XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8309

Retrofit em Construções para o Consumo Energético Quase Zero (nZEB): Revisão sistemática de aplicações no Brasil

Retrofitting Buildings for Near-Zero Energy (nZEB): A systematic review of applications in Brazil

Cleomaria da Mata Macedo
Universidade Estadual de Santa Cruz | Ilhéus | Brasil | cmmacedo.egc@uesc.br
Cleverson Alves de Lima
Universidade Estadual de Santa Cruz | Ilhéus | Brasil | clalima@uesc.br
Julia Ramos Fernandes
Universidade Estadual de Santa Cruz | Ilhéus | Brasil | jrfernandes.egc@uesc.br
Raquel Rocha Cruz
Universidade Federal do Espirito Santo | Ilhéus | Brasil | raquel.r.cruz@edu.ufes.br
Igor Luiz dos Santos Rocha
Universidade Estadual de Santa Cruz | Ilhéus | Brasil | ilsrocha.ppgeca@uesc.br

Resumo
Apesar dos avanços, a pesquisa sobre eficiência energética no Brasil ainda é fragmentada, limitando mudanças nas edificações nacionais. Este estudo analisa o panorama científico nacional sobre retrofit voltado ao nZEB. A metodologia realizou uma revisão sistemática e bibliométrica nas bases SciELO e Capes (2020–2026), selecionando 54 artigos via protocolo PRISMA. Os resultados revelam a predominância de simulações virtuais e BIM focados em estratégias passivas e de envoltória, aplicadas majoritariamente às tipologias residencial e educacional. Constatou-se baixa integração com a INI-C, além de escassez de estudos sobre microgeração e sobre o impacto urbano em prédios públicos e históricos. A contribuição deste trabalho está em estruturar essas lacunas, direcionando investigações futuras para validações empíricas e medições in loco.
Palavras-chave: Eficiência Energética. Tipologias Edificatórias. Bibliometria. BIM. Retrofit.

Abstract

Despite advances, energy efficiency research in Brazil is still fragmented, limiting changes in national buildings. This study analyzes the national scientific landscape on retrofitting aimed at nZEB. The methodology consisted of a systematic and bibliometric review in the SciELO and Capes databases (2020–2026), selecting 54 articles via the PRISMA protocol. The results reveal a predominance of computer simulations and BIM focused on passive and envelope strategies, mostly applied to residential and educational typologies. Low integration with INI-C was evidenced, alongside a shortage of studies on microgeneration and the urban impact on public and historical buildings. The contribution of this work lies in structuring these gaps, guiding future research toward empirical validations and in-situ measurements.

Keywords: Energy Efficiency. Building Typologies. Bibliometrics. BIM. Retrofit.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8309

INTRODUÇÃO

A segurança energética e a mitigação das mudanças climáticas tornaram-se desafios globais urgentes. No cenário brasileiro, os segmentos residencial, comercial e público, assumem papel estratégico, sendo responsável por cerca de 50% do consumo total de eletricidade no país [1]. Diante da crescente pressão sobre o Sistema Interligado Elétrico Nacional (SIN) e do aumento das tarifas, a eficiência energética em ambientes construídos deixou de ser apenas uma agenda ambiental para tornar-se também uma questão econômica. Contudo, a maior parcela do potencial de redução do consumo de energia reside no segmento imobiliário já consolidado, o que coloca as intervenções de requalificação sob a ótica da sustentabilidade operacional em posição de urgência.

No contexto nacional, o arcabouço regulatório fortalece-se com a Lei nº 10.295/2001 (Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia) [2] e a consolidação do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE Edifica), coordenado pelo Inmetro [3]. Alinhada a essa tendência, a Instrução Normativa Inmetro para classificação da Eficiência Energética (INI-C) estabeleceu critérios detalhados para avaliação do desempenho energético [4].

Por outro lado, a transformação do ambiente construído impulsionou novas abordagens metodológicas, especialmente com o uso do *Building Information Modeling (BIM)*, que viabiliza a integração de simulações e análise de desempenho energético ainda na fase de projeto [5]. Paralelamente, no âmbito internacional, consolidou-se o conceito de *nearly Zero-Energy Buildings* (nZEB) formalizado pela normativa *Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)*, que exige edificações de alta eficiência energética, priorizando majoritariamente por fontes renováveis [6].

Esse amadurecimento regulatório, institucional e tecnológico impulsionou o crescimento da produção científica nacional na área. No entanto, enquanto grande parte dos estudos se concentra no desenvolvimento de novas edificações nZEB, a aplicação desse conceito por meio de processos de *retrofit* em edifícios existentes ainda se mostra exordial. Além disso, essa expansão ocorre de forma fragmentada em diferentes periódicos e anais de eventos, dificultando a identificação clara de tendências. Para que o *retrofit* seja consolidado como uma contribuição científica efetiva, faz-se necessário mapear onde têm sido aplicados seus princípios (envoltória, sistemas, operação), as tipologias edilícias predominantes e os principais objetivos buscados como climatização, iluminação e integração de energias renováveis.

