



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

ANA LUÍSA FARIA TAVARES

**Benefícios e desafios da implementação dos Edifícios Energia Zero: Um
estudo de caso no Departamento de Energia Nuclear da UFPE**

Recife
2025

ANA LUÍSA FARIA TAVARES

Documento assinado digitalmente
 ANA LUISA FARIA TAVARES
Data: 20/08/2025 14:43:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Benefícios e desafios da implementação dos Edifícios Energia Zero: Um estudo de caso no Departamento de Energia Nuclear da UFPE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira de Energia.

Orientador(a): Profa Maria Helena de Sousa

Universidade Federal de Pernambuco

Coorientador(a): Prof Elias Gabriel Magalhães Silva

Universidade Federal de Pernambuco

Documento assinado digitalmente
 MARIA HELENA DE SOUSA
Data: 20/08/2025 14:19:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente
 ELIAS GABRIEL MAGALHAES SILVA
Data: 20/08/2025 13:33:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Recife

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Tavares, Ana Luísa Faria.

Benefícios e desafios da implementação dos Edifícios Energia Zero: Um estudo de caso no Departamento de Energia Nuclear da UFPE / Ana Luísa Faria Tavares. - Recife, 2025.

79 : il., tab.

Orientador(a): Maria Helena de Sousa

Coorientador(a): Elias Gabriel Magalhães Silva

Trabalho de Conclusão de Residência - TCR (Especialização) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, , 2025.

Inclui referências, apêndices, anexos.

1. Edifícios Energia Zero. 2. Eficiência Energética. 3. Retrofit. 4. Geração Distribuída Fotovoltaica. 5. Edifícios Públicos. 6. Sustentabilidade. I. Sousa, Maria Helena de. (Orientação). II. Silva, Elias Gabriel Magalhães . (Coorientação). IV. Título.

620 CDD (22.ed.)

Ana Luísa Faria Tavares

Benefícios e desafios da implementação dos Edifícios Energia Zero: Um estudo de caso no Departamento de Energia Nuclear da UFPE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira de Energia.

Aprovado em: 13/08/2025

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 ALEXANDRE CARLOS ARAUJO DA COSTA
Data: 22/08/2025 00:06:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Alexandre Carlos Araújo da Costa
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Andre Felipe Vieira da Cunha
Universidade Federal de Pernambuco

Documento assinado digitalmente
 ANDRE FELIPPE VIEIRA DA CUNHA
Data: 20/08/2025 11:07:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dedico esta monografia a minha avó Carmen Lúcia, que mesmo não estando aqui fisicamente sempre me incentivou a seguir meus sonhos. E, mais que isso, exercendo seu papel como professora abriu meus olhos para os poderes da educação. Para sempre meu exemplo.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é fruto do meu esforço, dedicação e, principalmente, do apoio de pessoas fundamentais que estiveram ao meu lado durante toda minha jornada acadêmica.

Em primeiro lugar, gostaria de expressar minha profunda gratidão a minha orientadora, Maria Helena de Sousa, e ao meu coorientador Elias Magalhães Gabriel Silva, pelo conhecimento compartilhado, pela paciência e pelas valiosas orientações que foram essenciais para a conclusão deste trabalho.

Aos meus pais, Cynnara e Roberto, e irmãos, Maria Clara e Miguel, meu eterno obrigada pelo amor incondicional, pela paciência e pelo incentivo constante. Principalmente, obrigada por sempre acreditarem em mim, mesmo nos momentos mais desafiadores. Vocês são minha rocha.

Aos meus avós, Jemessom, Rízia e Petrônio, e, às minhas tias, Clarissa e Cybelle, por serem exemplos de perseverança e por me ensinarem que a educação é a base de tudo.

Ao meu namorado, Pedro, obrigada por todo o carinho, apoio e compreensão, especialmente nos momentos em que o cansaço e as pressões do curso pareciam maiores.

Aos meus amigos, que me deram força, alegria e motivação em cada etapa dessa caminhada, meu sincero agradecimento.

Aos professores que, ao longo do curso, compartilharam seus conhecimentos e experiências, contribuindo não apenas para minha formação técnica, mas também para meu crescimento pessoal e profissional.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, me ajudaram a chegar até aqui. Cada palavra de incentivo, cada gesto de apoio e cada lição aprendida foram peças fundamentais para a conclusão desta etapa.

RESUMO

A segurança energética global e a transição para fontes limpas tornaram-se temas centrais diante do avanço das mudanças climáticas e do progressivo esgotamento dos combustíveis fósseis. No Brasil, a forte dependência da geração hídrica torna a matriz elétrica vulnerável, sobretudo em períodos de escassez. Nesse cenário, a eficiência energética desponta como o “primeiro combustível”, capaz de atender à crescente demanda com menor impacto ambiental. O setor de edificações, responsável por cerca de 50% do consumo de energia elétrica no país (MME, 2023), apresenta elevado potencial de transformação. Entre as soluções estratégicas, destacam-se os Edifícios de Energia Zero (NZEBs), que integram práticas de alta eficiência com geração local a partir de fontes renováveis. Alinhada a essa perspectiva, a Chamada Pública Procel nº 01/2023 estimula o retrofit de prédios públicos para que se tornem NZEBs. Inserido nesse contexto, este trabalho analisou a viabilidade técnica de converter o Departamento de Energia Nuclear (DEN) da UFPE em um NZEB, por meio de um estudo de caso. Foram examinados o perfil de consumo do edifício, propostas medidas de eficiência energética e dimensionado o potencial de geração fotovoltaica. Os resultados indicam que as medidas sugeridas poderiam reduzir o consumo em até 38%, e a demanda remanescente seria plenamente suprida por um sistema fotovoltaico de 196 kWp, instalado na área do departamento, conferindo autossuficiência energética ao edifício. Conclui-se que a transformação do DEN em um NZEB é tecnicamente viável, exigindo um investimento estimado em R\$ 3.228.010,68. O estudo evidencia o papel estratégico dos edifícios públicos na promoção da sustentabilidade e no cumprimento dos compromissos climáticos assumidos pelo Brasil, além de ressaltar seu potencial de replicabilidade em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030.

Palavras-chave: Edifícios Energia Zero; Eficiência Energética; *Retrofit*; Geração Distribuída Fotovoltaica; Edifícios Públicos; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Global energy security and the transition to clean sources have become central issues in light of climate change and the progressive depletion of fossil fuels. In Brazil, the strong dependence on hydropower makes the electricity matrix vulnerable, especially during periods of scarcity. In this context, energy efficiency emerges as the “first fuel,” capable of meeting growing demand with lower environmental impact. The building sector, responsible for about 50% of the country’s electricity consumption (MME, 2023), presents significant potential for transformation. Among the strategic solutions, Net Zero Energy Buildings (NZEBs) stand out, as they combine high efficiency practices with on-site renewable energy generation. Aligned with this perspective, Procel Public Call No. 01/2023 encourages the retrofit of public buildings to become NZEBs. Within this context, this study analyzed the technical feasibility of converting the Department of Nuclear Energy (DEN) at the Federal University of Pernambuco into an NZEB through a case study. The building’s consumption profile was assessed, energy efficiency measures were proposed, and the photovoltaic generation potential was sized. The results indicate that the suggested measures could reduce consumption by up to 38%, and the remaining demand could be fully supplied by a 196 kWp photovoltaic system installed within the department’s area, granting the building energy self-sufficiency. It is concluded that transforming the DEN into an NZEB is technically feasible, requiring an estimated investment of R\$ 3,228,010.68. The study highlights the strategic role of public buildings in promoting sustainability and fulfilling Brazil’s climate commitments, while also emphasizing their replicability potential in line with the Sustainable Development Goals of the 2030 Agenda.

Keywords: Net Zero Energy Buildings; Energy Efficiency; Retrofit; Distributed Photovoltaic Generation; Public Buildings; Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Participação das fontes na Oferta Interna de Energia (OIE) entre 2015 e 2024	17
Figura 2 - Eletricidade demandada por edificações de 2005 a 2023.....	20
Figura 3 – Classificação dos Net Zero Energy Buildings.....	22
Figura 4 – Planta baixa do DEN com distribuição das alimentações correspondentes à SE 1 (em rosa) e à SE 2 (em laranja)	30
Figura 5 - Análise de consumo mês a mês por subestação	33
Figura 6 – Gráficos de consumo nas segundas-feiras do mês de março de 2024 - SE 1	34
Figura 7– Gráficos de consumo nas segundas-feiras do mês de março de 2024 - SE 2	34
Figura 8 – Imagem de satélite Departamento de Energia Nuclear, áreas excluídas do estudo destacadas em rosa	37
Figura 9 – Espaços escolhidos para trocas de equipamentos de condicionamento de ar circulados em azul e salas com equipamento de maior consumo destacadas em amarelo na planta do Departamento de Energia Nuclear da UFPE	38
Figura 10 – Ar condicionado - Laboratório de Proteção Radiológica	41
Figura 11 – Ar condicionado - Laboratório de Apoio a Sistemas Computacionais	41
Figura 12 - Dados de Irradiação Solar Diária Média pela estação do CER.....	44
Figura 13 – Gráfico da distribuição da economia	55
Figura 14 - Consumo do departamento VS Geração do sistema fotovoltaico	57
Figura 15 - Detalhamento do Investimento necessário	58
Figura 16 - Área proposta para o Sistema de Geração Fotovoltaica.....	60
Figura 17 - Registro fotográfico da área proposta para instalação do sistema	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo Energético DEN – SE 1 – 2024.....	32
Tabela 2 – Consumo Energético DEN – SE 2 – 2024.....	32
Tabela 3 – Salas com equipamentos que possuem maior capacidade de refrigeração nominal instalada na área de estudo selecionada no DEN	39
Tabela 4 - Propriedades térmicas empregadas para cálculo da carga térmica.....	40
Tabela 5 - Troca sugerida de equipamentos de ar condicionado.....	43
Tabela 6: Dados de consumo energético do DEN em 2024	45
Tabela 7: Planilha orçamentária troca da cobertura do DEN	48
Tabela 8 - Ganho de calor através do telhado	49
Tabela 9 - Ganho de calor através do telhado	50
Tabela 10 - Ganho de calor através das portas	50
Tabela 11 - Ganho de calor através das janelas	51
Tabela 12 - Ganho de calor pelas pessoas.....	51
Tabela 13 - Ganho de calor pelo telhado com a aplicação do retrofit	52
Tabela 14 - Ganho de calor total por ambiente antes e após retrofit.....	52
Tabela 15 - Superdimensionamento atual dos equipamentos instalados	53
Tabela 16 - Economia anual com a implementação das medidas de eficiência energética.....	55
Tabela 17: Cálculo da Geração Necessária Mensal pelo Sistema Fotovoltaico	56
Tabela 18: Cálculo da potência escolhida para o Sistema Fotovoltaico.....	56
Tabela 19: Informações Gerais do Sistema	56
Tabela 20: Análise Financeira estimada do projeto.....	59
Tabela 21: Indicadores de Rentabilidade	59
Tabela 22: Investimento Total Estimado	61

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 <i>Objetivo Geral</i>	15
1.1.2 <i>Objetivos Específicos</i>	16
2 CONCEITOS PRELIMINARES	16
2.1 SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO	16
2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	18
2.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES	19
2.4 NET ZERO ENERGY BUILDINGS	21
2.5 NET ZERO ENERGY BUILDINGS no Brasil	22
2.6 AVALIAÇÃO DE EFICIENCIA PARA CLIMATIZAÇÃO	24
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
4 METODOLOGIA	29
4.1 Descrição do Departamento de Energia Nuclear da UFPE	29
4.2 Descrição do Edital PROCEL	30
4.3. Análise do perfil de consumo do Departamento de Energia Nuclear da UFPE ..	31
4.4 Retrofit	35
4.4.1 <i>Modernização do Revestimento dos Telhados</i>	36
4.4.2 <i>Avaliação do sistema de climatização</i>	38
4.4.3 <i>Modernização no Condicionamento de ar</i>	41
4.5 Estimativa simplificada do Sistema de geração Fotovoltaica	43
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
5.1 Impactos da proposta de <i>retrofit</i> da envoltória	48
5.2 Proposta de readequação dos equipamentos de climatização	54
5.3 Estimativa simplificada do sistema fotovoltaico e balanço energético final	56
5.3.1 <i>Estrutura do Investimento</i>	57

5.4 Análise do Investimento	61
5.5 Discussão de Resultados	62
6 CONCLUSÃO	62

1 INTRODUÇÃO

Garantir a segurança energética é uma das mais importantes pautas globais. As mudanças climáticas cada vez mais intensas e o esgotamento dos combustíveis fósseis tornam iminente a necessidade de mudar a forma como produzimos e consumimos energia. Essa transformação, conhecida como transição energética, busca abandonar os modelos baseados em fonte poluentes e não renováveis, apostando em alternativas mais limpas e eficientes. No cenário global, esse movimento tem ganhado força com o apoio de acordos internacionais, como o Acordo de Paris, e com o compromisso dos países com a Agenda 2030 da ONU (ONU, 2015).

Com o aumento da demanda elétrica, potencializado pela urbanização, torna-se urgente o planejamento de um modelo de oferta que seja mais eficiente. Nesse contexto, a busca por eficiência energética surge como um dos pilares fundamentais da transição, e, mais do que isso, a eficiência energética é considerada o “primeiro combustível” da nova economia energética, pois consiste na forma mais rápida, limpa e econômica de reduzir emissões e melhorar a segurança energética (Thollander et al., 2025). As edificações representam um dos setores mais intensivos em consumo energético, e respondem por cerca de 30% do uso final de energia no mundo (IEA, 2022). No contexto global apresentado acima, surgem os Edifícios de Energia Zero. Os Edifícios de Energia Zero, também conhecidos como NZEB (Net Zero Energy Buildings), são edificações que se caracterizam por apresentarem altos níveis de eficiência no seu consumo energético e por atenderem sua própria demanda de energia com fontes renováveis disponíveis nas suas localidades. Embora a implantação dessas edificações já esteja avançada em países da União Europeia e nos Estados Unidos, sua implementação no Brasil só vem ganhando visibilidade agora. Com o objetivo de fomentar melhorias no setor, a Chamada Pública Procel nº 01/2023 foi criada para financiar projetos de retrofit com foco em eficiência energética e uso de fontes renováveis em prédios públicos. Entre as tantas instituições públicas, as universidades federais podem representar um consumo energético significativo já que apresentam a operação contínua de laboratórios, hospitais universitários e sistemas de climatização em grandes áreas. Dentre essas instituições, destaca-se o campus Recife da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), que abriga o

Departamento de Energia Nuclear (DEN). Como autor da gestão energética nacional, o setor público tem o duplo dever de implementar e difundir práticas de eficiência energética, devendo sua infraestrutura servir como modelo de excelência. Essa responsabilidade se estende desde o cumprimento de marcos regulatórios até a adoção de sistemas de gestão energética certificáveis, como a ISO 50001 – norma internacional que estabelece as melhores práticas para otimização contínua do desempenho energético.

Nesse contexto, este trabalho analisou a viabilidade técnica da transformação do Departamento de Energia Nuclear (DEN) da Universidade Federal de Pernambuco em um Edifício de Energia Zero, com a execução de medidas de eficiência energética e o dimensionamento de um sistema de geração distribuída fotovoltaica. O DEN foi selecionado por abrigar o curso de Engenharia de Energia e por possuir o consumo de energia medido separadamente dos outros edifícios no campus Recife da UFPE. A pesquisa foi conduzida a partir do levantamento do consumo energético atual, da implantação de medidas de eficiência energética e da simulação do potencial de geração fotovoltaica. Além de seu caráter aplicado, o estudo se alinha aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7, 11 e 13 da ONU, contribuindo com o debate sobre soluções sustentáveis para o setor público brasileiro e com a promoção de práticas alinhadas à transição energética no país.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade técnica da transformação do Departamento de Energia Nuclear (DEN) da Universidade Federal de Pernambuco em um modelo de Edifício de Energia Zero. O estudo foi feito a partir do levantamento do consumo energético atual da edificação, da proposição de medidas de eficiência energética e da simulação do potencial de geração de energia solar fotovoltaica com base na chamada pública do PROCEL “Energia Zero Em Prédios Públicos”.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do estudo incluíram:

- Levantar o perfil de consumo energético do Departamento de Energia Nuclear da UFPE;
- Simular cenários energéticos e comparar o desempenho entre a situação atual e a proposta de *retrofit*;
- Propor medidas de eficiência energética aplicáveis à realidade do prédio;
- Estimar de forma simples um sistema fotovoltaico para tornar o departamento autossuficiente em energia elétrica.

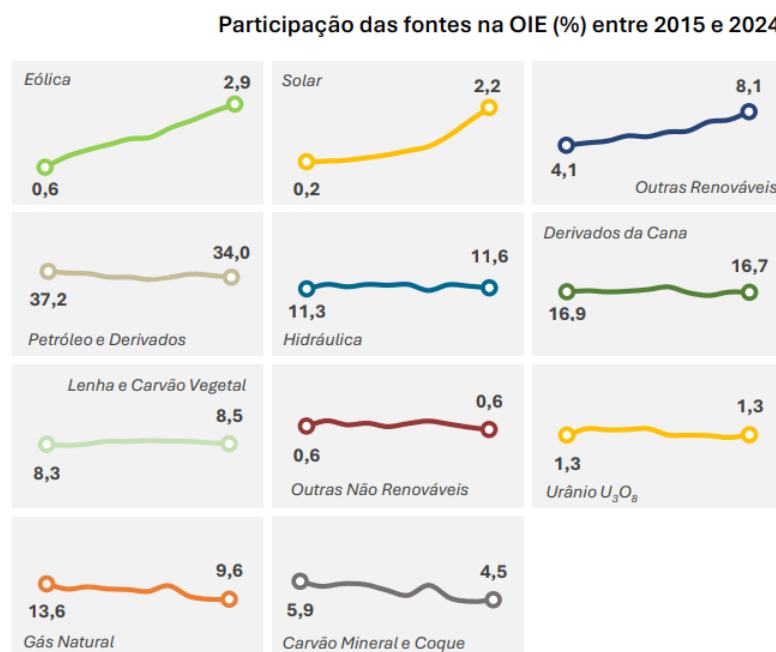
2 CONCEITOS PRELIMINARES

Neste capítulo da monografia estão expostos os principais conceitos que englobam o tema de Eficiência Energética e os Edifícios de Energia Zero, visando apresentar a fundamentação teórica necessária para embasar as discussões que serão apresentadas ao longo do trabalho.

2.1 SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

A matriz energética brasileira em 2024 se destacou por ter atingido o patamar de 50% de renovabilidade, marco histórico desde o ano de 1990. A Oferta Interna de Energia (OIE) no Brasil registrou, também nesse ano, um crescimento de 2,4% em relação ao ano anterior, com destaque para o crescimento de gás natural, eólica e solar (BEN, 2025). O crescimento das fontes renováveis no nosso país nos últimos 10 anos tem se mostrado contínuo, tendo como principais agentes nesse movimento de transição, as gerações de eletricidade a partir de fontes como eólica e solar, segundo o Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2025. A Figura 1 demonstra o comportamento da participação das fontes na Oferta Interna de Energia (OIE) entre 2015 e 2024, ela foi retirada do Balanço Energético Nacional de 2025.

Figura 1 – Participação das fontes na Oferta Interna de Energia (OIE) entre 2015 e 2024



Fonte: BEN 2025 | Relatório Síntese | Ano base 2024. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-885/topico-767/BEN_S%C3%ADntese_2025_PT.pdf. Acesso em: 12 ago. 2025

Mesmo com a expressiva participação das fontes renováveis na matriz elétrica brasileira, que atingiu 88,2% de renovabilidade em 2024 (BEN, 2025), a forte dependência do Brasil pela fonte hídrica deixa o sistema vulnerável a variações climáticas, como secas prolongadas e mudanças nos regimes de chuvas. Esse cenário muitas vezes exige o acionamento de termelétricas a combustíveis fósseis, elevando os custos operacionais e as emissões de gases de efeito estufa. Com o crescimento contínuo da demanda por eletricidade, é reforçada a necessidade de expandir e, principalmente, diversificar a matriz com outras fontes renováveis, além de investir em soluções de eficiência energética. Ao longo dos anos, o Brasil implementou importantes programas para impulsionar as fontes renováveis, como o Programa de Incentivo às fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), criado em 2002, que foi fundamental para a consolidação da energia eólica no país. Outras iniciativas como leilões de energia específicos para fontes renováveis e o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída (ProGD), criado em 2015 pelo Ministério de Minas e Energia, também foram importantes para a expansão da capacidade solar fotovoltaica. Apesar de largar na frente no uso das fontes renováveis, ainda persistem lacunas significativas no que tange à eficiência energética. O consumo final de energia no Brasil ainda apresenta perdas superiores a 15% no setor industrial e 25% no setor

residencial (EPE, 2024). Esta deficiência torna-se particularmente crítica quando consideramos que ganhos de eficiência poderiam reduzir em até 30% a pressão sobre a expansão da capacidade geradora (PROCEL, 2023). Neste sentido, a eficiência energética emerge como pilar complementar essencial à expansão das renováveis.

2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2022), o conceito de eficiência energética se refere à otimização do uso da energia para realizar as mesmas atividades com menor consumo, reduzindo desperdícios e aumentando a produtividade. A relevância desse tema tem crescido no cenário global, especialmente em razão dos compromissos climáticos firmados por diversos países. Entre as medidas mais empregadas para promover a eficiência energética, destacam-se os índices mínimos de eficiência energética, conhecidos como MEPS - Minimum Energy Performance Standards (IEA, 2022). Os MEPS estabelecem os níveis mínimos de desempenho energético que equipamentos e até mesmo edificações devem atingir, assegurando que novos produtos lançados no mercado ou espaços construídos sejam mais eficientes e consumam menos energia. A implementação desses índices no Brasil teve início com a Lei de Eficiência Energética (Lei nº 10.295/2001). Esta lei foi um marco, pois definiu os requisitos de eficiência energética para diversos equipamentos e edificações, e, a partir dela, uma série de atitudes foram tomadas para impulsionar a implementação de medidas de eficiência no país (MME, 2023).

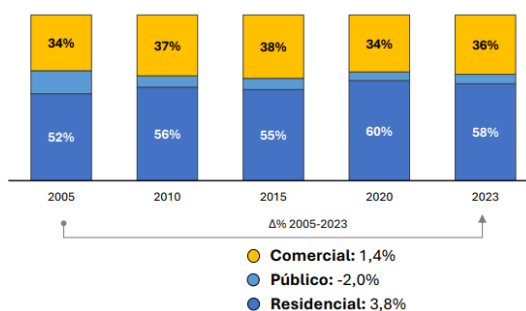
No panorama global, a eficiência energética é vista como um dos pilares centrais para alcançar as metas estabelecidas no Acordo de Paris e nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente os ODS 7 (energia acessível e limpa) e 13 (ação contra a mudança global do clima). A incorporação de critérios de eficiência desde o planejamento de edificações evita a consolidação de infraestruturas ineficientes, garantindo maior segurança energética (IEA, 2022). No Brasil, país que já se destaca internacionalmente pela elevada participação de fontes renováveis em sua matriz energética, o desafio atual é promover o uso racional da energia em todos os setores consumidores. Um dos indicadores mais utilizados para avaliar o desempenho energético de uma economia é a intensidade energética que se expressa à razão entre a Oferta Interna de Energia dividida pelo Produto Interno Bruto de um país. Ela reflete a eficiência com que a energia é utilizada em um determinado

contexto. Quanto menor a intensidade energética, maior a eficiência, pois significa que menos energia está sendo gasta para a mesma produção. Segundo o Atlas da Eficiência Energética, a intensidade energética primária nacional permaneceu relativamente estável entre 2000 e 2008, apresentando leve queda durante a crise de 2009. Contudo, entre 2010 e 2023, as intensidades primárias e final evoluíram positivamente indicando um aumento do consumo de energia frente ao crescimento econômico (EPE, 2024). Ainda de acordo com o Atlas, o Brasil investiu quase 6 bilhões de reais em pesquisa, desenvolvimento e demonstração (PD&D) em projetos de eficiência energética oriundos de investimentos públicos ou publicamente orientados. Programas como o Procel, o PEE das concessionárias e o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) constituem os principais instrumentos institucionais voltados para o tema. O PNEf, instituído em 2011, estabeleceu a meta de redução de 10% no consumo de energia final até 2030, promovendo diretrizes para integrar ações de eficiência aos planos setoriais e fortalecer uma cultura de uso racional da energia (MME, 2023).

2.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

De acordo com a IEA (2022), o setor de edificações é responsável por aproximadamente 30% do consumo final de energia no mundo e por 26% das emissões globais relacionadas à energia. No Brasil as edificações representaram 48% do consumo de eletricidade nacional em 2023, já os edifícios comerciais e públicos utilizaram majoritariamente a eletricidade com 73% de participação, o que revela seu elevado potencial para ações de eficiência (EPE, 2024). A Figura 2 demonstra o crescimento da eletricidade demandada pelo setor de edificações de 2005 a 2022.

Figura 2 - Eletricidade demandada por edificações de 2005 a 2023



Fonte: Atlas da Eficiência Energética – Brasil | 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-857/Atlas%20da%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%20Brasil%202024.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2025

Nesse contexto, surgiram iniciativas como o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), que desde 2009 estabelece critérios de desempenho energético para edifícios públicos, comerciais e residenciais. Isso torna possível orientar projetos mais eficientes e incentivar a modernização de construções já existentes (CEPEL, 2024). Medidas como a substituição de equipamentos obsoletos, melhorias na envoltória e gestão do uso de energia demonstram resultados expressivos quando aplicadas de forma sistemática. Os prédios públicos exercem um papel estratégico nessa agenda principalmente pelo potencial de servir como exemplo para a sociedade. Iniciativas como o subprograma Procel EPP (Programa de Eficiência Energética em Prédios Públicos) estimulam a implantação de sistemas de gestão e o uso de energias renováveis nas edificações governamentais (MME, 2023). O subprograma tem como principais objetivos redução dos gastos de prédios públicos através da redução da demanda de energia elétrica e a capacitação de administradores e servidores públicos em eficiência energética. Entre as estratégias empregadas se destacam a implementação de projetos pilotos para demonstração, substituição de tecnologias obsoletas por mais eficientes e instruções normativas. Somado a isso, o Guia de Eficiência Energética nas Edificações Públicas, coordenado pelo CEPEL e revisado em 2024, oferece orientações técnicas para gestores públicos, reforçando a viabilidade e os benefícios das medidas de eficiência (CEPEL, 2024). Segundo o Ministério de Minas e Energia, o guia aborda as principais etapas que devem ser seguidas em projetos de *retrofit* em edificações públicas para fins de eficiência energética, são elas: diagnóstico energético; elaboração de Projeto Básico;

elaboração de Projeto Executivo, execução das obras e fiscalização e acompanhamento dos resultados.

2.4 NET ZERO ENERGY BUILDINGS

O conceito de Net Zero Energy Buildings (NZEBs) se refere a edificações altamente eficientes do ponto de vista energético, em que o seu consumo anual de energia é compensado por meio da geração de energia proveniente de fontes renováveis. Em outras palavras, esses edifícios equilibram sua demanda energética com a produção própria de energia limpa ao longo de um ano (Fayyad et al., 2017). O termo "Net" em NZEB implica que o balanço final entre a energia consumida pelo edifício e a energia produzida por fontes renováveis deve ser igual a zero anualmente. Isso reforça a presença de um protocolo de troca de energia entre o edifício e a infraestrutura de energia pública, não significando que o edifício não consuma energia, mas que a energia gerada no local, ou em alguns casos fora do local, compensa esse consumo. A distinção fundamental de um NZEB reside nesse balanço energético rigoroso, que vai além de um mero "edifício sustentável". A definição exata desses modelos de edificações ainda varia internacionalmente, considerando diferentes metodologias de cálculo, métricas de desempenho e períodos de balanço energético (mensal, sazonal ou anual). No entanto, todos os modelos convergem na valorização de edificações com demandas energéticas muito baixas e forte incorporação de energias renováveis ((EUROPEAN CLIMATE FOUNDATION, 2016). De acordo com o relatório de FAYYAD; JOHN (2017), as edificações NZEB podem ser classificadas de acordo com sua demanda e produção de energia renovável, podendo ser enquadradas em três categorias: Nearly Zero Energy Building, Net Zero Energy Building e Net Plus Zero Energy Building (Figura 3).

Figura 3 – Classificação dos Net Zero Energy Buildings



Fonte: Defining Nearly Zero Energy Buildings in the UAE – 2017. Disponível em: <https://emiratesgbc.org/wp-content/uploads/2020/05/Defining-nZEBs-in-the-UAE-2017-1.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2025

Para atingir o balanço energético nulo, os NZEBs integram um conjunto de estratégias e tecnologias que visam otimizar o uso da energia, sendo exemplos comumente utilizadas: uso da ventilação natural, isolamento térmico e aproveitamento da iluminação natural. Além disso, é fundamental que os equipamentos de climatização e iluminação sejam de alta eficiência e baixo consumo. A geração de energia, por sua vez, deve ocorrer por meio de fontes renováveis, geralmente painéis fotovoltaicos. Adicionalmente, a implementação de sistemas de gestão de energia, como os propostos pela norma ISO 50001, é importante para monitorar e otimizar continuamente o desempenho energético do edifício, assegurando que metas de eficiência e redução de consumo sejam alcançadas (ABNT, 2018).

2.5 NET ZERO ENERGY BUILDINGS no Brasil

No contexto brasileiro, o setor de edificações representa uma parcela expressiva do consumo energético nacional, alcançando aproximadamente 48,2% do consumo total de eletricidade em 2022 (EPE, 2024). Diante desse cenário, o conceito de Net Zero Energy Buildings (NZEBs) surge como uma estratégia para a transição energética sustentável no nosso país. Apesar do Brasil ainda estar em fase inicial na implementação desses edifícios, principalmente quando comparado a países da União Europeia ou aos Estados Unidos, iniciativas recentes vêm ganhando força. Um exemplo disso é a Chamada Pública Procel nº 01/2023, “Energia Zero em Prédios Públicos”, promovida pela ENBPar no âmbito do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel). A ação tem como objetivo financiar projetos de *retrofit* em

edificações públicas, buscando uma redução do consumo energético entre 90% e 110% em relação à situação anterior, combinando medidas de eficiência energética e a adoção de sistemas fotovoltaicos distribuídos (PROCEL, 2023). Projetos pioneiros como o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e o edifício da Eletrobras Cepel, no Rio de Janeiro, têm se destacado como referências nacionais (GOUVÊA; GHISI, 2020). O elevado índice de irradiação solar em grande parte do território nacional, especialmente no Nordeste, somado ao marco legal da micro e minigeração distribuída, instituído pela Lei nº 14.300/2022, fortalecem ainda mais o papel da geração fotovoltaica no equilíbrio energético das edificações.

Instrumentos normativos como o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) e o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica), ambos conduzidos pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), desempenham um papel central na promoção da eficiência energética no setor da construção civil brasileira. Esses mecanismos estabelecem critérios técnicos rigorosos visando a avaliação do desempenho energético de edificações residenciais e comerciais, permitindo a classificação de acordo com níveis de eficiência que vão de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). A metodologia do PBE Edifica considera aspectos como:

- O desempenho da envoltória (paredes, coberturas, aberturas)
- Os sistemas de aquecimento de água
- A iluminação, incentivando o uso de estratégias passivas e tecnologias eficientes.

Mais recentemente, o programa passou a classificar Net Zero Energy Buildings (NZEBS) como edificações que a geração de energia renovável, realizada no próprio edifício ou em seu lote, supre 50% ou mais da demanda anual de energia (INMETRO, 2023). Essa definição, embora conservadora em relação a padrões internacionais, que consideram NZEBs aqueles que atingem um balanço energético nulo, representa um importante avanço normativo no contexto brasileiro, pois sinaliza avanço visando a autossuficiência energética. Ao oferecer um selo de eficiência reconhecido nacionalmente, o PBE Edifica também contribui para o aumento da transparência no mercado imobiliário e valoriza edificações comprometidas com a sustentabilidade. Além disso, a existência desses instrumentos pode impulsionar políticas públicas mais

robustas, fomentando a capacitação técnica de profissionais da área de construção que se preocupem com a eficiência energética e promovendo maior conscientização entre consumidores sobre os benefícios econômicos e ambientais das edificações energeticamente eficientes.

2.6 AVALIAÇÃO DE EFICIENCIA PARA CLIMATIZAÇÃO

Visto que a climatização é um dos principais responsáveis pelo consumo nas edificações, é fundamental compreender o conceito de carga térmica. A carga térmica é um conceito central no projeto e na operação de sistemas de climatização, sendo definida como a quantidade de calor que precisa ser removida ou adicionada a um ambiente para manter as condições internas de conforto térmico (ASHRAE, 2021). Essa grandeza está diretamente associada ao consumo energético das edificações, especialmente em zonas climáticas quentes. A NBR 15220-3 – Desempenho Térmico de Edificações Parte 3, divide o Brasil em 8 zonas bioclimáticas com base no desempenho térmico das edificações, para isso é considerado o clima, a latitude, a altitude e a umidade. Essa divisão orienta o projeto das edificações visando alcançar maior conforto térmico com menor gasto energético. Zonas bioclimáticas quentes tem a climatização artificial é frequentemente exigida, aumentando a demanda energética das edificações.

De acordo com Stoecker e Jones (1985), a precisa determinação da carga térmica é essencial para o dimensionamento adequado de sistemas de ar condicionado. A carga térmica total de resfriamento pode ser dividida em quatro componentes principais:

- Carga por condução térmica através de paredes, telhados e portas;
- Ganho solar por radiação em superfícies transparentes (janelas);
- Ganhos internos por ocupação, iluminação e equipamentos;
- Ganho por infiltração ou ventilação de ar externo.

A equação que representa a carga térmica total de um ambiente é expressa de acordo com Equação 1 (Stoecker et al., 1985).

$$Q_{total} = Q_{op} + Q_{tp} + Q_{int} + Q_{inf} \quad (1)$$

Onde,

Q_{tp} : ganho de calor por superfícies transparentes (W);

Q_{op} : ganho de calor por superfícies opacas (W);

Q_{int} : ganhos de calor gerados internamente (W);

Q_{inf} : ganho de calor por infiltração (W);

A entrada de calor solar por superfícies transparentes, como portas e janelas de vidro, pode ser determinada por uma expressão que considera tanto a transmissão direta da radiação quanto os efeitos de absorção e reemissão térmica. Para simplificar os cálculos, é proposto por Lamberts (2016), o uso da radiação solar incidente e do fator solar para a realização do cálculo do fluxo de calor por janelas, que é dado pela Equação (2). O fator solar mede a quantidade de calor solar que um vidro transmite para o interior de um ambiente. Para encontrarmos o ganho de calor pelas janelas, multiplicamos o fluxo pela área da janela, chegando à Equação (3).

$$q_{tp} = (U * \Delta T) + (FS * RS) \quad (2)$$

Onde:

q_{tp} : fluxo de calor (W/m²);

U: coeficiente global de transmissão térmica (W/m².°C)

ΔT : diferença de temperatura entre o exterior e a desejada para o interior (°C);

FS: fator solar (adimensional);

RS: radiação solar (W/m²).

$$Q_{tp} = q_{tp} * A_{janelas} \quad (3)$$

Onde:

Q_{tp} : fluxo de calor que atravessa as janelas (W)

$A_{janelas}$: Área da superfície das janelas (m²)

No caso de superfícies opacas, como paredes e coberturas, parte da radiação solar é refletida, e outra parte é absorvida. O calor absorvido é então parcialmente transmitido para o interior por condução, convecção e radiação. A Equação 4 quantifica essa transferência.

$$Q_{op} = U * A * \Delta T \quad (4)$$

Onde:

Q_{op} : fluxo de calor (W);

U : coeficiente global de transmissão térmica (W/m².°C);

A : área da superfície (m²);

ΔT : diferença de temperatura entre o exterior e a desejada para o interior (°C).

O calor gerado internamente é proveniente do calor gerado por pessoas, equipamentos e iluminação. Os dados para realização dos respectivos cálculos são fornecidos através de tabelas (ANEXO I, II e III).

Segundo Incropera e DeWitt (2008), a resistência térmica dos materiais utilizados na envoltória do edifício tem papel determinante nesse valor. Telhados e paredes com pouco isolamento aumentam a entrada de calor no ambiente, elevando a carga térmica e, conseqüentemente, o consumo de energia. Uma alternativa eficaz para minimizar a transferência de calor em edificações é o uso de coberturas com isolamento térmico, como as telhas termoacústicas que utilizam painéis de poliisocianurato (PIR). Esse material se destaca por sua elevada resistência térmica a altas temperaturas e por possuir condutividade térmica bastante reduzida, o que contribui significativamente para o controle térmico entre os ambientes interno e externo (Santana et al., 2022). Além do PIR, outros sistemas de cobertura eficientes incluem as telhas com núcleo de poliestireno expandido (EPS) ou lã de rocha, frequentemente utilizadas em coberturas de edifícios industriais e comerciais devido à sua elevada capacidade de isolamento térmico e acústico. Esses materiais auxiliam significativamente na manutenção da temperatura interna, reduzindo a demanda por sistemas de climatização artificial (Oliveira et al., 2021). Outra melhoria é a aplicação

de tintas refletivas que contribuem para uma menor carga térmica e, conseqüentemente, menor necessidade de climatização (Rawat et al., 2022).

De posse da carga térmica, torna-se possível dimensionar o sistema de refrigeração adequado para suprir as necessidades do edifício em questão.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A literatura científica tem ampliado significativamente o debate sobre a viabilidade dos Edifícios de Energia Quase Zero (NZEBs), especialmente em países em desenvolvimento, onde os desafios relacionados à infraestrutura, financiamento e regulação ainda limitam a difusão desse conceito. As pesquisas mais recentes têm direcionado seus esforços ao entendimento dos obstáculos e à adaptação de edificações já construídas, com foco em métodos de *retrofit* que respeitem as características arquitetônicas e funcionais dos edifícios públicos e educacionais (BARBOSA e KREBS, 2025). O *retrofit* sustentável tem se consolidado como ferramenta essencial na transformação energética de edificações. Entretanto, apesar do aumento de publicações sobre NZEBs desde 2015, grande parte desses estudos é focado em novas edificações, o que limita o desenvolvimento de diretrizes claras e replicáveis para *retrofit* em larga escala (Andrade et al., 2025). Países como Noruega e Itália lideram a produção acadêmica em eficiência energética e energia quase zero. O Brasil ainda carece de abordagens que articulem as dimensões técnica, normativa, climática e social (Costa et al., 2025). Os desafios vão desde a ausência de diretrizes nacionais claras para caracterização e certificação dos NZEBs até falta de recursos financeiros adequados para modernização eficiente de edifícios públicos.

Dentre os temas emergentes na literatura, destaca-se a importância do ciclo de vida dos materiais e da escolha de soluções construtivas de baixo impacto ambiental, para prolongar a vida útil das edificações (MME, 2023). A aplicação de estratégias passivas como isolamento térmico da envoltória, proteção solar, ventilação natural e maximização do aproveitamento da iluminação diurna também tem sido amplamente discutida, sendo cada vez mais combinadas com soluções de automação predial, sistemas de climatização de alta eficiência e uso de fontes renováveis, principalmente a solar fotovoltaica (Andrade et al., 2025). Nesse contexto, estudos de viabilidade como os conduzidos por Minelli et al. (2024), com foco em analisar como os NZEBs

podem se integrar e desempenhar um papel lucrativo em futuras comunidades de energia renovável, destacam o papel dos NZEBs não apenas como unidades isoladas de consumo eficiente, mas como componentes importantes na formação de sistemas energéticos sustentáveis. No caso brasileiro, os avanços regulatórios, como a Lei nº 14.300/2022 e a Chamada Pública PROCEL nº 01/2023, representam marcos importantes na promoção da eficiência energética no setor público, promovendo economia, sustentabilidade e modernização das edificações, ainda existem lacunas como a ausência de metas obrigatórias. Também é observada a ausência de um protagonismo mais ativo do setor privado em assumir seu papel como agente colaborador na transição para edificações mais eficientes e sustentáveis, limitando o alcance e a escala das transformações necessárias. Os estudos indicam que as estratégias mais eficazes para a eficiência termoenergética e o conforto em edificações no Brasil são aquelas adaptadas ao contexto local, considerando as condições climáticas regionais, e a disponibilidade de recursos solares (RODRIGUES, 2021). Inicialmente, o planejamento e o design integrado devem focar na arquitetura bioclimática, que otimiza o desempenho térmico ao se alinhar com o ambiente, aproveitando a orientação solar, o sombreamento adequado e a ventilação natural para minimizar a necessidade de sistemas artificiais. A seleção de materiais construtivos é crucial, com a preferência por revestimentos de alta refletância, como telhados e paredes frias, e o uso de isolamento térmico na envoltória para aumentar a inércia e reduzir o ganho de calor (PEREIRA, 2014). Complementarmente, a adoção de sistemas ativos e tecnologias de alta eficiência, como iluminação LED e equipamentos de ar-condicionado com selo Procel/Inmetro A, é essencial para otimizar o consumo energético (MME, 2023). Além disso, segundo o Plano Nacional de Eficiência Energética a geração de energia no local a partir de fontes renováveis é fundamental para reduzir a demanda da rede e promover a sustentabilidade, apresentando retornos de investimento atrativos.

O estudo de Sartori (2018) comparou os níveis de eficiência da envoltória em um edifício residencial em situação naturalmente ventilada e após a implementação de ações de *retrofit* sustentável encontrou uma redução média de 35% nos valores de Graus-horas de Resfriamento (GHR). Além disso, a temperatura operativa horária na zona mais crítica diminuiu em até 8%. Outra análise (RODRIGUES, 2021) analisou o comportamento de uma construção, com e sem a introdução de técnicas arquitetônicas para resfriamento passivo. Obteve-se uma redução de ao menos 30%

na carga térmica total do ambiente com a implementação de modificações. Ainda, o trabalho de Rios et al. (2017), que teve como objetivo quantificar a redução do consumo de energia elétrica e as emissões de carbono proporcionadas pela pintura da cobertura de uma habitação de interesse social com a cor branca, encontrou como resultado, a redução de 1°C na temperatura interna e a economia de 7,1% ao mês no consumo em kWh.

4 METODOLOGIA

O presente trabalho de conclusão de curso adotou uma abordagem de estudo de caso, utilizando o Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) como objeto de análise. A metodologia foi estruturada em fases, conforme descrito no edital de Chamada Pública PROCEL “Energia Zero em prédios públicos”. Esta abordagem foi utilizada para tornar mais fácil a identificação e a análise crítica dos benefícios potenciais e dos desafios práticos associados à implementação de tais projetos em instituições públicas brasileiras.

4.1 Descrição do Departamento de Energia Nuclear da UFPE

O Departamento de Energia Nuclear (DEN) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) é uma unidade acadêmica de destaque no cenário nacional (UFPE, 2025), dedicada ao estudo, pesquisa e desenvolvimento de tecnologias e aplicações relacionadas à energia nuclear e áreas afins. Em 1964, foi lançada a primeira pedra para a construção do Centro Nuclear no campus da UFPE, iniciando, assim, as atividades nucleares nas Regiões Norte e Nordeste do país, e em 1968 esse centro se transformou no DEN. O departamento surgiu num contexto de expansão do setor nuclear no Brasil, alinhado ao desenvolvimento do Programa Nuclear Brasileiro. Desde então, tem se consolidado como um centro de excelência na formação de profissionais e na produção de conhecimento científico, contribuindo para avanços em áreas como engenharia nuclear, radioproteção, medicina nuclear, física de reatores e aplicações de radiação na indústria e na agricultura. Sua infraestrutura conta com laboratórios especializados e equipamentos de ponta, que apoiam pesquisas inovadoras e a formação de recursos humanos qualificados. O DEN também desempenha um papel crucial na disseminação de conhecimento sobre os benefícios e os desafios da energia nuclear, promovendo o uso seguro e

responsável dessa tecnologia para o desenvolvimento sustentável do país. Sua relevância acadêmica e contribuições técnicas o tornam uma referência no campo nuclear no Brasil e na América Latina.

O DEN recebe energia de 2 subestações, na modalidade A4 Verde Poder Público, fornecida pela Distribuidora de Energia Neoenergia Pernambuco. Vamos nomear essas duas subestações como SE 1 e SE 2. As partes do departamento atendidas por cada subestação estão descritas na Figura 4, utilizando a planta do DEN que foi fornecida pela chefia do Departamento. A SE 1 supre a demanda energética da parte mais antiga do edifício.

Figura 4 – Planta baixa do DEN com distribuição das alimentações correspondentes à SE 1 (em rosa) e à SE 2 (em laranja)



Fonte: Elaborada pela autora

4.2 Descrição do Edital PROCEL

A Chamada Pública “Energia Zero em Prédios Públicos”, lançada pela ENBPar/PROCEL em 2024, reforça o esforço nacional por sustentabilidade e eficiência energética no setor público. Com foco em projetos de *retrofit* em edifícios públicos já existentes, como escolas, unidades de saúde e museus, a iniciativa tem o objetivo de transformá-los em construções de balanço energético quase nulo (Energia Zero), ou seja, que consumam da rede elétrica uma quantidade mínima ou nula de energia, devido à combinação de medidas de eficiência energética e geração

fotovoltaica local. Os projetos aprovados recebem apoio financeiro não reembolsável entre R\$ 1 milhão e R\$ 6 milhões, mediante critérios técnicos rigorosos e compromisso com indicadores de desempenho e certificações de eficiência. A elegibilidade da instituição selecionada para realização do projeto está condicionada ao cumprimento de diversos critérios tanto por parte do ente público quanto da edificação. Os participantes devem ser órgãos públicos com regularidade fiscal comprovada, não possuir pendências de prestação de contas em editais anteriores do PROCEL e não possuir membros dos conselhos deliberativo e fiscal da ENBPar em seu quadro. As edificações, por sua vez, devem ter pelo menos 12 meses de existência, área mínima de 500 m², ocupação mínima de 70% nos últimos 12 meses, medição individualizada de energia elétrica, e não podem ser residenciais, hospitalares, alugadas ou já possuir sistemas fotovoltaicos instalados. Além disso, para que a proposta seja considerada “Energia Zero”, é necessário demonstrar que a edificação atingirá uma redução entre 90% e 110% do consumo anual de energia elétrica fornecida pela distribuidora, em relação ao consumo antes do *retrofit*. Essa redução deve ser atingida por meio de uma combinação entre medidas de eficiência energética (MEE), que representem no mínimo 15 pontos percentuais da economia, e instalação de sistemas de geração distribuída (SGD), responsáveis por 60% a 80% da economia energética. Também é obrigatório que a proposta contemple intervenções em pelo menos dois dos seguintes sistemas: envoltória, condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água (ELETROBRAS, 2020).

4.3. Análise do perfil de consumo do Departamento de Energia Nuclear da UFPE

Para que fosse possível propor as medidas de eficiência, foram coletados dados de memória de massa para o DEN para o ano de 2024 com a concessionária, com resolução de 15 minutos. Os dados foram fornecidos pela Superintendência de Infraestrutura (SINFRA) da UFPE. As medições foram realizadas para as subestações SE 1 e SE 2 conforme descrito no item “4.1 Descrição do Departamento de Energia Nuclear da UFPE”.

As duas subestações do departamento, por estarem alocadas na modalidade Horo Sazonal Verde A4 – Poder Público, estão sujeitas aos postos tarifários, que

possui diferentes tarifas para os chamados horário de Ponta, horário de pico na demanda energética (aqui em Pernambuco é das 18-21h) e o horário Fora de Ponta, quando a demanda volta a diminuir.

Esse levantamento de dados energético permitiu que uma análise fosse feita com relação ao consumo de energia ao longo do ano, dos meses e ao longo do dia. As Tabelas 1 e 2 detalham o consumo energético das SE 1 e 2 , respectivamente, ao longo do ano de 2024.

Tabela 1 – Consumo Energético DEN – SE 1 – 2024

MÊS DE CONSUMO	Total consumo ativo (kWh)	Demanda Cont. (kW)	Valor total calculado (R\$)	Valor total com Trib. Fed (R\$)
jan/24	14.863,24	75,00	R\$ 11.693,29	R\$ 12.504,52
fev/24	13.528,69	75,00	R\$ 10.857,19	R\$ 11.623,37
mar/24	15.446,26	75,00	R\$ 11.771,16	R\$ 12.586,92
abr/24	15.756,79	75,00	R\$ 12.188,07	R\$ 13.030,22
mai/24	14.227,82	75,00	R\$ 10.920,50	R\$ 11.683,13
jun/24	11.492,71	75,00	R\$ 9.515,81	R\$ 10.192,58
jul/24	11.654,25	75,00	R\$ 9.862,68	R\$ 10.559,74
ago/24	12.144,04	75,00	R\$ 9.832,37	R\$ 10.527,97
set/24	13.570,59	75,00	R\$ 11.432,57	R\$ 12.223,79
out/24	16.982,86	75,00	R\$ 19.855,88	R\$ 21.390,06
nov/24	16.632,88	75,00	R\$ 13.002,03	R\$ 13.898,43
dez/24	15.007,80	75,00	R\$ 11.856,33	R\$ 12.689,78

Fonte: Dados fornecidos pelo SINFRÁ e planilha elaborada pela autora

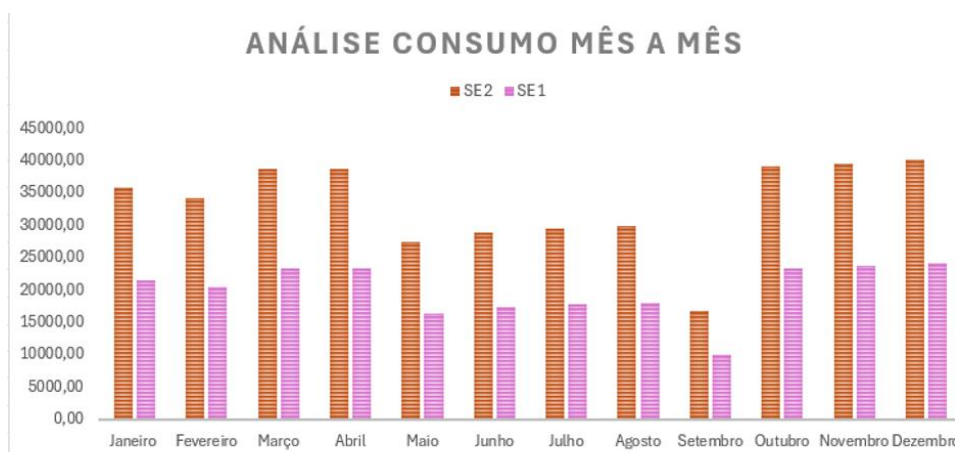
Tabela 2 – Consumo Energético DEN – SE 2 – 2024

MÊS DE CONSUMO	Total consumo ativo (kWh)	Demanda Cont. (kW)	Valor total calculado (R\$)	Valor total com Trib. Fed (R\$)
jan/24	21.737,95	165,00	R\$ 19.078,78	R\$ 20.454,83
fev/24	21.467,84	165,00	R\$ 18.933,32	R\$ 20.312,38
mar/24	24.206,83	165,00	R\$ 20.395,70	R\$ 21.852,44
abr/24	24.251,17	165,00	R\$ 20.718,36	R\$ 22.196,69
mai/24	20.552,31	165,00	R\$ 17.171,90	R\$ 18.427,94
jun/24	17.974,88	165,00	R\$ 16.342,73	R\$ 17.549,96
jul/24	18.587,35	165,00	R\$ 17.355,60	R\$ 18.622,89
ago/24	18.509,16	165,00	R\$ 16.590,59	R\$ 17.950,40
set/24	17.144,81	165,00	R\$ 16.538,19	R\$ 17.749,84
out/24	22.969,38	165,00	R\$ 21.669,35	R\$ 23.206,42
nov/24	23.912,49	165,00	R\$ 20.211,37	R\$ 21.663,30
dez/24	26.034,17	165,00	R\$ 21.574,22	R\$ 23.121,07

Fonte: Dados fornecidos pelo SINFRÁ e planilha elaborada pela autora

Realizando o somatório do consumo energético das duas subestações, chegamos ao consumo total do DEN em 2024 que foi de 424.656,27 kWh, o qual resultou em um gasto de R\$ 396.018,67 (valor com tributação inclusa). A análise de consumo mês a mês do departamento por subestação está ilustrada graficamente na Figura 5.

Figura 5 - Análise de consumo mês a mês por subestação

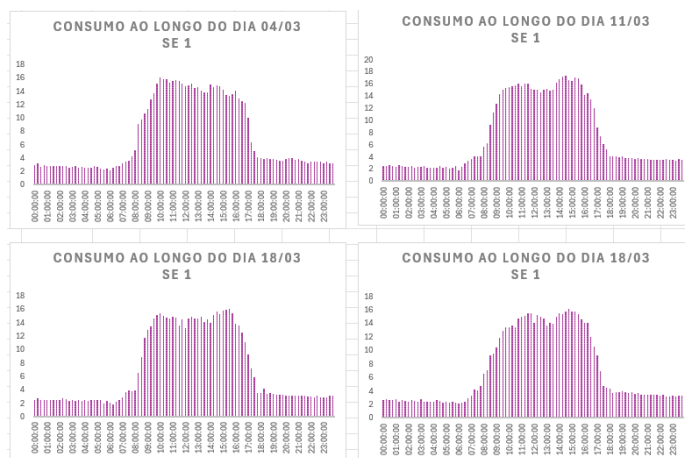


Fonte: Elaborado pela autora

É importante pontuar que durante os meses de julho e novembro de 2024 foram aplicadas a tarifa amarela, e em setembro e outubro a tarifa vermelha. Essas sinalizações refletem o cenário de baixa capacidade de geração de energia elétrica no país, associado ao possível acionamento de usinas termelétricas, que possuem custo de operação mais elevado. Como consequência, os preços da energia elétrica fornecida pela Neoenergia Pernambuco tornaram-se mais altos nesse período.

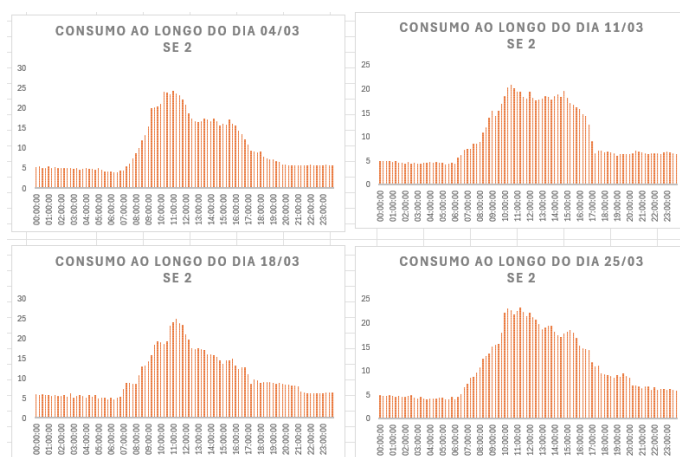
Foi selecionado o mês de março como mês arbitrário para análise de consumo. Esta escolha feita por ser um período em que geralmente funcionam as atividades letivas. Para fazer uma análise diária do consumo, foram analisadas as 4 segundas-feiras do mês em cada subestação, foram elas os dias 04/03/2024, 11/03/2024, 18/03/2024 e 25/03/2024. As Figuras 6 e 7 ilustram graficamente o consumo nas 4 segundas feiras do mês de Março de 2024.

Figura 6 – Gráficos de consumo nas segundas-feiras do mês de março de 2024 - SE 1



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 7– Gráficos de consumo nas segundas-feiras do mês de março de 2024 - SE 2



Fonte: Elaborado pela autora

Analisando os gráficos expostos acima, conseguimos observar que:

- Para a SE 1:
 - O consumo começa a subir entre 6h e 7h, atinge o pico entre 10h e 15h, e depois começa a cair gradualmente até 18h-19h;
 - Durante a madrugada e no período noturno (21h–5h), o consumo é mínimo e estável, indicando baixo uso de cargas fora do horário de expediente;
- Para a SE 2:
 - Consumo começa a subir por volta das 6h e 7h, com pico mais prolongado, geralmente entre 9h e 16h;

- A curva de queda é mais suave do que na SE 1, com consumo significativo ainda ativo até 20h ou mais;

Como já esperado o horário de consumo de energia se adequa ao horário comercial, ou seja, o horário que tem mais pessoas circulando no departamento.

4.4 Retrofit

Retrofit é um termo utilizado para se referir a modernização ou revitalização de estruturas, sistemas ou equipamentos antigos, incorporando novas tecnologias para melhorar sua funcionalidade sem a necessidade de uma reconstrução completa. Essa prática visa prolongar a vida útil dos edifícios e melhorar a eficiência energética ao mesmo tempo que proporciona um maior conforto. Um edifício típico pode reduzir o consumo de energia em até 15% por meio de medidas mais simples de *retrofit*, e em mais de 45% com intervenções mais robustas” (ALTENERGYMAG, 2015).

Segundo o Edital do PROCEL, a proposta deve conter alterações em pelo menos dois dos seguintes sistemas da edificação:

- a) Envoltória;
- b) Condicionamento de ar;
- c) Iluminação;
- d) Aquecimento de água.

Foi informado pela chefia do Departamento de Energia Nuclear que recentemente foram trocadas todas as lâmpadas do prédio por lâmpadas LED e que não há necessidade de aquecimento de água no banheiro. Logo, foram propostas neste trabalho intervenções na envoltória da edificação e no sistema de condicionamento de ar. A partir de visitas, foi possível constatar que se trata de uma estrutura antiga, com cobertura composta por telhas em avançado estado de deterioração e equipamentos de climatização obsoletos, muitos dos quais operam com baixo desempenho energético e apresentam falhas recorrentes de funcionamento.

Dessa forma, as melhorias na envoltória térmica somadas à substituição dos aparelhos de ar-condicionado por modelos mais eficientes, foram escolhidas visando reduzir significativamente o consumo de energia elétrica e proporcionar melhores condições de conforto térmico para os usuários.

4.4.1 Modernização do Revestimento dos Telhados

Após ter sido analisado o perfil de consumo energético do departamento, um estudo foi realizado para a substituição do seu atual sistema de cobertura. O Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco é localizado em Recife–PE, região que pertence à Zona Bioclimática 8 do Brasil e apresenta clima quente e úmido ao longo de praticamente todo o ano, com temperaturas médias mensais altas e elevado índice de radiação solar, de acordo com informações apresentadas pela Agência Pernambucana de Águas e Climas. As condições climáticas intensificam o ganho de calor pela cobertura, elevando a temperatura interna das salas e ampliando a demanda por resfriamento artificial. As atividades desenvolvidas no departamento, especialmente em alguns laboratórios, contam com a necessidade de refrigeração adequada. Em visita feita ao departamento e conversando com as chefias de algumas salas, foi observado que existem equipamentos de refrigeração que devem ficar ligados por 24h, sem pausa.

Para esta primeira etapa de proposta de *retrofit* na envoltória do telhado, foi feita uma análise no revestimento. Atualmente, a cobertura do departamento, analisando a Figura 8, é composta por, majoritariamente, telhas de fibrocimento. