

Da Barreira à Aplicação: Modelo Metodológico para Implementação de Edifícios NZEB no Brasil

From Barriers to Application: A Methodological Model for Implementing NZEB Buildings in Brazil

Raysa Friaça Andrade de Mello Liquer, Mestrando em Ambiente Construído, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).

E-mail: raysa.friaca@gmail.com

Lucas Ferreira de Assis, Mestrando em Ambiente Construído, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).

E-mail: lucas.assis@estudante.ufjf.br

Vagner Vieira Reis, Servidor Adjunto, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).

E-mail: vagner.reis@ufjf.br

André Augusto Ferreira, Professor Adjunto, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).

E-mail: andre.ferreira@ufjf.br

Número da sessão temática da submissão – [04]

Resumo

O setor de edificações é um dos maiores consumidores globais de energia, o que reforça a necessidade de modelos mais eficientes, como os Edifícios de Energia Quase Zero (NZEB). Entretanto, barreiras financeiras, governamentais e técnicas ainda limitam sua adoção. Nesse contexto, este trabalho propõe um modelo metodológico para a implementação de NZEBs em edificações públicas brasileiras, com base na Chamada Pública Procel 2024. A pesquisa resultou em um roteiro de dez etapas que orienta a integração de estratégias passivas e sistemas ativos eficientes, alinhando o desempenho técnico às exigências do PBE Edifica e às metas do PROCEL. Conclui-se que a sistematização do processo projetual é essencial para viabilizar a adoção do conceito no país.

Palavras-chave: Edifícios de Energia Quase Zero; Eficiência energética; Edital PROCEL NZEB.

Abstract

The building sector is one of the largest global energy consumers, reinforcing the need for more efficient models such as Nearly Zero Energy Buildings (NZEBs). However, financial, governmental, and technical barriers still limit their adoption. In this context, this study proposes a methodological model for the implementation of NZEBs in Brazilian public buildings, based on the Procel 2024 Public Call. The research resulted in a ten-step framework that guides the integration of passive strategies and efficient active systems, aligning technical performance with the requirements of PBE Edifica and the targets of PROCEL. It is concluded that systematizing the design process is essential to enable the adoption of the concept in the country.

Keywords: Nearly Zero-Energy Buildings; Energy efficiency; Procel NZEB Call.

1. Introdução

A crescente urbanização e o avanço tecnológico têm intensificado a demanda energética global, pressionando governos, instituições e projetistas a adotar soluções que conciliam eficiência energética e expansão das fontes renováveis. No setor da construção civil, historicamente um dos maiores consumidores de energia e recursos, essa pressão impulsiona a busca por novos paradigmas construtivos que integrem sustentabilidade, redução de emissões e alto desempenho operacional.

Nesse cenário, os Edifícios de Energia Quase Zero (NZEB) têm se consolidado internacionalmente como uma das principais respostas para mitigar os impactos ambientais do ambiente construído. Contudo, sua implementação em larga escala no Brasil ainda encontra entraves significativos. A literatura aponta que a adoção desse modelo é dificultada por um tripé de barreiras: financeira (alto custo inicial), governamental (ausência de regulamentos compulsórios) e técnica (escassez de métodos aplicáveis e rotinas de projeto) (CHUNG-CAMARGO *et al.*, 2024; MATANA JÚNIOR *et al.*, 2023). Superar esses desafios exige não apenas inovação tecnológica, mas também políticas públicas de fomento e diretrizes claras para orientar as equipes de projeto.

Nesse contexto, destaca-se a Chamada Pública Procel Energia Zero em Prédios Públicos (2024), que representa um marco recente ao oferecer recursos não reembolsáveis e estabelecer metas de autossuficiência energética entre 90% e 110%. O edital atua diretamente sobre as barreiras financeira e governamental. Importante notar que a Chamada Procel, publicada em dezembro de 2024, teve seu prazo de submissão prorrogado três vezes. Embora não seja possível afirmar as causas dessa extensão de prazo, o número de prorrogações pode indicar dificuldades das instituições em estruturar propostas alinhadas às exigências técnicas do edital, o que dialoga com a escassez de conhecimento prático apontada pela literatura.

Diante desse cenário, o objetivo deste trabalho é propor um modelo metodológico para apoiar a implementação de NZEBs em edificações brasileiras. Com base em revisão bibliográfica e análise documental, o estudo estrutura um roteiro de dez etapas, da definição de escopo à operação assistida, alinhado ao PBE Edifica e às diretrizes do edital Procel 2024. Espera-se, assim, contribuir para a superação da barreira técnica e ampliar a adoção do conceito de energia quase zero no país.

