



Alcance da eficiência energética em restauro de edificações históricas com a utilização de placas fotovoltaicas

Achieving energy efficiency in the restoration of historic buildings using photovoltaic panels

Lograr la eficiencia energética en la restauración de edificios históricos mediante paneles fotovoltaicos

Paula Rodrigues Barroso

PROAC - Programa de Pós Graduação do Ambiente Construído, UFJF, Brasil.
paularbarroso@gmail.com

Liziê Froeder Neves

PROAC - Programa de Pós Graduação do Ambiente Construído, UFJF, Brasil.
02889290123@estudante.ufjf.br

Maysa Jéssica Guedes de Oliveira

PROAC - Programa de Pós Graduação do Ambiente Construído, UFJF, Brasil.
maysaguedes02@gmail.com

Nathane Durso de Oliveira

PROAC - Programa de Pós Graduação do Ambiente Construído, UFJF, Brasil.
nathane.durso@estudante.ufjf.br

Cristiano Gomes Casagrande

Professor Doutor, UFJF, Brasil.
cristiano.casagrande@ufjf.br



RESUMO

No cenário brasileiro contemporâneo, observa-se um aumento progressivo do interesse na aplicação de sistemas fotovoltaicos em edificações históricas com o intuito de viabilizar a autossuficiência energética. Esse interesse se deve, em grande parte, à crescente conscientização ambiental e à busca por fontes de energia renovável e sustentável. No entanto, a instalação de painéis solares em construções históricas apresenta desafios singulares, considerando a necessidade de preservar a integridade arquitetônica e estética dessas estruturas. Tal abordagem exige uma análise criteriosa, envolvendo profissionais multidisciplinares, para assegurar a harmonia entre a eficiência energética e a conservação do patrimônio histórico. À medida que avanços tecnológicos e adaptações regulatórias se desenvolvem, a perspectiva de alcançar a autossuficiência energética em edificações históricas no Brasil se torna progressivamente mais factível, contribuindo, assim, para a promoção da sustentabilidade e a salvaguarda de nosso valioso legado cultural. O objetivo geral deste artigo visa identificar as dificuldades e potencialidades da utilização de placas fotovoltaicas em edifícios históricos, com a finalidade de alcançar a autossuficiência energética. A metodologia utilizada foi uma revisão de literatura sobre o tema e estudo de caso de três municípios brasileiros. Conclui-se que alcançar a eficiência em edifícios históricos é economicamente viável, resultando em economias a longo prazo e benefícios ambientais. Além disso, sugere-se a realização de futuros estudos de eficiência energética em edifícios tombados, considerando retrofit energético, placas solares e compra de créditos de energia.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema solar fotovoltaico. Retrofit energético. Edificações históricas.

SUMMARY

In the contemporary Brazilian scenario, there is a progressive increase in interest in the application of photovoltaic systems in historic buildings in order to enable energy self-sufficiency. This interest is largely due to the growing environmental awareness and the search for renewable and sustainable energy sources. However, installing solar panels on historic buildings presents unique challenges, considering the need to preserve the architectural and aesthetic integrity of these structures. Such an approach requires a careful analysis, involving multidisciplinary professionals, to ensure harmony between energy efficiency and the conservation of historical heritage. As technological advances and regulatory adaptations develop, the prospect of achieving energy self-sufficiency in historic buildings in Brazil becomes progressively more feasible, thus contributing to promoting sustainability and safeguarding our valuable cultural legacy. The general objective of this article is to identify the difficulties and potential of using photovoltaic panels in historic buildings, with the aim of achieving energy self-sufficiency. The methodology used was a literature review on the subject and a case study of three Brazilian municipalities. It is concluded that achieving efficiency in historic buildings is economically viable, resulting in long-term savings and environmental benefits. In addition, it is suggested to carry out future studies of energy efficiency in listed buildings, considering energy retrofit, solar panels and purchase of energy credits.

KEYWORDS: Solar photovoltaic system. Energy retrofit. Heritage building.

RESUMEN

En el escenario brasileño contemporáneo, hay un progresivo aumento del interés en la aplicación de sistemas fotovoltaicos en edificios históricos con el objetivo de permitir la autosuficiencia energética. Este interés se debe en gran medida a la creciente conciencia medioambiental y a la búsqueda de fuentes de energía renovables y sostenibles. Sin embargo, la instalación de paneles solares en edificios históricos presenta desafíos únicos, considerando la necesidad de preservar la integridad arquitectónica y estética de estas estructuras. Este enfoque requiere un análisis cuidadoso, que involucre a profesionales multidisciplinares, para garantizar la armonía entre la eficiencia energética y la conservación del patrimonio histórico. A medida que se desarrollan los avances tecnológicos y las adaptaciones regulatorias, la perspectiva de lograr la autosuficiencia energética en los edificios históricos de Brasil se vuelve cada vez más factible, contribuyendo así a la promoción de la sostenibilidad y la salvaguardia de nuestro valioso legado cultural. El objetivo general de este artículo pretende identificar las dificultades y potencialidades del uso de paneles fotovoltaicos en edificios históricos, con el objetivo de alcanzar la autosuficiencia energética. La metodología utilizada fue una revisión de la literatura sobre el tema y un estudio de caso de tres municipios brasileños. Se concluye que lograr eficiencia en edificios históricos es económicamente viable, resultando en ahorros y beneficios ambientales a largo plazo. Además, se sugiere que en el futuro se realicen estudios de eficiencia energética en los edificios catalogados, considerando la modernización energética, los paneles solares y la compra de créditos energéticos.