Nesse contexto, as análises bibliométricas configuram-se como ferramentas relevantes para mapear a estrutura intelectual de um campo científico, utilizando métodos estatísticos para identificar redes de coautoria, evolução temporal das publicações, periódicos influentes e termos emergentes [7][8]. Diante disso, observa-se uma escassez de estudos que sistematizem e analisem, de forma

quantitativa e qualitativa, a evolução recente da produção científica brasileira sobre eficiência energética com foco em estratégias de *retrofit* nZEB.

Diante desse cenário, emergem os seguintes questionamentos: quais são as características técnicas e metodológicas dominantes na pesquisa brasileira sobre *retrofit* nZEB? De que forma a literatura nacional articula as tecnologias digitais (BIM) e as normativas vigentes (INI-C) para viabilizar a transição no estoque edificado existente? Para responder a essas questões, este trabalho tem como objetivo realizar uma análise bibliométrica sistemática da produção científica nacional no período de 01/2020 a 02/2026. Por meio de mapeamento científico e visualização de dados, busca-se caracterizar o estado da arte e estruturar as lacunas técnicas fundamentais, fornecendo um direcionamento estratégico para futuras investigações sobre a eficiência energética e a requalificação sustentável de edifícios no Brasil.

METODOLOGIA

Este estudo discute a produção científica nacional sobre *retrofit* de edificações voltadas ao conceito nZEB. Para isto, adotaram-se uma abordagem metodológica de revisão sistemática, para identificar o estado da arte e a produção científica sobre o tema.

PLANEJAMENTO E REFINAMENTO DO CORPUS

A revisão sistemática foi planejada inicialmente para abranger publicações em inglês e português, visando avaliar a produção nacional e internacional sobre o tema. Essa busca exploratória envolveu diversas bases de dados, a saber: ScienceDirect, Web of Science (Clarivate), MDPI, Scopus, Taylor & Francis, SciELO, Catálogo de Teses e Dissertações da Capes e Google Scholar, sem recorte temporal e restrição quanto ao número de palavras-chave, utilizando descritores amplos como: INI-C, BIM, nZEB, LEED, Retrofit, LadyBug, HoneyBee, Energy Efficiency, Projeto Felicity, Reforma e Etiquetagem.

Contudo, a análise preliminar evidenciou dispersão temática e baixa aderência em parte dos registros. Diante disso, realizou-se um redirecionamento estratégico para o âmbito nacional, adotando a janela temporal de 01/2020 a 02/2026 como critério de inclusão e refinando os descritores com o objetivo de garantir maior precisão: Eficiência Energética, INI-C, BIM, nZEB, LEED, *Retrofit* e LadyBug. A sistematização final seguiu o processo metodológico apresentado na Figura 1.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8309

Figura 1: Síntese metodológica



Fonte: O autor.

PROCEDIMENTOS DE COLETA E SELEÇÃO

As buscas foram realizadas individualmente, respeitando as características de cada base selecionada. A estratégia fundamentou-se na combinação dos descritores em pares e trios, utilizando o operador booleano *AND*, visando ampliar a precisão e a aderência temática. Essa etapa permitiu maior especificidade das produções associadas a eficiência energética e nZEB nas edificações. Os quantitativos resultantes foram registrados em planilha eletrônica para estimativa da produção inicial. Diante disso, a etapa de coleta concentrou-se nas bases SciELO e no Catálogo de Teses e Dissertações da Capes, devido à compatibilidade com o processo de sistematização de dados. Os registros recuperados foram exportados em formato *BibTeX* e organizados para tratamento posterior. A seleção e a triagem dos artigos foram realizadas na plataforma Rayyan QCRI [10], conforme as etapas sistematizadas na Figura 2.

Figura 2: Fluxograma de filtragem no Rayyan.



Fonte: O autor.

O tratamento iniciou-se com a análise das referências identificadas nas bases de dados após a importação para o *software* Rayyan. A primeira etapa técnica consistiu na identificação e exclusão de duplicatas, utilizando-se algoritmo de similaridade do Rayyan [10] (*Detect Duplicates*). Cada entrada duplicada foi verificada manualmente para confirmar a correspondência de autoria e título, assegurando que a amostra inicial fosse composta exclusivamente por estudos únicos e evitando redundâncias estatísticas.

Posteriormente, deu-se início à triagem (*screening*) de títulos e resumos, executada de forma independente por um único investigador, cada registro foi avaliado com base nos critérios de elegibilidade pré definidos, sendo classificado no software como "Incluído", "Excluído" ou "Talvez". Para os artigos rejeitados, aplicaram-se etiquetas (*labels*) específicas que justificaram a decisão, tais como "Palavra-chave sem aderência com o eixo temático", "Desalinhamento completo com eixo temático", "Estudo publicado em língua estrangeira", entre outras. No caso dos artigos marcados como "Talvez", procedeu-se a uma segunda leitura minuciosa do resumo e das conclusões para uma decisão definitiva, consolidando assim o conjunto de obras selecionadas para a fase de leitura integral.

EXTRAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

Finalizada a etapa de seleção no Rayyan [10], avançou-se para a análise individual e extração de dados, na qual cada artigo foi lido na íntegra para o preenchimento de uma matriz de síntese técnica. Essa estrutura foi delineada para capturar, de forma sistemática, informações de catalogação (autores, ano, periódico e tipologia das edificações analisadas). Para além dos dados descritivos, a investigação focou na extração de variáveis críticas, incluindo as tecnologias empregadas, bem como os referenciais normativos e as certificações.

RESULTADOS

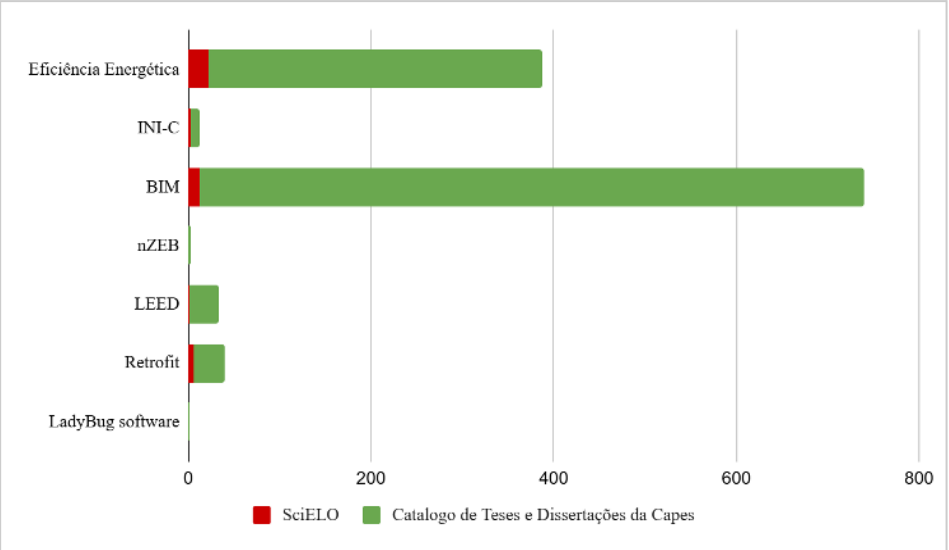
A apresentação dos resultados iniciou-se pela análise do comportamento das bases de dados face aos descritores selecionados, seguida pela sistematização do *corpus* final obtido após a triagem por pares.

ANÁLISE DO FLUXO DE RECUPERAÇÃO E REFINAMENTO DE DADOS

O levantamento bibliográfico inicial evidenciou a amplitude do tema "Eficiência Energética" no Brasil, com uma predominância marcante de registros no Catálogo de Teses e Dissertações da Capes em comparação ao SciELO para termos isolados (Figura 3). Na exploração inicial, o Catálogo da Capes consolidou-se como o principal repositório nacional com 1.170 registros, frente a apenas 44 do SciELO. Os descritores isolados desenham um panorama claro: o termo "BIM" (726 registros) superou o próprio termo "Eficiência Energética" (365 registros), sugerindo que a academia brasileira já não discute desempenho energético sem considerar a modelagem da informação.

Em contrapartida, descritores como "INI-C" e "nZEB" apresentaram frequências significativamente baixas (10 e 3 registros, respectivamente), o que evidencia uma lacuna de conhecimento e a oportunidade de investigação a ser explorada. Esta assimetria indica que a transição para as novas normativas do Inmetro e para o conceito de energia quase zero ainda estão no início da sua curva de maturação científica.

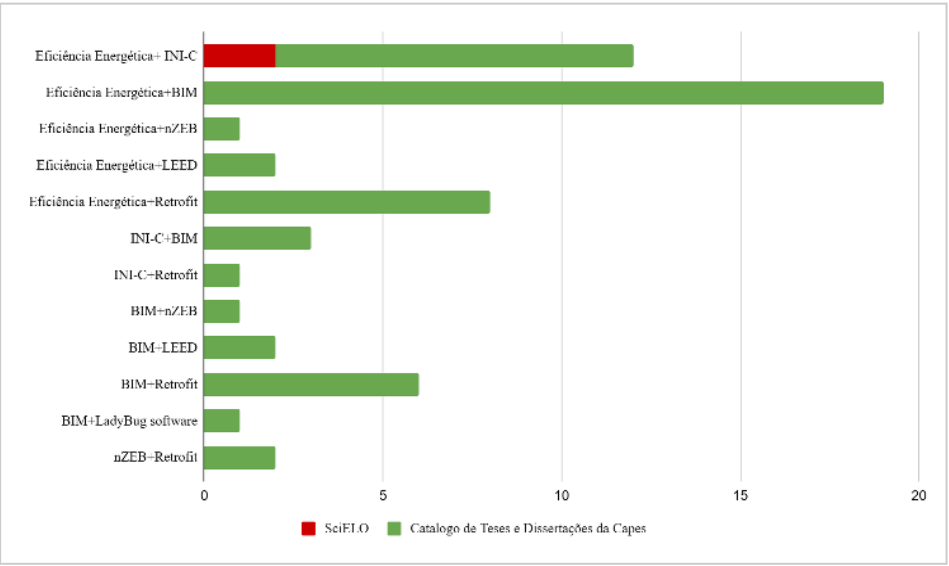
Figura 3: Gráfico dos termos isolados.