2. Referencial Teórico

O setor de edificações é um dos maiores consumidores de energia do mundo. É responsável por cerca de 40% das emissões globais de CO₂ (CHEN *et al.*, 2024). No Brasil, mesmo com matriz majoritariamente renovável, os edifícios representaram 47% do consumo elétrico em 2023 (EPE, 2024), reforçando a necessidade de eficiência diante da crise climática (FARGHALI *et al.*, 2023). Nesse cenário, a implantação de NZEBs está alinhada ao Acordo de Paris e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7 e 13, da Organização das Nações Unidas (ONU), ao combinar estratégias passivas de arquitetura bioclimática e geração renovável local.

Este conceito ganhou destaque na União Europeia (UE) com a Diretiva 2010/31, atualizada pela Diretiva 2024/1275, que exige desempenho energético “muito elevado”. Marszal *et al.* (2011) analisam consolidação do conceito na Europa, enquanto nos EUA o termo foi

padronizado por Torcellini et al. (2006) e pelo DOE (UNITED STATES, 2015), definindo NZEB como edifícios que produzem, anualmente, energia renovável equivalente ao consumo. No Brasil, a evolução é mais lenta e baseada em instrumentos voluntários. A Lei nº 10.295/2001 estabelece diretrizes de eficiência, mas sua regulamentação só foi efetivada em 2019 pelo Decreto nº 9.864, postergando a consolidação de políticas mais rígidas. Este trabalho adota a nomenclatura Net Zero Energy Building conforme o PROCEL (BRASIL, 2025) e o Green Building Council Brasil (GBC Brasil), organização não governamental que fomenta a indústria de construção sustentável no país.

No Brasil, o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo INMETRO, consolidou-se como a principal ferramenta técnica do Estado com a criação do PBE Edifica em 2003 (PBE EDIFICA, 2025). As etiquetas, que classificam a eficiência de A a E, ganharam força normativa recente com a Resolução CGIEE nº 4/2025, tornando o nível A obrigatório para edificações públicas a partir de 2027 (BRASIL, 2025). Contudo, o desafio de implementação permanece: até março de 2025, menos de cinco mil etiquetas haviam sido emitidas, sendo 93% residenciais (INMETRO, 2024). Esse baixo volume evidencia a urgência das novas políticas de fomento para escalar a adesão e viabilizar o conceito NZEB no país.

2.1 Estratégias Tecnológicas

O desempenho de um NZEB usualmente requer reduzir a demanda energética e suprir predominantemente a carga com energia renovável. No contexto europeu, isso ocorre com envoltórias altamente isoladas e sistemas avançados como bombas de calor e ventilação com recuperação (PAOLETTI et al., 2017). Esse modelo não se aplica ao Brasil, devido às condições climáticas específicas. Embora diversas tecnologias renováveis sejam viáveis (D'AGOSTINO; MAZZARELLA, 2019), a energia solar fotovoltaica é a solução usual, devido a elevada irradiação e facilidade de implantação (EPE, 2021; SILVA; ARAÚJO, 2022).

Para reduzir a demanda térmica, estudos destacam estratégias passivas como sombreamento, ventilação natural, materiais refletivos e cool roofs (GONZALES, 2021; CHAN et al., 2022; PONMURUGAN et al., 2022), complementadas por trocadores regenerativos de calor (SHODIYEV et al., 2023). Essas soluções variam conforme a zona bioclimática, já que climas quentes exigem resfriamento e climas frios demandam aquecedores (SILVA et al., 2024). Finalmente, sistemas ativos eficientes, especificamente compostos com aparelhos de ar-condicionado com selo PROCEL A e de aquecimento solar de água, são essenciais para racionalizar o consumo de energia no país (EPE, 2021). Assim, o NZEB resulta da combinação entre estratégias passivas, sistemas ativos eficientes e máxima exploração da energia solar.