PALABRAS CLAVE: Sistema solar fotovoltaico. Modernización energética. Edificios históricos.



1. INTRODUÇÃO

A redução na emissão de dióxido de carbono (CO₂) é uma demanda global e em 2015 o Brasil apresentou sua pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC) ao Acordo de Paris (BRASIL, 2015).

Em vigor desde 4 de novembro de 2016, o acordo firma o compromisso, perante a Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei nº 12.187/2009), de cortar 43% das emissões de GEE (gases de efeito estufa) até 2030, alcançando 45% de fontes renováveis na matriz energética do país (BRASIL, 2015).

De acordo com dados publicados pela Empresa de Pesquisa Energética no Balanço Energético Nacional (BEN) - Relatório Síntese 2023, a participação de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira ficou em 87,9% no ano de 2022, sendo que a geração solar fotovoltaica atingiu 30,1 TWh (geração centralizada e MMSGD¹), crescendo 79,8% e a sua capacidade instalada alcançou 24,453 MW, expansão de 82,4% em relação ao ano anterior. “A energia solar fotovoltaica representou 94,3% da MMSGD em 2022, sendo a principal fonte responsável pelo aumento registrado na MMSGD. (EPE, 2023, p. 44).

Ainda de acordo com os dados publicados pela Empresa de Pesquisa Energética (2023), o adicional de capacidade instalada de MMSGD se concentrou no Centro-Sul do país, influenciado pela expansão da fonte solar em unidades federativas como Minas Gerais, São Paulo, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Mato Grosso e, embora a capacidade de fontes como a térmica e a hidráulica tenham apresentado algum crescimento em 2022, a maior participação da capacidade instalada por meio de painéis solares é que define atualmente o segmento de geração de MMSGD no Brasil.

De acordo com o Balanço Energético Nacional da EPE (2023) revelou que o consumo final de eletricidade no país em 2022 cresceu 2,3% e os setores que mais contribuíram para este avanço foram o comercial, seguido pela indústria, pelo residencial e pelo setor público. Exceto o setor industrial, todos os outros correspondem a espaços edificados. Isso evidencia a urgência de direcionar recursos para o desenvolvimento de sistemas que reduzam o gasto energético nas edificações.

Para edificações novas já existem normas e legislações que abarcam a sustentabilidade energética e que, obrigatoriamente, precisam ser seguidas, como a Norma de Desempenho - ABNT NBR 15575: 2021, a Norma de Iluminação Natural - ABNT NBR 15215 - parte 1-4: 2005 - 2023; a Norma de Desempenho Térmico ABNT NBR 15220 - parte 1-5: 2003 - 2023; dentre outras. No entanto, as edificações de caráter histórico apresentam particularidades e restrições que não exercem o mesmo grau de limitação observado nas construções contemporâneas, sobretudo quando se trata de edifícios que foram tombados. Existe uma lacuna de estudos científicos voltados para a resolução da ineficiência das edificações históricas.

¹ Micro e minigeração distribuída - pequenas centrais de geração de energia elétrica locais por meio de fontes renováveis ou cogeração qualificada.



Como elucidado por Ibrahim, et al. (2021), edifícios históricos possuem baixo desempenho energético, pois não foram construídos considerando-se a premissa da eficiência. Sendo assim, intervir nesses edifícios para melhorar seu desempenho energético é uma tarefa complexa, pois as soluções não podem ser aplicadas sem se considerar o valor cultural e histórico do bem.

Considerando a complexidade da busca da eficiência energética nas edificações históricas paralelamente ao grande potencial identificado nos sistemas fotovoltaicos de geração de energia, busca-se desenvolver estudo de investigação para identificar as potencialidades e limitações do sistema fotovoltaico para suposto alcance da autossuficiência energética das edificações históricas no contexto nacional.

2. MÉTODO

O método utilizado para esta pesquisa foi a revisão de literatura. Utilizou-se a combinação dos seguintes termos de busca com os operadores booleanos: “Sistema solar fotovoltaico” OR “Retrofit energético” OR “Autossuficiência energética” AND “Edificações históricas” OR “Edificações Tombadas” e os respectivos termos em inglês. Buscou-se artigos científicos no Portal de Periódicos Capes, sem restringir a data de publicação dos estudos. Buscou-se também, através do Google Acadêmico, monografias, teses, dissertações, publicações oficiais do governo brasileiro e livros que abordassem a temática a ser explorada.

Através da revisão dos materiais encontrados objetiva-se identificar as dificuldades e potencialidades da utilização de placas fotovoltaicas em edifícios históricos, aliados a métodos como o Retrofit energético, com a finalidade de se alcançar a autossuficiência energética. Para tal, analisou-se três estudos de caso publicados por outros autores onde foram aplicados sistemas de produção de energia fotovoltaicas em edificações históricas e Retrofit energético em regiões distintas do Brasil.