Fonte: O autor.

A adoção de estratégia de combinações foi crucial para garantir a viabilidade do estudo (Figura 4). Observou-se que a intersecção "Eficiência Energética + BIM" consolidou-se como o binômio de maior relevância, somando 19 registros na base Capes. Estes dados confirmam o BIM como o método central, e não meramente acessório, nas pesquisas de eficiência energética. Outro cruzamento relevante foi "Eficiência Energética + *Retrofit*" somando 8 registros na Capes, evidenciando um cuidado acadêmico com o *retrofit* de edificações existentes. Em contrapartida, as combinações envolvendo o termo "INI-C" apresentaram volumes modestos de apenas 3 registros quando cruzado com BIM, o que sugere que a aplicação da nova Instrução Normativa ainda está em fase inicial de exploração, representando uma oportunidade para novos estudos. A contribuição prática desse mapeamento em pares é orientar o leitor sobre a maturidade dos temas no país, essencial para novos estudos.

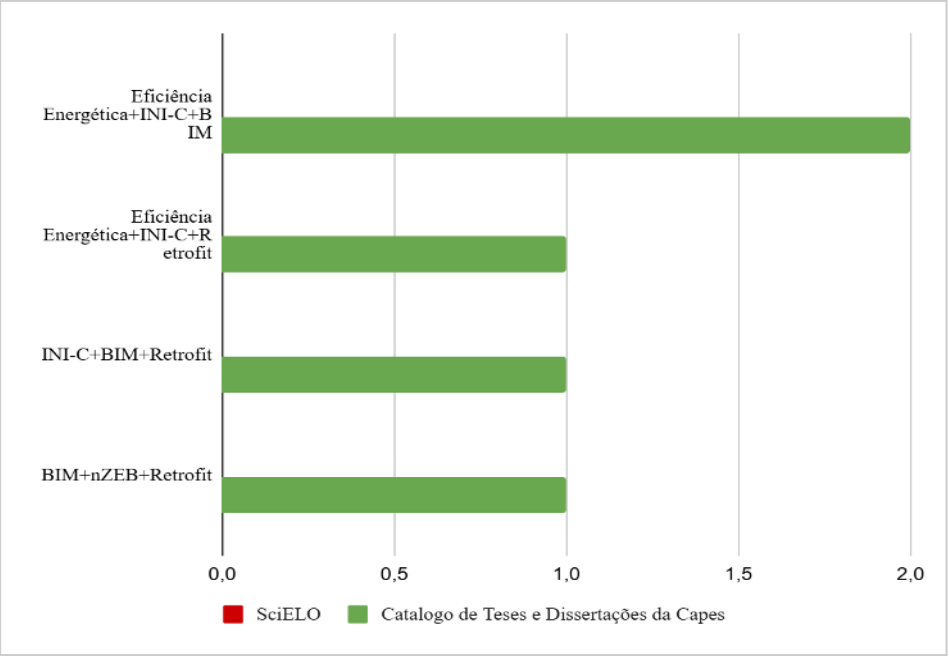
Figura 4: Gráfico da combinação de dois descritores.



Fonte: O autor.

A aplicação de três descritores simultâneos filtrou a amostra diretamente para o estado da arte (Figura 5). Embora os volumes numéricos sejam reduzidos, a aderência técnica destes registros é total. Notou-se que a combinação "Eficiência Energética + INI-C + BIM" recuperou apenas 2 registros na Capes e nenhum no SciELO. Este "vazio" estatístico é altamente informativo: ele revela que, embora o BIM seja muito utilizado para eficiência geral, a sua integração específica com os novos métodos da INI-C ainda é raramente documentada. Da mesma forma, a tríade "Eficiência Energética + BIM + *Retrofit*" apresentou apenas 1 registro na Capes, indicando que pesquisas que unem tecnologia de ponta, intervenção em edifícios existentes e desempenho energético são o ponto mais estreito do funil de conhecimento nacional. Em suma, conhecer essas combinações orienta o leitor a direcionar seus estudos e projetos para as áreas que mais precisam de inovação.

Figura 5: Gráfico da combinação de três descritores.