2.2 Desafios e Oportunidades para a Implementação dos NZEB

A literatura destaca que a implantação do NZEB enfrenta barreiras significativas. A principal é financeira, devido ao alto custo inicial de materiais e tecnologias avançadas. Há também barreiras institucionais e comportamentais, referente à baixa conscientização, falta de capacitação técnica e percepção de custo (CAMARASA; KALAHASTHI; ROSADO, 2021). Em escala urbana, a implementação exige coordenação complexa entre diversos atores, além de divergências regulatórias internacionais (IAVORSCHI et al., 2025). Em países tropicais, destacam-se a ausência de políticas adequadas, custos elevados e falta de métricas para retrofit (CHUNG-CAMARGO et al., 2024; KAJJOBA et al., 2025). No Brasil, embora exista

domínio tecnológico da energia solar, a principal barreira é regulatória: as normas de eficiência são voluntárias, isto é, não compulsórias (MATANA JÚNIOR et al., 2023).

Diante desse cenário, este trabalho propõe um modelo metodológico para implementação de NZEB no Brasil inspirado nas diretrizes da Chamada Pública Procel Energia Zero em Prédios Públicos (CP PROCEL NZEB), considerada um instrumento estratégico para atuar diretamente sobre as barreiras financeira e governamental.

3. Procedimentos Metodológicos

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de natureza exploratória e qualitativa. A primeira etapa consistiu em uma revisão bibliográfica tradicional, destinada a ampliar a familiaridade com o problema e consolidar a compreensão teórica sobre o tema (GIL, 2022). As buscas foram realizadas nas bases Google Scholar, Scopus e SciELO, com apoio da ferramenta de inteligência artificial Elicit para ampliar a identificação de estudos relevantes. Complementarmente, foram analisados relatórios institucionais e documentos técnicos (EPE, PROCEL, GBC Brasil). A seleção das fontes adotou critério intencional e crítico, priorizando artigos de impacto e documentos oficiais, que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

A segunda etapa consistiu em um estudo de caso exploratório, delineamento adequado para compreender fenômenos contemporâneos em profundidade e dentro de seu contexto real (GIL, 2022). O estudo concentrou-se na CP PROCEL NZEB. Por meio de análise documental, foram examinados os critérios de elegibilidade, as metas de desempenho e as exigências técnicas, como a obrigatoriedade da Etiqueta Nível A no PBE Edifica. Essas informações, articuladas aos achados da revisão bibliográfica, subsidiaram a construção de um modelo metodológico estruturado em fases, destinado a orientar gestores públicos e projetistas na formulação de projetos NZEB no contexto brasileiro.

4. Desenvolvimento

A literatura internacional aponta a falta de conhecimento técnico como um dos obstáculos mais recorrentes (Camarasa; Kalahasthi; Rosado, 2021) para adoção do NEZB. O baixo número de edifícios brasileiros com padrões avançados de eficiência reforça essa limitação. Assim, a capacitação é uma atividade essencial, sendo requisito prévio indispensável no processo, garantindo que gestores, projetistas e equipes de manutenção compreendam os conceitos essenciais para interpretar, decidir e validar as etapas subsequentes. Sem esse alinhamento inicial, processos como diagnóstico energético, modelagem termoenergética e submissão a chamadas públicas tornam-se ineficientes, elevando riscos, custos e retrabalho.

Diante desse cenário, este trabalho propõe um modelo metodológico, apresentado na Figura 1. Ele busca orientar a implementação de NZEB no Brasil, tomando como referência técnica e administrativa as diretrizes da CP PROCEL NZEB. O modelo parte do pressuposto de que a equipe envolvida possua formação multidisciplinar e competência técnica para interpretar e atender os critérios especificados no edital.



Figura 1: Modelo metodológico para implementação de edifícios NZEB no Brasil. Fonte: Os autores (2026).

Na Figura 1 é apresentado o modelo metodológico para implementação de edifícios NZEB no Brasil, estruturado em três fases e dez etapas. O modelo integra diagnóstico, projeto, validação e monitoramento, articulando estratégias passivas, ativas e de geração renovável em alinhamento ao PBE Edifica e à CP PROCEL NZEB. A representação evidencia a lógica sequencial do processo, embora uma ou mais etapas possam ser reordenadas e/ou executadas simultaneamente.

Etapa 1: Definição de Escopo e Equipe

A etapa inicial consiste na definição clara do escopo do projeto e de seus objetivos, condição essencial para a adequada delimitação do problema (GIL, 2022). No contexto dos NZEBs, isso implica identificar o edifício-alvo e confirmar sua elegibilidade. Especificamente, o edital CP PROCEL NZEB exige intervenções exclusivamente em edificações existentes. O edital também determina que o escopo técnico contemple ao menos dois dos quatro sistemas elegíveis: (1) envoltória, (2) iluminação, (3) ar-condicionado e (4) aquecimento de água. Além da definição técnica do escopo, esta etapa inclui a formação da equipe responsável, cuja qualificação é determinante para o sucesso do projeto. Como discutido anteriormente, a implementação de NZEBs demanda profissionais capacitados. A ausência desse alinhamento inicial tende a aumentar retrabalho, custos e riscos ao longo do processo.