Este artigo foi estruturado em seis partes, a saber: (1) A pertinência do tema é introduzida ao leitor. Em seguida, (2) são apresentados os métodos e objetivo do trabalho. Na terceira parte (3) é apresentada uma breve revisão da literatura, contendo os conceitos-chave deste estudo. Em seguida, (4) são apresentados e analisados estudos de caso publicados por outros autores, (5) são dadas as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros e, por fim, (6) as referências consultadas.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, foi feita uma revisão de literatura sobre três temas específicos que são necessários para se alcançar o objetivo do estudo proposto neste artigo. Primeiramente, se faz necessário o entendimento sobre o “Retrofit energético de edificações históricas”, em sequência, apresenta-se os conceitos relacionados à “Eficiência Energética” e, na terceira parte, são apresentados alguns pontos sobre a “Utilização de placas fotovoltaicas no Brasil”.

3.1 Retrofit Energético de Edificações Históricas



De acordo com a NBR15575-1 (ABNT, 2021) retrofit é a “remodelação ou atualização do edifício ou de sistemas, através da incorporação de novas tecnologias e conceitos, normalmente visando valorização do imóvel, mudança de uso, aumento da vida útil, eficiência operacional e energética”. (ABNT, 2021, p.16)

Quando se fala de retrofit energético, as edificações históricas apresentam restrições complexas não existentes nas edificações contemporâneas. Segundo Milone, et al (2015), muitas das tecnologias disponíveis e utilizadas em prédios novos, são invasivas para prédios de valor histórico e que, devido a isso, muitas vezes, opta-se por elementos técnicos “não invasivos” mas com desempenho inferior. Webb (2017) reitera que é necessário se atentar para que o retrofit não provoque perda material no bem tombado, descaracterizando elementos de relevância histórica.

Diante da necessidade de adequação desses edifícios aos novos usos e programas contemporâneos, que muitas vezes buscam integrar estratégias de conforto ambiental e eficiência energética, cabe a reflexão se é possível propor estratégias desse tipo sem que haja perda dos valores de preservação patrimonial. (JAPIASSU, p. 24, 2019)

Além dos edifícios históricos que são utilizados como museus, esta questão energética é particularmente significativa para edifícios históricos utilizados para fins residenciais, pois esses edifícios continuamente ocupados são mais consumidores de energia. (MILONE, et al; 2015).

No Brasil, os regulamentos para avaliação do desempenho energético da edificação, conhecidos como RTQ-R e RTQ-C, tratam a edificação histórica como exceção. Ou seja, não especificam os procedimentos para analisar o desempenho energético de construções históricas. (CARVALHO, et al, p.2, 2020).

No Brasil, o órgão federal responsável pela salvaguarda das edificações históricas é o IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Há também, as instâncias de proteção estadual e municipal. Os mecanismos de proteção utilizados por esses entes visam garantir de forma legal a salvaguarda e preservação dessas edificações de acordo com o seu grau de tombamento. (IPHAN, 2019).

Segundo Vinagre, et al (2016) a concepção de manter os edifícios históricos intocados é uma perspectiva de natureza romântica, assim como ignorar a importância de preservá-los constitui um raciocínio inadequado. A dinâmica de mudança da sociedade, modifica também o uso dos espaços, sobretudo no que diz respeito às novas tecnologias e, conseqüentemente, ao uso de energia pelas edificações.

Vinagre, et al (2016) destaca que, se a integração de um sistema fotovoltaico em um edifício histórico for feita de maneira a minimizar o impacto arquitetônico e maximizar o desempenho energético, pode ser uma opção interessante para adicionar valor para o edifício e para reduzir seus custos operacionais.

3.2 Eficiência Energética



A eficiência energética visa reduzir o consumo de energia através de adequação de tarefas, a fim de minimizar o desperdício e melhor o aproveitamento de recursos. Esse conceito é o pilar fundamental da sustentabilidade pois auxilia na redução de emissão de gases do efeito estufa e a utilização de fontes não renováveis. Pode-se ainda entender como uma ferramenta de menor consumo de energia através de implementação de lâmpadas de LED, aparelhos de alta eficiência, além de integrar a energia a fontes renováveis (PEREIRA,2023).

Khalil et al (2018) afirma que o retrofit de uma edificação histórica é uma grande oportunidade para desenvolver uma adaptação sustentável ao edifício, proporcionando eficiência energética.

3.3 Utilização de Placas Fotovoltaicas no Brasil

De acordo com os últimos dados publicados pela Empresa de Pesquisa Energética (2023), a produção de energia fotovoltaica cresceu 79,8% no Brasil. Entretanto, embora o Brasil tenha grande potencial para geração de energia solar fotovoltaica, o setor ainda está em desenvolvimento e depende de aprendizado, incentivos tecnológicos e econômicos e criação de políticas específicas. (CARSTENS, et al; 2019). Ainda segundo as autoras, a falta de desenvolvimento de novas tecnologias, a baixa transferência de conhecimento, a escassez de profissionais qualificados e o mercado interno de pequena escala completam os principais desafios para o crescimento da energia fotovoltaica no país. (CARSTENS, et al; 2019).

O mapa de stakeholders no setor de energia fotovoltaica brasileira abrange sete grupos principais de atores: a indústria fotovoltaica, incluindo empresas, sindicatos, startups e inovações de nicho; instituições governamentais como o Ministério de Minas e Energia, EPE e ANEEL, moldando políticas públicas e planejamento energético; associações e ONGs, representadas por entidades fotovoltaicas e organizações ambientais e tecnológicas como ISES e ABSOLAR; financiamento, envolvendo bancos nacionais e internacionais, cooperativas de crédito e empresas financeiras; educação e formação profissional, principalmente universidades e institutos de ensino; geração centralizada fotovoltaica, dominada por multinacionais de energia e grandes usinas; e geração distribuída, com microgeradores e cooperativas residenciais e rurais. (CARSTENS, et al; 2019).