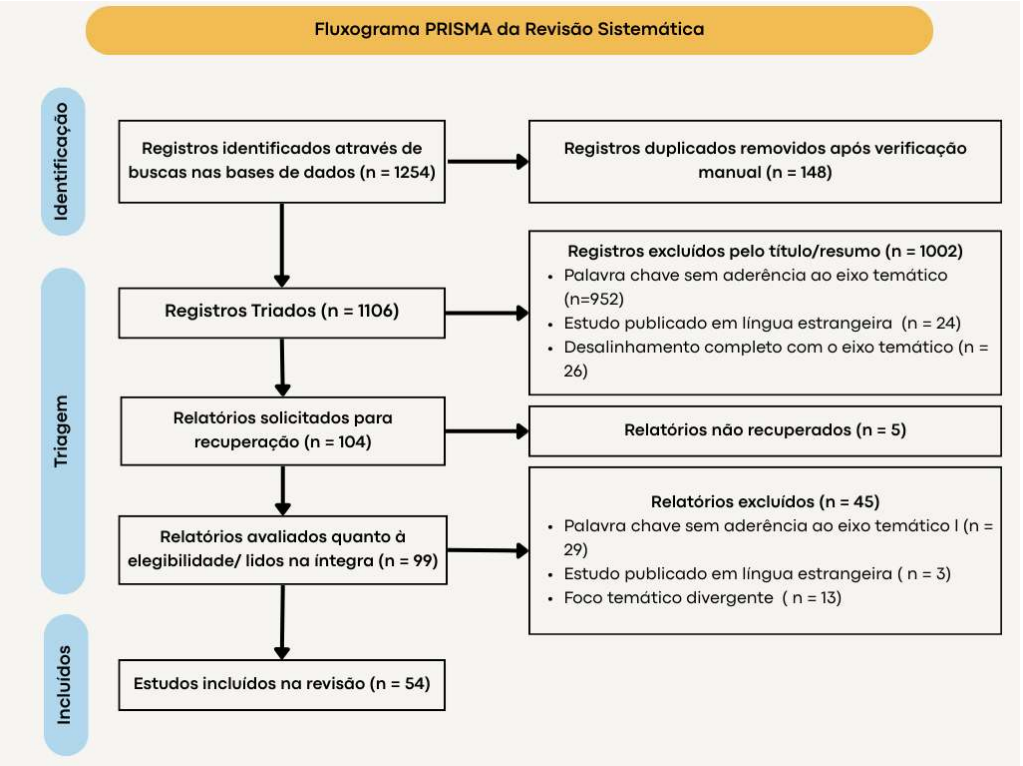


Fonte: O autor.

ANÁLISE DA FILTRAGEM DE DADOS NO *SOFTWARE* RAYYAN

O processo de identificação, seleção e inclusão dos estudos é apresentado no fluxograma elaborado conforme as recomendações do PRISMA [9] (Figura 6).

Figura 6: Fluxograma Prisma de Triagem e Resultados da Revisão Sistemática.



Fonte: O autor.

Inicialmente, a estratégia de busca aplicada às bases de dados selecionadas resultou em de 1.254 registros. Após a remoção de 148 duplicidades, permaneceram 1.106 estudos para a etapa de triagem.

Na fase de triagem, realizada por meio da leitura de títulos e resumos, foram excluídos 1.002 registros, representando aproximadamente 90% dos estudos analisados, o que evidencia alto nível de refinamento temático. A principal causa de exclusão foi a ausência de aderência das palavras-chave ao eixo temático definido (n = 952). Além disso, 24 exclusões por estarem publicados em língua estrangeira e 26 por apresentarem desalinhamento completo com o eixo temático da pesquisa, conforme detalhado no fluxograma PRISMA (Figura 6).

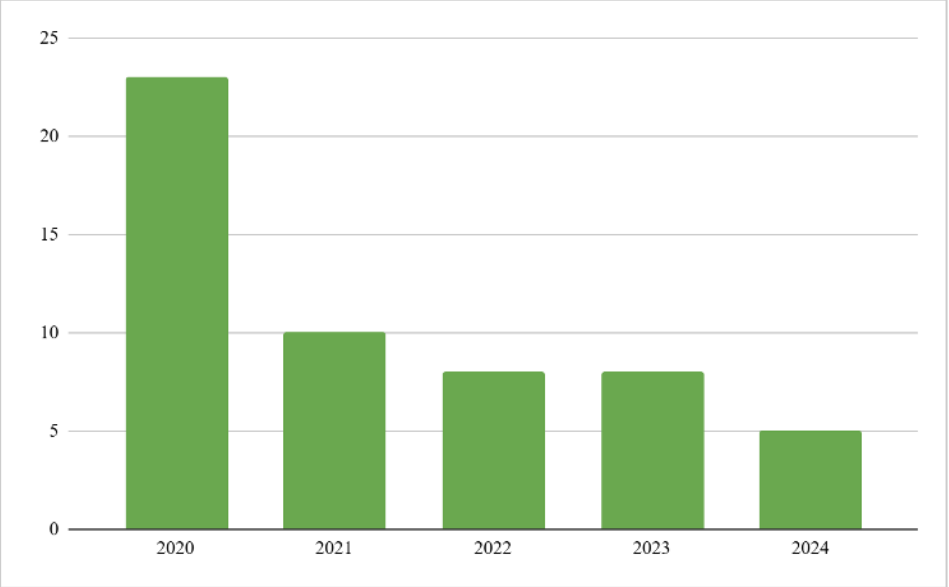
Após essa etapa, 104 relatórios foram considerados potencialmente elegíveis e solicitados para leitura na íntegra. Desses, 5 não foram recuperados, resultando em 99 estudos efetivamente avaliados. A análise integral permitiu um refinamento mais criterioso, culminando na exclusão de 45 estudos. As principais razões para exclusão nessa fase foram: palavras-chave sem aderência ao eixo temático (n = 29), publicação em língua estrangeira (n = 3) e foco temático divergente (n = 13), conforme sistematizado na Figura 6.