Etapa 2: Diagnóstico e Linha de Base Energética

Após a definição do escopo e disponibilidade de informação, é necessário compreender o potencial da edificação, estabelecendo sua Linha de Base, referência quantitativa que orientará todas as decisões subsequentes. Conforme o Guia Prático de Diagnósticos

Energéticos (ELETROBRAS; CBCS, 2019), essa etapa envolve duas frentes: Diagnóstico de Consumo e Diagnóstico de Potencial.

No caso de retrofits, o diagnóstico de Consumo corresponde ao levantamento do histórico de faturas de energia (mínimo de 12 meses) e deve ser complementado por uma auditoria energética (simplificada ou detalhada) conforme o PBE Edifica (INMETRO, 2022). Essa auditoria identifica os principais usos finais, como iluminação, climatização e, no contexto brasileiro, o chuveiro elétrico (EPE, 2021), além de registrar condições de operação e eventuais ineficiências.

Paralelamente, o Diagnóstico de Potencial avalia as características físicas da edificação, com destaque para a área disponível para geração renovável, incluindo cobertura, anexos, estruturas adjacentes e carports (estrutura de estacionamento coberta). Nesta fase, a análise é preliminar: apenas se estima o potencial de área; o cálculo de atendimento à meta ocorre somente após as medidas de eficiência das etapas seguintes. Para as propostas submetidas ao CP PROCEL NZEB, o histórico de consumo constitui a Linha de Base oficial, sobre a qual será verificada a meta de autossuficiência entre 90% e 110%.

Etapas 3: Análise de Estratégias Passivas (Arquitetura e Envoltória)

A literatura sobre NZEB reforça que a prioridade é reduzir a demanda energética antes de gerar energia, seguindo o princípio “reduzir primeiro, depois gerar”. No Brasil, isso significa controlar os ganhos e perdas de calor conforme a zona bioclimática, seguindo as diretrizes da ABNT NBR 15220. Em edifícios novos, essa redução ocorre por meio de orientação solar adequada, ventilação natural e sombreamento (GONZALES, 2021). Em retrofits, destacam-se soluções como isolantes térmicos, revestimentos reflexivos e cool roofs (PONMURUGAN et al., 2022), vidros de controle solar e materiais inteligentes (CHAN et al., 2022), além de trocadores regenerativos de calor (SHODIYEV et al., 2023).

Etapas 4: Análise de Estratégias Ativas (Eficiência de Sistemas)

Após a redução da demanda pelas estratégias passivas, o passo seguinte é selecionar sistemas ativos de alta eficiência. No contexto nacional, os maiores consumos concentram-se em climatização, iluminação e aquecimento de água (EPE, 2021). O regulamento INI-C estabelece limites rigorosos de desempenho para esses sistemas, incluindo iluminação LED com automação, equipamentos de ar-condicionado classificados como Nível A/Procel e a substituição de chuveiros elétricos por aquecimento solar ou bombas de calor.

O edital CP PROCEL NZEB exige que as propostas alcancem o Nível A no PBE Edifica, reforçando a interdependência entre as etapas 4 e 5. Não é suficiente otimizar a envoltória. É necessário especificar sistemas ativos altamente eficientes. Assim, a conformidade às exigências do INI-C torna-se um requisito central para a viabilidade de projetos NZEB no contexto brasileiro.

Etapas 5: Dimensionamento da Geração Renovável Local

Com a demanda energética reduzida pelas etapas anteriores, realiza-se o dimensionamento da geração renovável local, responsável por equilibrar o balanço energético do NZEB. No Brasil, essa etapa é especialmente viável devido ao elevado potencial de irradiação solar (SILVA; ARAÚJO, 2022). O dimensionamento envolve a definição da potência-

pico (kWp) necessária para atender à demanda reduzida e a especificação dos componentes conforme os requisitos técnicos estabelecidos pelas normas ABNT NBR 16990:2021 (projeto e instalação de sistemas fotovoltaicos) e ABNT NBR 16274:2020 (procedimentos de instalação).