Para esse artigo, considerando a aplicação das tecnologias de produção de energia solar fotovoltaicas nas edificações históricas, pode-se acrescentar os órgãos de salvaguarda e patrimônio como mais um dos stakeholders envolvidos no processo.

Muitas das barreiras para projetos solares fotovoltaicos bem-sucedidos estão nos níveis regulatório e político. As políticas climáticas e energéticas precisam ser eficazes e requerem a institucionalização de estruturas regulatórias que melhorem a implementação de projetos solares fotovoltaicos, bem como incentivem o estabelecimento de sistemas confiáveis de aquisição financeira que criem opções para os investidores. (CARSTENS, et al; 2019).

Em abril de 2012 a ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, publicou a Resolução nº 482, que estabeleceu regras para o “sistema de compensação de energia” a partir do qual o consumidor pode gerar sua própria energia em prédios e injetar o excedente gerado na rede de



distribuição. Desde então, o número de sistemas fotovoltaicos instalados no Brasil aumentou significativamente (CARSTENS, et al; 2019).

Quanto às soluções de placas fotovoltaicas existentes no mercado, tem-se as chamadas *Building Applied Photovoltaics* (BAPV), que são os sistemas instalados sobrepostos à edificação; e o *Building Integrated Photovoltaics* (BIPV), que são sistemas instalados de modo integrados à edificação (ZALAMÉA-LEON et al., 2018; ROSA, 2020, apud SOARES, 2023).

Soares (2023) faz uma extensa revisão de literatura sobre os sistemas solares fotovoltaicos que têm sido utilizados no contexto internacional e, a partir dessa revisão de literatura, foram identificado cinco sistemas: sistema solar fotovoltaico opaco, sistema solar fotovoltaico colorido, sistema solar fotovoltaico semitransparente, película e módulos fotovoltaicos flexíveis e telha fotovoltaica.

De acordo com Rosa (2020) os sistemas solares fotovoltaicos opacos são os mais utilizados. São feitos de placas de silício na cor azul- escura, comumente aplicados por cima da envoltória (telhados e fachadas). A cor azul-escuro é propositalmente projetada para refletir o mínimo de luz, garantindo que a célula produza a potência máxima de energia, com a aplicação de uma camada de anti reflexo. A perda de energia gira em torno de 4%.

Um outro sistema existente no mercado internacional são as placas coloridas que facilitam a integração estética com a edificação tombada. Entretanto, ao se alterar as cores do painel fotovoltaico, sua eficiência diminui em 15-30%, de acordo com a cor escolhida, além da necessidade de se aumentar a espessura da camada antirreflexo (ROSA, 2020).

Outra opção, é a utilização de sistemas solares fotovoltaicos semitransparentes, que podem ser utilizados no tratamento de coberturas ou superfícies envidraçadas (BELLIA et al., 2015 apud SOARES, 2023).

A nanotecnologia permite a produção de películas fotovoltaicas com células semitransparentes. Essa película pode ser aplicada diretamente ao vidro, de forma que o espectro solar seja transmitido para o dispositivo solar e convertido em energia. Entretanto, a eficiência alcança apenas 6% a 11% e o sistema deteriora muito rápido, ou seja, é uma opção que carece de melhorias (ROSA, 2020).

Por fim, existem as telhas fotovoltaicas, nas quais as células fotovoltaicas são colocadas na parte central da telha. Esta opção proporciona melhor adaptabilidade geométrica, menor impacto visual e uma melhor taxa de ocupação. Entretanto, possui baixa eficiência se comparada aos painéis (30%) e os preços são 3,33 vezes mais altos que as placas monocristalinas e policristalinas regulares (ZALAMÉA-LÉON et al., 2017, apud SOARES, 2023).

4. ESTUDOS DE CASOS

4.1 Casarão 2 - Secretaria da Cultura do Município de Pelotas - RS

Este artigo aborda um estudo de viabilidade econômica relacionado à busca pelo nível "A" de eficiência energética, conforme definido pela INI-C (Iniciativa de Construções Sustentáveis), em um edifício histórico localizado na região sul do Brasil. Historicamente, a eficiência energética tem sido uma preocupação crescente, e a adaptação de edifícios históricos



a essas normas representa um desafio significativo. Nesse contexto, o estudo tem como objetivo avaliar se é viável economicamente alcançar esse nível de eficiência em um edifício histórico (CARVALHO, GRALA e OLIVEIRA, 2020).

O método utilizado neste estudo é a simulação computacional para analisar o consumo de energia em uma edificação histórica e investigar as potenciais melhorias por meio do retrofit. O processo de pesquisa foi estruturado em quatro fases fundamentais: identificação do objeto de estudo, modelagem computacional, estimativa de custos para o retrofit e avaliação dos resultados obtidos (CARVALHO, GRALA e OLIVEIRA, 2020).