Ao final do processo, 54 estudos atenderam aos critérios de inclusão e compuseram o corpus final da revisão sistemática. Esse quantitativo representa aproximadamente 4,3% do total inicialmente identificado, demonstrando um processo de seleção rigoroso e alinhado aos critérios previamente estabelecidos, conforme sintetizado no fluxograma PRISMA.

EVOLUÇÃO TEMPORAL DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA (01/2020– 02/2026)

A análise temporal dos 54 estudos incluídos revela comportamento não linear da produção científica nacional, conforme apresentado na Figura 7. O ano de 2020 concentrou 23 publicações, configurando o período de maior intensidade investigativa. A partir de 2021 observa-se redução para 10 estudos, seguida de relativa estabilização nos anos de 2022 e 2023, com oito publicações em cada ano. Nos anos mais recentes do recorte analisado foram identificados cinco estudos, número que pode estar associado a um momento de transição temática na área. Esse comportamento sugere que o campo, após um pico inicial de consolidação, passou por fase de ajuste e estabilização, indicando amadurecimento científico e possível redirecionamento de pesquisa.

Figura 7: Distribuição anual das publicações incluídas na revisão (2020– fevereiro de 2026).



Fonte: O autor.

ANÁLISE TEMÁTICA DA PRODUÇÃO

Em uma organização por temas, as referências concentram-se majoritariamente na análise de desempenho energético de edificações novas, especialmente edifícios comerciais, institucionais e residenciais multifamiliares. Contudo, nota-se crescimento progressivo de pesquisas voltadas ao *retrofit* energético, indicando uma ampliação do escopo investigativo para além da concepção de novos empreendimentos. Essa tendência sugere amadurecimento da área, alinhando-se às demandas energéticas contemporâneas e mitigação de impactos ambientais.

A Figura 8 apresenta a nuvem de palavras elaborada a partir da frequência dos termos extraídos na etapa final do PRISMA. O tamanho das palavras é proporcional à sua recorrência, permitindo visualizar os eixos temáticos predominantes da produção científica analisada.

Figura 8: Nuvem de palavras.

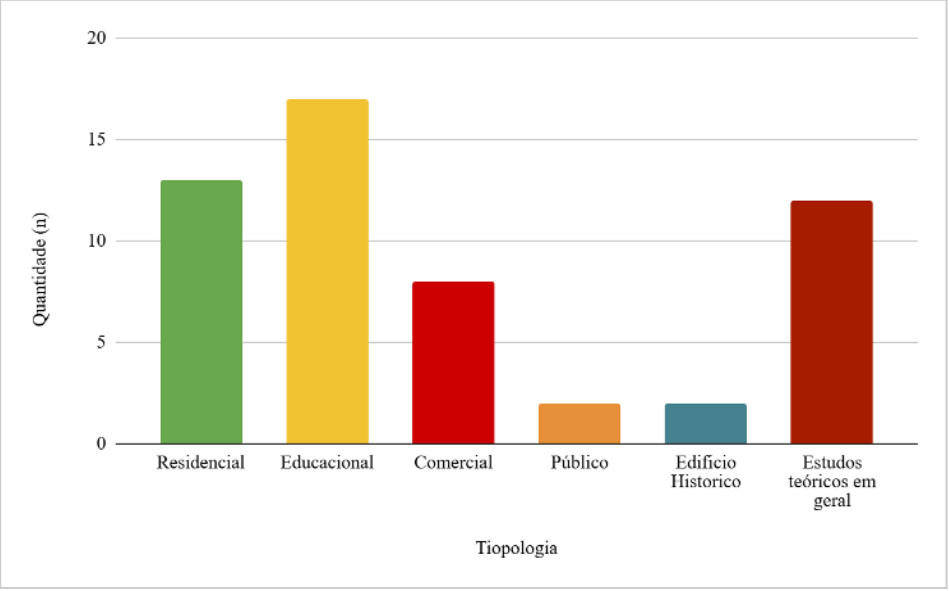


Fonte: O autor.

TIPOLOGIAS EDIFICATÓRIAS E ESCOPO DE APLICAÇÃO RETROFIT

Entre os 54 artigos selecionados após triagem, foi observado um panorama diversificado, mas com estatísticas claras diante dos objetos de estudo, conforme sintetizado na Figura 9. Os edifícios educacionais lideram o interesse acadêmico com 17 estudos analisados, seguidos dos residenciais com 13 publicações. O segmento comercial responde por 8 artigos, enquanto os edifícios históricos e os públicos possuem baixa representatividade com apenas 2 artigos cada. Adicionalmente, identificou-se 12 estudos teóricos ou de metodologia geral, conforme apresenta a figura 9.

Figura 9: Tipologias edificatórias dos artigos selecionados.



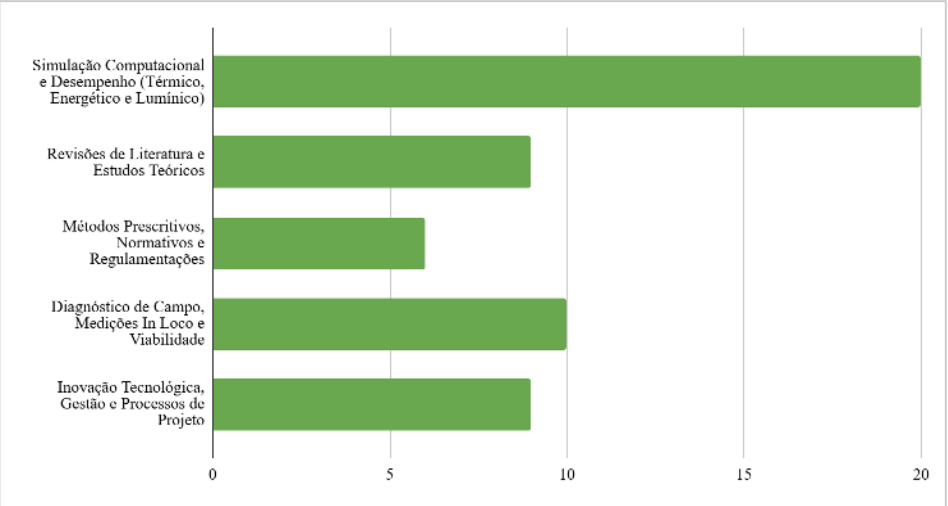
Fonte: O autor.

Essa distribuição indica que o ambiente educacional e o residencial são os principais laboratórios para a simulação e proposição de diretrizes nZEB e *retrofit* no imobiliário nacional. A carência de estudos em edifícios históricos e do setor público aponta lacunas críticas, uma vez que essas estruturas frequentemente apresentam altos índices de consumo energético e demandam soluções de requalificação que se alinhem às exigências de sustentabilidade contemporâneas.

TECNOLOGIAS DE INTERVENÇÃO

Para melhor entendimento da pesquisa ,a Figura 10 mostra as abordagens tecnológicas adotadas.

Figura 10: Abordagens tecnológicas dos artigos filtrados.



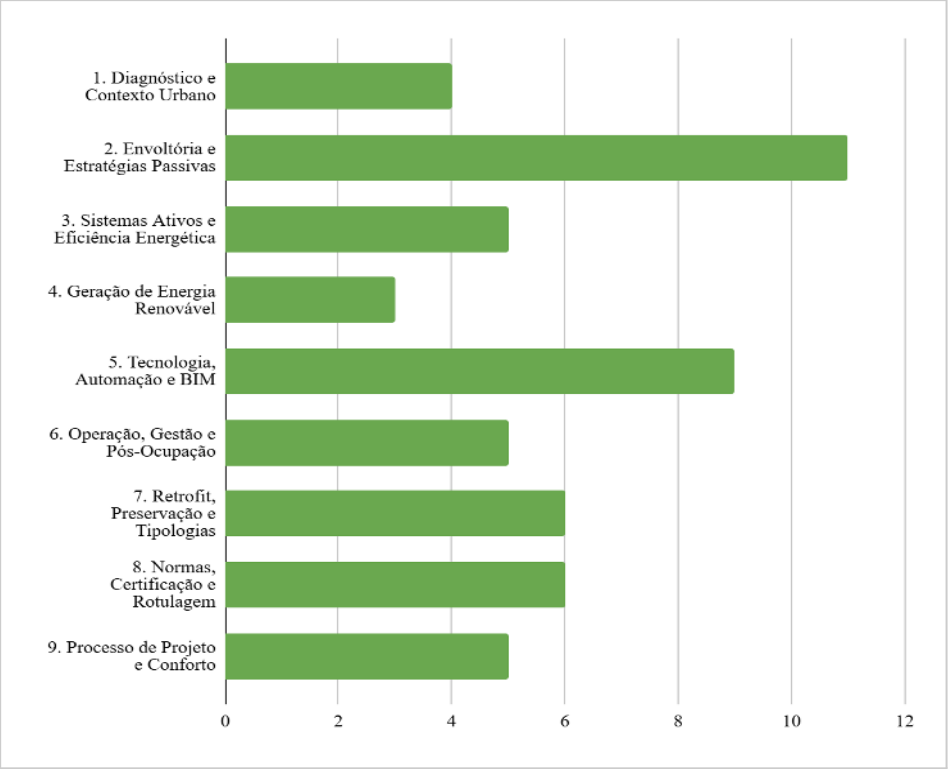
Fonte: O autor

Ao analisar as metodologias adotadas pelos pesquisadores, é possível observar uma preferência muito clara pelo uso de tecnologias digitais, sobretudo em simulação computacional (20 artigos). Isso mostra uma grande preferência por modelos virtuais para testar o comportamento da edificação, antes de qualquer alteração na edificação. Por outro lado, as pesquisas que são realmente aplicadas acontecem em menor escala, como é observado em resultados de diagnóstico de campo (10 artigos) e inovação tecnológica (9 artigos). Essa discrepância mostra que embora a ciência nacional seja excelente em simular cenários, ainda faltam testes práticos no cenário. Diante disso, os métodos e regulamentação (6 artigos), indicam a necessidade de melhorias e inovação das normas técnicas, para que possa ser aplicada no dia a dia.

ESTRATÉGIAS PARA ALCANCE NZEB E GERAÇÃO LOCALIZADA

Para compreensão e direcionamento da pesquisa, os artigos foram classificados de acordo com seu eixo temático, conforme expresso na Figura 11.

Figura 11: Tecnologias de intervenção para alcance nZEB.



Fonte: O autor

A consolidação do conceito nZEB nas edificações nacionais dependem da conciliação de eficiência passiva, otimização de sistemas e microgeração distribuída. Os artigos filtrados revelam que estratégias passivas e envoltória (11 artigos), seguidos por automação e BIM (9 artigos), priorizam o design e simulações energéticas antes de intervenções físicas. Qualitativamente o *retrofit* segue uma hierarquia clara: alterações na envoltória, isolamento térmico e automação da edificação. Em contrapartida, eixos vitais registram poucas publicações, como geração de energia renovável (3 artigos) e diagnóstico da edificação (4 artigos). Essa desarmonia indica que quase não se estuda como o entorno das cidades afetam o *retrofit*.

CONCLUSÃO

Este estudo cumpriu seu objetivo ao mapear as produções científicas brasileiras sobre *retrofit* nZEB entre 2020 e 2026. A análise dos 54 artigos selecionados revelou um campo de pesquisa concentrado em simulações computacionais aplicadas à envoltória e aplicação do BIM, mas ainda registra uma produção iniciante em diagnóstico de edificações existentes.

A principal contribuição teórica desta revisão foi identificar os vazios e tendências da pesquisa nacional diante dos desafios físicos do ambiente construído. Os dados evidenciam que a literatura soluciona com facilidade o balanço energético em tipologias residenciais, mas encontra um gargalo metodológico ao aplicar o conceito nZEB em tipologias educacionais e comerciais. Nesses setores, os estudos revisados apontam para a necessidade de expandir as investigações sobre o impacto do

contexto urbano e explorar tecnologias emergentes de envoltória, como os sistemas fotovoltaicos integrados à fachada.

Para tanto, como direcionamento para pesquisas futuras, este mapeamento sugere focar em três lacunas: (a) expandir estudos práticos com medições na edificação; (b) aplicar o *retrofit* em setores pouco mapeados, como prédios públicos e históricos; e (c) incluir o impacto do entorno da edificação nas simulações de consumo e geração de energia.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC) pela oportunidade e pelo suporte institucional oferecido ao longo desta trajetória acadêmica. Expresso também minha gratidão à PROPP-UESC (PROPP) pelo apoio e pela concessão da bolsa, fundamentais para a realização e desenvolvimento deste trabalho.

DECLARAÇÃO

Os Autores declaram que não utilizaram IA generativa nem tecnologias assistidas por IA no processo de preparação do manuscrito.

REFERÊNCIAS

[1] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2025: Ano base 2024. Rio de Janeiro: EPE, 2025.

[2] BRASIL. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 18 out. 2001.

[3] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Programa Brasileiro de Etiquetagem – Edifica. Rio de Janeiro: Inmetro, 2023.

[4] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). Rio de Janeiro: Inmetro, 2022.

[5] EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. BIM Handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. 3. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2018.

[6] EUROPEAN PARLIAMENT; COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. Directive 2010/31/EU of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). Official Journal of the European Union, Brussels, 2010.

[7] ARAÚJO, C. A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. Em Questão, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 11–32, 2006.

[8] ZUPIC, I.; ČATER, T. Bibliometric methods in management and organization. Organizational Research Methods, v. 18, n. 3, p. 429–472, 2015.

[9] PAGE, M. J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ, v. 372, 2021. DOI: 10.1136/bmj.n71.

[10] OUZZANI, M.; HAMMADY, H.; FEDOROWICZ, Z.; ELMAGARMID, A. Rayyan—a web and mobile app for systematic reviews. Systematic Reviews, v. 5, n. 210, 2016.