A literatura recente aponta limitações dos sistemas on-grid em função da instabilidade operacional das distribuidoras e das restrições crescentes à injeção de energia, o que tem impulsionado o uso de configurações híbridas ou off-grid. Estudos como López-Castrillón et al. (2021), mostram que tais sistemas oferecem maior autonomia, menor dependência tarifária e melhor desempenho em contextos de vulnerabilidade da rede — características particularmente relevantes ao cenário brasileiro.

O edital CP PROCEL NZEB (2024) reforça essa etapa ao exigir que o NZEB combine eficiência energética e geração renovável, com autossuficiência anual entre 90% e 110%. Ao financiar a instalação fotovoltaica, o edital consolida essa tecnologia como solução central para retrofits públicos e alinha o processo às recomendações técnicas da literatura. Concluídas as cinco primeiras etapas, estabelece-se o núcleo conceitual do projeto NZEB, garantindo a base necessária para que a geração renovável cumpra seu papel nas fases seguintes de implementação, operação e validação.

Etapas 6: Levantamento de Documentação e Projetos AS BUILT da edificação

A submissão de proposta em editais públicos exige uma vasta documentação e possui certa burocracia. Em resumo, a CP PROCEL NZEB conta com fases de habilitação jurídica e técnica. A habilitação jurídica envolve documentos como certidões negativas de débitos de tributos federais e Dívida Ativa à União, de débitos trabalhistas, estatutos, comprovação legal de propriedade da edificação “Habite-se” e Auto de Vistoria do Corpo de Bombeiros (AVCB). Observou-se, contudo, a emissão de notas de esclarecimento que flexibilizam certas exigências, aceitando-se protocolos ou relatórios técnicos provisórios, o que evidencia a frequente precariedade documental das edificações públicas.

Para a habilitação técnica, realiza-se o levantamento preliminar de informações de projetos *as built* de arquitetura e de instalações elétricas, luminotécnico e de sistemas de ar condicionado da edificação; e o histórico de consumo dos últimos 12 meses. A frequente inexistência dessa documentação em prédios públicos impõe a realização de levantamentos de campo e recálculos de engenharia onerosos, elevando custos e riscos que podem inviabilizar a submissão da proposta.

Por fim, um ponto crítico a ser verificado desde o início é a viabilidade de conexão e injeção de energia na rede elétrica da distribuidora. Em diversos estados, concessionárias têm restringido o acesso à rede devido à crescente penetração da geração distribuída, o que já tem resultado em reprovações por risco de inversão de fluxo. Como os NZEB dependem da conexão do sistema fotovoltaico para atingir o balanço energético, limitações de acesso, exigências adicionais de proteção ou a necessidade de soluções como armazenamento local de energia podem impactar a viabilidade do projeto. Assim, essa análise deve integrar a etapa de escopo para evitar retrabalhos e assegurar aderência às condições reais da concessionária.

Etapa 7: Simulação Energética e Avaliação Econômica

Após definir as estratégias passivas, ativas e a geração renovável, o projeto passa pela validação técnica, econômica e regulatória. No âmbito técnico, a simulação termoenergética prevista pela INI-C compara o desempenho da edificação real com sua edificação de referência, verificando se o projeto atinge os requisitos para obtenção do Nível A. Caso atenda, procede-se à solicitação da etiquetagem. Essa etapa constitui um gargalo nacional, pois há escassez de profissionais capacitados. Softwares pagos possuem custo elevado e ferramentas gratuitas (como EnergyPlus ou OpenStudio) demandam alto nível de conhecimento técnico. Para edificações mais complexas, a simulação é indispensável, reforçando a necessidade de capacitação prévia da equipe técnica.

Paralelamente à validação técnica, realiza-se a avaliação econômica (Payback, VPL, TIR) e a checagem regulatória, incluindo condições de conexão à rede e exigências locais. O CP PROCEL NZEB consolida essa etapa ao exigir a comprovação, via INI-C, de atendimento aos requisitos do Nível A, a documentação de anuência da prefeitura e da distribuidora e a demonstração de viabilidade econômico-financeira. Assim, a Etapa 7 garante que apenas projetos tecnicamente robustos, economicamente justificáveis e plenamente regulares avancem para execução e operação como NZEB.

Etapa 8: Execução, Instalação e Comissionamento

Concluída a validação, inicia-se o planejamento da execução do projeto. Nesta etapa, as edificações públicas geralmente requerem processo licitatório, reforçando a necessidade de projetos executivos e documentação organizada. A instalação das medidas passivas, ativas e do sistema fotovoltaico deve seguir fielmente as especificações técnicas e as normas vigentes, incluindo a ABNT NBR 16990:2021 (projeto e instalação de sistemas fotovoltaicos), a ABNT NBR 16274:2020 (procedimentos de instalação) e os requisitos da INI-C. Há também a necessidade de projetos em BIM (Building Information Modeling) em edificações públicas no Brasil, em conformidade com a NBR 15965, desde o projeto até a execução da obra.

Após a instalação, ocorre o comissionamento, um subprocesso crítico que verifica se os sistemas (envoltória, iluminação, climatização e geração renovável) operam conforme projetado. O processo inclui inspeções, testes, calibração de equipamentos e validação dos controles, garantindo que o desempenho previsto na simulação se concretize na operação real. Essa verificação deve ser devidamente documentada. CP PROCEL NZEB, essa etapa é obrigatória e constitui a comprovação formal de que as medidas foram instaladas corretamente e de que o edifício está apto a alcançar o desempenho NZEB previsto.

Etapa 9: Monitoramento de Desempenho Energético

Após o comissionamento (Etapa 8), inicia-se o monitoramento do desempenho energético, etapa responsável por verificar se o edifício opera conforme previsto nas simulações (Etapa 7) e se atende às metas estabelecidas na definição de escopo (Etapa 1). O monitoramento contínuo é um dos pilares do conceito NZEB, pois permite avaliar o balanço energético real, identificar desvios de desempenho e orientar ações corretivas de operação e manutenção (D'Agostino; Mazzarella, 2019). Para isso, utiliza-se um sistema de Medição e Verificação (M&V) capaz de registrar dados de consumo e geração em tempo real, seguindo as diretrizes do PIMVP (2016). O processo deve contemplar não apenas energia elétrica, mas também

variáveis ambientais, temperatura, umidade, ocupação e conforto térmico de modo a avaliar o desempenho global e retroalimentar estratégias de gestão energética.

No âmbito do edital CP PROCEL NZEB, o monitoramento assume caráter obrigatório, integrando o processo de comprovação dos resultados. O proponente deve apresentar dados reais de consumo e geração para demonstrar que o edifício atingiu a meta de autossuficiência energética entre 90% e 110%, consolidando esta como instrumento de validação técnica, regulatória e financeira.

Etapas 10: Entrega, Capacitação e Operação Assistida

A tecnologia por si só não garante o NZEB, a literatura destaca que o desempenho de longo prazo depende também da capacitação dos usuários e gestores (D'Agostino; Mazzarella, 2019; Shodiyev et al., 2023). Assim, esta etapa final assegura a transição para o uso cotidiano via entrega técnica (manuais, relatórios de comissionamento) e treinamento de gestores, crucial para evitar perdas de eficiência por má operação (Paoletti et al., 2017). Recomenda-se ainda a operação assistida (6 a 12 meses) para ajustes finos que alinhem o desempenho real ao simulado. No caso de projetos submetidos ao CP PROCEL NZEB, essa etapa assume caráter obrigatório, uma vez que o programa exige relatórios de desempenho pós-obra que comprovem a manutenção do padrão de eficiência. Dessa forma, a entrega técnica, o treinamento e a operação assistida consolidam o elo entre o projeto NZEB e sua operação sustentável de longo prazo.

Em síntese, o modelo metodológico apresentado reúne dez etapas que vão da definição inicial de metas (Etapa 1) à capacitação e entrega final (Etapa 10), configurando um roteiro holístico e replicável. Fundamentado na literatura internacional e alinhado às principais políticas públicas nacionais especialmente o PBE Edifica (INMETRO, 2022) e o CP PROCEL NZEB o método proposto oferece um caminho estruturado para superar as barreiras financeira, governamental e técnica, tornando o conceito NZEB aplicável ao contexto brasileiro.

5. Conclusão ou Considerações Finais

A transição para edificações de NZEB é estratégica para a eficiência energética no Brasil, mas ainda enfrenta barreiras financeiras, governamentais e técnicas. Embora programas como o PBE Edifica e iniciativas de fomento venham impulsionando o tema, a adoção dos NZEBs permanece limitada. A CP PROCEL NZEB representa um avanço ao oferecer recursos não reembolsáveis e critérios claros, mitigando entraves financeiros e regulatórios. O principal resultado desta pesquisa é o modelo metodológico em dez etapas, que integra boas práticas internacionais às normas brasileiras e fornece um roteiro aplicável para gestores e projetistas, contribuindo especialmente para superar a barreira técnica, ainda crítica no país. Por fim, o sucesso dos NZEBs depende de operação, manutenção e monitoramento contínuos; recomenda-se, portanto, a aplicação prática do modelo proposto nesse trabalho e a avaliação pós-ocupação dos edifícios contemplados pelo CP PROCEL NZEB, de modo a gerar evidências que subsidiem políticas públicas e fortaleçam a consolidação do conceito no Brasil.