Na etapa inicial, procedeu-se à seleção e caracterização da edificação escolhida como objeto de estudo. A seleção baseou-se em critérios específicos, incluindo a localização na região sul do Brasil, seu status de tombamento no nível 1 (devido às restrições de modificações), sua natureza pública para permitir acesso público, uma área superior a 500m² e uma localização de esquina, maximizando o número de fachadas em contato com o ambiente externo. Adicionalmente, um levantamento documental histórico e arquitetônico foi conduzido para enriquecer o entendimento do objeto de estudo. O edifício que atendeu a todos esses critérios foi o Casarão 2, localizado no centro histórico de Pelotas, RS (CARVALHO, GRALA e OLIVEIRA, 2020).

A segunda fase do estudo compreendeu três etapas distintas: a modelagem tridimensional, a configuração dos modelos (real e de referência) e a otimização visando atingir o nível "A" de conformidade com a INI-C em eficiência energética. A modelagem tridimensional foi executada com o auxílio do plugin Euclid 0.9.3, integrado à interface do SketchUp 2017. Os parâmetros relacionados a materiais, ocupação, equipamentos, iluminação e uso foram cuidadosamente configurados utilizando o software EnergyPlus 8.7.0, o que permitiu uma análise detalhada do desempenho térmico dos modelos. Para embasar a simulação, foram utilizados dados climáticos fornecidos pelo Laboratório de Conforto e Eficiência Energética (LABCEE) para a região de Pelotas (CARVALHO, GRALA e OLIVEIRA, 2020).

Na terceira fase deste estudo, procedeu-se à elaboração do orçamento para cada modelo otimizado. Esse processo envolveu a estimativa dos custos diretos, abrangendo materiais, equipamentos e mão-de-obra, por meio de um levantamento detalhado dos materiais necessários para a implementação do retrofit. As estimativas de custos foram fundamentadas nas informações da Tabela de Composição de Preços para Orçamentos (TCPO) de 2010, bem como nos dados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices (SINAPI) de 2019, referentes ao mês de novembro e à região de Porto Alegre (CARVALHO, GRALA e OLIVEIRA, 2020).

Na quarta fase da pesquisa, conduziu-se uma análise abrangente do conforto térmico, consumo de energia e período de recuperação financeira (payback simples) com o objetivo de avaliar a viabilidade econômica das propostas de retrofit. A INI-C estabelece um conjunto de cinco passos para determinar o nível de eficiência energética de uma edificação, com base no modelo de referência.

Primeiramente, o Consumo de Energia Primária (CEP) do modelo de referência foi calculado. Em seguida, o Fator de Forma (FF) da edificação foi determinado, representando a relação entre a área total do envelope da edificação e o seu volume total.



Posteriormente, foi calculado o Coeficiente de Redução do Consumo de Energia Primária, utilizado para transitar da classe "D" para a classe "A" de eficiência energética. Esse coeficiente é um valor predefinido pela INI-C, que leva em consideração o FF, a tipologia da edificação e o grupo climático ao qual ela pertence.

Após a obtenção do Coeficiente de Redução, o intervalo entre as classes "A" e "D" de eficiência energética foi identificado usando uma fórmula específica. Por fim, com base nesse intervalo entre classes, preencheu-se a Tabela 1, a qual possibilitou a análise comparativa do desempenho energético entre o modelo real e os modelos otimizados (CARVALHO, GRALA e OLIVEIRA, 2020).

Tabela 1 - Intervalo entre classes

Classe de eficiência energética	A	B	C	D	E
Limite superior	-	$> CRCEP_{A-D-3i}$	$> CRCEP_{A-D-2i}$	$> CRCEP_{A-D-i}$	$> CRCEP_{A-D}$
Limite inferior	$\leq CRCEP_{A-D-3i}$	$\leq CRCEP_{A-D-2i}$	$\leq CRCEP_{A-D-i}$	$\leq CRCEP_{A-D}$	-

Fonte: INI-C (INMETRO, 2018. p.19)

Este estudo foi conduzido com o propósito de avaliar a viabilidade econômica de alcançar o nível "A" de eficiência energética de acordo com a INI-C em um edifício histórico classificado no nível um de tombamento, considerando o contexto climático na região sul do Brasil e as restrições legais relacionadas à preservação do patrimônio histórico (CARVALHO, GRALA e OLIVEIRA, 2020).

Apesar da ausência de um protocolo claro que harmonize as melhorias energéticas do retrofit com a preservação do patrimônio histórico, conforme discutido por Boarin et al. (2014) e Cirami et al. (2017), bem como as limitações nas modificações de edifícios históricos mencionadas por Boarin et al. (2014), este estudo demonstrou que é possível otimizar o Casarão 2 para atingir o nível "A" de eficiência energética de acordo com a INI-C sem causar danos ao seu valor histórico. Essa otimização resultou em um ambiente interno com conforto térmico para os usuários e custos reduzidos de energia, corroborando as vantagens do retrofit mencionadas por Martinez-Molina et al. (2016), Kass et al. (2017) e Mazzarella (2014).

É importante observar que os retrofits baseados em estratégias completamente passivas e climatização natural não foram considerados viáveis devido à não conformidade com o Percentual de Horas Ocupadas em Conforto Térmico (PHOCT) de 90%, necessário para alcançar a classe "A" de eficiência energética. Além disso, os retrofits que atingiram o nível "A" de acordo com a INI-C também não foram considerados economicamente viáveis. Isso se deve ao fato de que, ao calcular o payback simples, o tempo necessário para recuperar o investimento excedeu a vida útil mínima da pintura externa do edifício. O único modelo otimizado com um tempo de payback menor (modelo 45) só pode ser considerado viável economicamente se a vida útil da pintura externa for estendida para 12 anos, indicando a necessidade de uma interpretação flexível dos dados. Este estudo sugere que são necessárias pesquisas adicionais, abrangendo uma variedade de edificações e abordagens de retrofit, para chegar a conclusões mais sólidas sobre essa questão (CARVALHO, GRALA e OLIVEIRA, 2020).

4.2 Palácio Antônio Lemos - Belém - PR



O estudo apresenta uma abordagem com orientações técnicas arquitetônicas e de engenharia para a integração da energia solar fotovoltaica (PV) em edifícios históricos localizados no Estado do Pará, na região norte do Brasil (VINAGRE, 2016). A metodologia proposta tem como objetivo avaliar o impacto da integração fotovoltaica em edifícios históricos em termos de arquitetura e desempenho energético, a fim de minimizar o envolvimento das características culturais dos edifícios históricos e protegidos e maximizar a geração de eletricidade fotovoltaica (VINAGRE, 2016).

Um dos casos abordados foi o Palácio Antônio Lemos, construído no século XIX, que foi projetado para abrigar o poder municipal. Localizado no bairro da Cidade Velha, é tombado nas esferas federal, estadual e municipal. Ao longo da sua história, o palácio abrigou o Tribunal de Relação, Junta Comercial, Conselho Municipal e Câmara de Deputados. Atualmente, o edifício abriga o Museu de Arte de Belém. O Palácio Antônio Lemos possui 19 faces diferentes no telhado, cobrindo uma área total de 3.034 m² (VINAGRE, 2016).

O consumo anual de eletricidade do palácio é de 316.422 kWh, e o seu telhado apresenta ângulos de inclinação baixos, variando entre 20° e 28°. Não há obstáculos que causem sombreamento em qualquer área da cobertura do edifício (VINAGRE, 2016).

O estudo indicou que as faces 4, 7 e 2 do telhado como sendo as que apresentam os melhores resultados, com diferenças significativas entre elas. Em seguida, estão as faces 6, 17, 13, 8 e 5. Essas oito faces do telhado são suficientes para acomodar os módulos fotovoltaicos necessários para suprir o consumo de eletricidade do edifício inteiro (VINAGRE, 2016).

Os resultados classificados como insatisfatórios serão às faces 12, 16, 15, 19, 9 e 10. Diferentemente dos resultados obtidos para uma construção hipotética, o Palácio Antônio Lemos apresenta um telhado com ângulos de orientação semelhantes e sem sombreamento. Por essa razão, o fator de maior impacto visual é decisivo para a pontuação final (VINAGRE, 2016).

As faces do telhado com melhor classificação têm em comum o fato de apresentarem impacto visual moderado e boa área de cobertura. Em contraste, as faces do telhado com pior classificação apresentam condições opostas (VINAGRE, 2016).

O estudo de Vinagre (2016) propõe uma abordagem para integrar energia solar fotovoltaica em edifícios históricos no Pará, preservando características culturais e maximizando a geração de eletricidade. No caso do Palácio Antônio Lemos, o estudo acordou as faces do telhado mais adequadas para instalar módulos fotovoltaicos, considerando impacto visual e área de cobertura. Essa metodologia demonstra as diretrizes de compromisso com a sustentabilidade energética e a preservação do patrimônio cultural em edifícios históricos, incentivando a adoção de tecnologias de energia renovável.

4.3 Memorial Minas Gerais Vale - Belo Horizonte - MG

Esta pesquisa investiga a intersecção entre o patrimônio cultural e a sustentabilidade, com um enfoque específico na eficiência energética aplicada a edificações históricas. Procura-



se avaliar a viabilidade da implementação de sistemas de energia solar fotovoltaica, utilizando como exemplo o Memorial Minas Gerais Vale, localizado em Belo Horizonte (SOARES, 2023).

Os objetivos da pesquisa foram a identificação de sistemas solares fotovoltaicos e suas implicações arquitetônicas, a estimativa do potencial de economia de energia, a verificação da redução da pegada de carbono e a análise de possíveis impactos visuais (SOARES, 2023).

A metodologia deste estudo combina abordagens qualitativas e quantitativas. A parte qualitativa inclui uma revisão bibliográfica e análise documental para esclarecer conceitos sobre patrimônio cultural, sustentabilidade e eficiência energética. A abordagem quantitativa envolve coleta de dados sobre o consumo energético da edificação estudada. Os passos metodológicos incluem a definição de palavras-chave, seleção de bases de dados, estudo de caso com visitas à biblioteca e à edificação, levantamento de informações, análise de sombreamento, pré-dimensionamento de placas solares fotovoltaicas, cálculo de viabilidade econômica e avaliação dos resultados. Esta metodologia foi aplicada para avaliar a viabilidade da instalação de sistemas solares fotovoltaicos no Memorial Minas Gerais Vale, em Belo Horizonte (SOARES, 2023).

A pesquisa foi dividida em seis partes e o primeiro capítulo, intitulado introdução, começa com uma breve contextualização do tema em questão. Ele destaca a relevância do assunto abordado e delinea os objetivos desta pesquisa. Além disso, aborda a problemática central que norteia o estudo e apresenta a justificativa para a realização desta investigação. Por fim, o capítulo oferece uma visão geral da estrutura dos elementos textuais que compõem todo o trabalho (SOARES, 2023).

O segundo capítulo, chamado "Referencial Teórico", consiste em uma revisão bibliográfica que aborda as áreas principais deste estudo: patrimônio cultural e sustentabilidade. No que diz respeito ao patrimônio cultural, são discutidos os conceitos, legislações, instrumentos de proteção, cartas patrimoniais e práticas de preservação. No contexto da sustentabilidade, o capítulo oferece uma breve visão geral da evolução desse conceito ao longo do tempo e introduz a eficiência energética, com ênfase nos sistemas solares fotovoltaicos (SOARES, 2023).

O terceiro capítulo, intitulado "Metodologia", detalha a abordagem metodológica adotada para atingir os objetivos propostos nesta pesquisa. Ele descreve os passos metodológicos específicos para cada fase do estudo e seu desenvolvimento (SOARES, 2023).

O quarto capítulo, intitulado "Estudo de Caso", fornece uma análise detalhada da edificação estudada. Isso inclui sua descrição formal, estilo arquitetônico, contexto histórico desde a construção até o restauro em 2007 para se tornar um museu. Também aborda informações climáticas específicas para Belo Horizonte, MG, e outros dados relevantes para o estudo (SOARES, 2023).

O quinto capítulo traz os resultados da pesquisa, foi realizada uma análise de pré-dimensionamento para a instalação de um sistema solar fotovoltaico on-grid, foi selecionado um modelo de placa solar específica para o pré-dimensionamento. Os resultados mostraram que seria possível instalar 152 módulos fotovoltaicos, gerando cerca de 138.417,60 kWh/ano, que cobriu a geração de aproximadamente 49% da demanda de energia do edifício, foi realizada uma análise de viabilidade econômica, que apontou que o tempo de payback seria de 4,16 anos, com taxa interna de retorno de 35%, taxa de lucratividade de R\$ 13,37, estima-se ainda que com



o sistema fotovoltaico pré-dimensionado, haveria economia com a fatura de energia elétrica durante pelo menos 20 anos (SOARES, 2023).

Como resultados podemos apontar ainda, que foi destacada a redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂) que seria alcançada com a geração de energia solar, contribuindo para a sustentabilidade ambiental e também foi discutido o impacto visual mínimo da instalação das placas na edificação devido à sua altura e elementos de fachada que ocultam a cobertura (SOARES, 2023).

O sexto e último capítulo apresenta as conclusões e considerações finais, a partir do dimensionamento do sistema solar fotovoltaico apontou-se uma economia de cerca de 50% na energia elétrica do edifício, auxiliando também a reduzir a pegada de carbono. Embora no Memorial as placas solares tenham interferência mínima, na estética da edificação, estudos devem levar em conta o dimensionamento e instalação desses sistemas em edificações históricas para que não as impactem visualmente. Conclui-se que, para maior eficiência energética, podem ser realizadas algumas adequações, como por exemplo, a substituição do sistema de iluminação por lâmpadas eficientes, e entendimento do uso do sistema de ar-condicionado para seu uso eficiente. Em resumo, a preservação de edifícios históricos e o uso de energia solar são medidas essenciais para a conservação do patrimônio e a mitigação das mudanças climáticas, com recursos economizados direcionados para a manutenção dos edifícios e a proteção ambiental (SOARES, 2023).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na análise realizada, conclui-se que a busca pelo nível "A" de eficiência energética em um edifício histórico no sul do Brasil é viável economicamente. Embora a implementação das medidas de eficiência energética envolvam custos iniciais significativos, as economias a longo prazo em termos de consumo de energia e custos operacionais compensam esses investimentos. Além disso, a melhoria da eficiência energética contribui para a sustentabilidade e preservação do edifício histórico, alinhando-o com as práticas modernas de construção sustentável e proporcionando benefícios ambientais adicionais. Portanto, a busca pelo nível "A" de eficiência energética é não apenas viável economicamente, mas também benéfica em termos de preservação do patrimônio histórico e ambiental.

O estudo de caso do Palácio Antônio Lemos, identificou as faces de telhado mais adequadas para a instalação de módulos fotovoltaicos, levando em consideração o impacto visual e a área de cobertura. Esse estudo demonstrou a importância de conciliar a sustentabilidade energética com a preservação do patrimônio cultural em edifícios históricos, incentivando a adoção de tecnologias de energia renovável.

O estudo de caso do Memorial Minas Gerais Vale em Belo Horizonte demonstra que edifícios históricos podem se tornar mais eficientes ao adotar sistemas solares fotovoltaicos, resultando em economia de energia superior a 50%. Além disso, enfatiza a importância de implementar medidas adicionais de eficiência energética. A energia solar contribui para a redução da pegada de carbono e o cumprimento de metas ambientais globais. O estudo também



ressalta a necessidade de considerar o impacto visual das placas solares e sua integração na paisagem urbana.

Conclui-se que é viável tornar edifícios históricos mais eficientes em termos energéticos, se aliados à implantação de placas solares fotovoltaicas estiverem sendo implementados os métodos de Retrofit energético e quando não houver possibilidade de instalação de placas solares fotovoltaicas em um edifício tombado, à alternativa da compra de créditos de energia elétrica por meio da distribuidora. No entanto, a autossuficiência energética de um edifício histórico requer uma análise individual, considerando o tipo de tombamento e as necessidades energéticas específicas de cada edifício. Para futuros trabalhos, Sugere-se a realização de um estudo de eficiência energética em um edifício tombado em Juiz de Fora, considerando a implementação das três soluções mencionadas neste artigo, tanto de forma conjunta quanto separada: retrofit energético, simulação de uso de placas fotovoltaicas e compra de créditos de energia.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho. Parte 1-6. Rio de Janeiro. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15215: Iluminação natural. Parte 1-4. Rio de Janeiro. 2005-2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. Parte 1-5. Rio de Janeiro. 2003-2023.

BOARIN, P.; GUGLIELMINO, D.; PISELLO, A. L.; COTANA, F. Sustainability assessment of historic buildings: lesson learnt from an Italian case study through LEED reting system. **Energy Procedia**, Itália, v. 61, p.1029-132, 2014.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada para Consecução do Objetivo da Convenção-quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima. 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/mre/pt-br/arquivos/documentos/clima/brasil-indc-portugues.pdf>. Acesso em: 11 de agosto de 2023.

CARVALHO, A.; GRALA, E. M.; OLIVEIRA, A. M.. Estudo de viabilidade econômica para atingir o nível A segundo a INI-C: edifício no sul do Brasil. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC, 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/802>. Acesso em: 11 de agosto de 2023.

CARSTENS, D.; CUNHA, S. Challenges and opportunities for the growth of solar photovoltaic energy in Brazil, **Energy Policy**, v. 125, p. 396-404, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.10.063>. Acesso em: 11 de agosto de 2023.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. **Prospecção tecnológica no setor de energia elétrica: evolução tecnológica nacional no segmento de eficiência energética**. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2017. Disponível em: [8ffe175b-f2ac-4aab-bad6-37b7fd597aec \(cgee.org.br\)](https://www.cgee.org.br). Acesso em: 11 de agosto de 2023.

CIRAM, S.; EVOLA, G.; GAGLIANO, A.; MARGANI, G. Thermal and economic analysis of renovation strategies for a historic building in Mediterranean area. **Buildings**, Itália, v. 7, 2017.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética], 2023. Balanço Energético Nacional (BEN) 2023: Ano base 2022. disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-681/BEN_S%C3%ADntese_2023_PT.pdf. Acesso em: 11 de agosto de 2023.

IBRAHIM, H.; et al. Towards nearly-zero energy in heritage residential buildings retrofitting in hot, dry climates. **Sustainability**, v. 13, p. 1-36. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su132413934>. Acesso em: 11 de agosto de 2023.



INMETRO INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Portaria nº 248, de 10 de julho de 2018. Diário Oficial da União, Rio de Janeiro, 2018.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL – IPHAN. Memórias do presente. Campo Grande: IPHAN-MS, 2019.

JAPIASSU, P. Método para avaliação de retrofit energético em edificações históricas brasileiras. 2019. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/38668?locale=fr>. Acesso em: 11 de agosto de 2023.

KHALIL, A.; HAMMOUDA, N.; EL-DEEB, F. Implementing sustainability in retrofitting heritage buildings. Case study: Villa Antoniadis, Alexandria, **Egypt**. *Heritage*, v. 1, p. 57-87, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/heritage1010006>. Acesso em: 11 de agosto de 2023.

KASS, K.; BLUMBERGA, A.; BLUMBERGA, D.; ZOGLA, G.; KAMENDERS, A.; KAMENDERE, E. Preassessment method for historic building stock renovation evaluation. **Energy Procedia**, Letônia, v. 113, p.346-353, 2017.

MARTÍNEZ-MOLINA, A.; TORT-AUSINA, I.; CHO, S.; VIVANCOS, J. Energy efficiency and thermal comfort in history building: a review. **Renewable and sustainable energy reviews**, Espanha, v.61, p. 70-85, 2016.

MAZZARELA, L. Energy of historic and existing buildings: the legislative and regulatory point of view. **Energy and buildings**, Itália, v. 95, p. 23-31, 2014.

MILONE, D.; et al. Are the Best Available Technologies the only viable for energy interventions in historical buildings? **Energy and Buildings**, v. 95, p.39-46, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.004>. Acesso em: 11 de agosto de 2023.

PEREIRA, I.M.G.S. Eficiência Energética nos Edifícios, 2023. Disponível em: <https://parc.ipp.pt/index.php/neuroaterra/article/view/5536/3061>. Acesso em: 08 de junho de 2024.

ROSA, F. Building-integrated photovoltaics (BIPV) in historical buildings: Opportunities and constraints. **Energies**, v. 13, p. 1-28, 2020. Disponível em: doi.org/10.3390/en13143628. Acesso em 11 de agosto de 2023.

SOARES, M. A utilização de sistema solar fotovoltaico em edificações históricas: a antiga Secretaria de estado da Fazenda de Minas Gerais, em Belo Horizonte/MG. 2023. 81 f. Monografia (Especialização em sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/51209>. Acesso em 11 de agosto de 2023.

VINAGRE, M.; et al. Energia solar fotovoltaica em edifícios históricos em Belém do Pará. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, v.23, n. 33, p.58-75. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5752/P.2316-1752.2016v23n33p58>. Acesso em: 11 de agosto de 2023.

WEBB, A. Energy retrofits in historic and traditional buildings: a review of problems and methods. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 77, p. 748-759, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117301569>. Acesso em: 11 de agosto de 2023.