. *Energy and Buildings*, n.225. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110321>
- Ufa, R.A., Malkova, Y.Y., Rudnik, V.E., Andreev, M.V., Borisov, V.A., 2022. A review on distributed generation impacts on electric power system. *International Journal of Hydrogen Energy*, n.47, p. 20347-20361.
- Woo, J., Moon, S., Choi, H., 2022. Economic value and acceptability of advanced solar power systems for multi-unit residential buildings: The case of South Korea. *Applied Energy*, 324, 119671.
- Yang, S., Chen, W., Kim, H., 2021. Building Energy Commons: Three Mini-PV Installation Cases in Apartment Complexes in Seoul. *Energies*, 14(1). Disponível em <<https://doi.org/10.3390/en14010249>>.

PHOTOVOLTAIC SYSTEMS FOR MULTI-UNIT RESIDENTIAL BUILDINGS: ONE BIBLIOMETRIC REVIEW

Abstract: The use of photovoltaic (PV) systems in multi-unit buildings (MUBs) has generated significant interest in the markets, primarily due to continuous increases in electricity tariffs and the pursuit of renewable energy conversion technologies capable of reducing carbon emissions in the atmosphere. This article aims to conduct a systematic and bibliometric review on the utilization of PV conversion systems in MUBs. We endeavored to categorize the research areas in this field, identify benefits, challenges, technical and economic aspects through an analysis of thirty scientific articles published from 2019 onwards, obtained from the Elsevier, Scopus, and Google Scholar databases. Our findings show that out of the selected scientific articles, 10% address barriers and facilitators, 23% focus on energy requirements and availability, 10% examine market possibilities, 10% deal with the allocation and negotiation of systems, 27% explore the

topic of Building-Integrated Photovoltaics (BIPV), and 20% are related to strategies for installing PV systems in MUBs. Key benefits include cost savings on energy, economic viability, and improved reliability of power supply in electrical systems. Key challenges encompass initial costs, government regulations, energy planning, and a lack of awareness. Specifically for Brazil, the authors recommend research to map the facade areas of multi-unit residential and commercial buildings and their respective orientations in order to estimate the integration capacity of solar photovoltaic conversion systems in large cities in the Northeast.

Keywords: *Solar Photovoltaics; Energy communities, Residential Multi-units' buildings.*