Referências

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: Brasília, DF, 18 out. 2001.

BRASIL. Decreto nº 9.864, de 27 de junho de 2019. Regulamenta dispositivos da Lei nº 10.295/2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 28 jun. 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Comitê Gestor de Índices e Níveis de Eficiência Energética estabelece desempenho mínimo para novas edificações no país.** 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/comite-gestor-de-indices-e-niveis-de-eficiencia-energetica-estabelece-desempenho-minimo-para-novas-edificacoes-no-pais>. Acesso em: 29 nov. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME); Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS). Guia Prático para Realização de Diagnósticos Energéticos em Edificações. Brasília/Rio de Janeiro: MME/CBCS, 2019 (ou o ano indicado no PDF). Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/ee/publicacoes-e-estudos/GuiaDiagnosticosEnergeticosEdificacoes.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2025.

CHAN, Y. H.; ZHANG, Y.; TENNAKON, T.; FU, S. C.; CHAN, K. C.; TSO, C. Y.; YU, K. M.; WAN, P. M.; HUANG, B.L.; YAO, S.; QIU, H. H.; CHAO, C. Y. H. Potential passive cooling methods based on radiation controls in buildings. **Energy Conversion and Management**. Available online 22 October 2022. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116342>

CHEN, L.; HU, Y.; WANG, R.; LI, X.; CHEN, Z.; HUA, J.; OSMAN, A. I.; FARGHALI, M.; HUANG, L.; LI, J.; ROONEY, D. W.; YAP, P. Green building practices to integrate renewable energy in the construction sector: a review. **Environmental Chemistry Letters** (2024) 22:751–784 <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01675-2>

CAMARASA, C.; KALAHASThi, L. K.; ROSADO, L. Drivers and barriers to energy-efficient technologies (EETs) in EU residential buildings. **Energy and Built Environment**, v. 2, p. 290-301, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.08.002>. Acesso em: 21 de out de 2025.

CHUNG-CAMARGO, K.; GONZÁLEZ, J.; CHEN AUSTIN, M.; CARPINO, C.; MORA, D.; ARCURI, N. Advances in Retrofitting Strategies for Energy Efficiency in Tropical Climates: A Systematic Review and Analysis. **Buildings** 2024, 14, 1633. <https://doi.org/10.3390/buildings14061633>

D'AGOSTINO, Delia; MAZZARELLA, Livio. What is a Nearly zero energy building? Overview, implementation and comparison of definitions. **Journal of Building Engineering**, v. 21, p. 200-212, 2019.

ELETOBRAS; CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Manual de aplicação da INI-C:** Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. Versão 1. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel; Florianópolis: CB3E/UFSC, 2021. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={02A05065-372B-4133-B054-4369D8F37B3F}#1>. Acesso em: 02 nov. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Atlas da Eficiência Energética - Brasil 2024. Rio de Janeiro: EPE, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-de-eficiencia-energetica-brasil-2024>. Acesso em: 17 nov. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Consumo de energia elétrica por**

equipamentos e usos finais no setor residencial brasileiro – Análise de resultados da PPH 2019. Nota Técnica EPE/DEE/SDR/2021/01. Rio de Janeiro: EPE, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/consumo-de-energia-el%C3%A9trica/painel-de-consumo-historico-de-energia-eletrica-desde-1970>. Acesso em: 16 out. 2025.

FARGHALI, M.; OSMAN, A. I.; MOHAMED, I. M. A.; CHEN, Z.; CHEN, L.; IHARA, I.; YAP, P.; ROONEY, D. W. Strategies to save energy in the context of the energy crisis: a review. **Environmental Chemistry Letters** (2023) 21:2003–2039 <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01591-5>

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. Barueri [SP]: Atlas, 2022.

GONZALES, Tomaz Silva. Integração de Estratégias Passivas de Climatização em Escolas no Contexto Climático de Brasília (DF). 2021. 107 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/>. Acesso em: 18 out. 2025.

IAVORSCHI, E. *et al.* A Literature Review on the European Legislative Framework for Energy Efficiency, Nearly Zero-Energy Buildings (nZEB), and the Promotion of Renewable Electricity Generation. **Energies**, v. 18, n. 6, p. 1436, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en18061436>. Acesso em 21 de out de 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Edificações: tabelas de eficiência energética e etiquetas emitidas**. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/edificacoes>. Acesso em: 29 nov. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). 40 anos do Programa Brasileiro de Etiquetagem: eficiente por natureza. Brasília, DF: INMETRO, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem>. Acesso em: 14 out. 2025.

KAJJOBA, D.; WASONGA, R.; LWANYAGA, J. D.; KASEDDE, H.; OLUPOT, P. W.; KIRABIRA, J.B. Assessment of thermal comfort and its potential for energy efficiency in low-income tropical buildings: a review. **Sustainable Energy Research** (2025) 12:25 <https://doi.org/10.1186/s40807-025-00169-9>

LOPEZ-CASTRILLÓN, W.; SEPÚLVEDA, H. H.; MATTAR, C. Off-Grid Hybrid Electrical Generation Systems in Remote Communities: Trends and Characteristics in Sustainability Solutions. **Sustainability** 2021, 13, 5856. <https://doi.org/10.3390/su13115856>

MARSZAL, A. J.; HEISELBERG, P.; BOURRELLE, J. S.; MUSALL, E.; VOSS, K.; SARTORI, I.; NAPOLITANO, A. Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 4, p. 971-979, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.12.022>. Acesso em: 12 out. 2025.

MATANA JÚNIOR, S.; FRANDOLOSO, M. A. L.; BRIÃO, V. B. A review of Netzero energy buildings in Brazil. **SSRN Electronic Journal**, 2023. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=4435692>. Acesso em: 21 out. 2025

PAOLETTI, G; PASCUAS, R. P.; PERNETTI, R.; LOLLINI, R. Nearly Zero Energy Buildings: An Overview of the Main Construction Features Across Europe. **Buildings** 2017, 7,43; doi: 10.3390/buildings7020043. Acesso em: 16 out. 2025.

PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM. **PBE Edifica**: Manuais de Etiquetagem Comercial. Brasília, DF: PBE Edifica, 2025. Disponível em: <https://pbeedifica.com.br/etiquetagem/comercial/manuais>. Acesso em: 14 out. 2025.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL). **Chamada Pública Procel Energia Zero em Prédios Públicos**. Brasília, DF: PROCEL, [2024?]. Disponível em: <https://cpenergiazero.procel.gov.br/>. Acesso em: 16 out. 2025.

PONMURUGAN, M.; RAVIKUMAR, M.; SELVENDRAN, R.; MERLIN, C. M.; ARUNRAJA, M. K. A review on energy conserving materials for passive cooling in buildings. **Materials Today: Proceedings**. Available online 2 June 2022. [conducthttps://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.400](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.400)

SILVA, A. C. da; ARAÚJO, A. L. C. de. Energia solar fotovoltaica como alternativa sustentável de geração de energia elétrica no Brasil. **Revista Eletrônica de Atualidades Jurídicas e de Sustentabilidade**, v. 8, n. 15, p. 1-13, 2022.

SILVA, J. *et al.* *Towards Climate, Bioclimatism, and Building Performance: A New Framework for Thermal Assessment in Brazilian Climates*. 2024. Doi: <https://doi.org/10.3390/buildings14082568>

SHODIYEV, B.; USMONOV, N.; DAVIROV, A.; KABILOV, R.; TAKHTAEVA, R. A review of heat recovery technology for passive ventilation applications. **E3S Web of Conferences** 434, 01034 (2023). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343401034>

TORCELLINI, P. *et al.* Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. *In*: ACEEE SUMMER STUDY ON ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS, 2006, Pacific Grove. **Anais...** Golden, CO: NREL, 2006. Disponível em: <https://www.osti.gov/biblio/883663>. Acessado em 17 de nov de 2025.

UNIÃO EUROPEIA. Parlamento Europeu; Conselho. Diretiva (UE) 2024/1275 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 24 de abril de 2024, relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação). **Jornal Oficial da União Europeia**, L, 2024/1275, 8 de maio de 2024. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:32024L1275>. Acesso em: 12 out. 2025.

UNITED STATES. Department of Energy. A common definition for zero energy buildings. Washington, D.C.: U.S. Department of Energy, Building Technologies Office, 2015. Disponível em: <https://www.ashrae.org/search?q=ZEB>. Acesso em: 13 out. 2025.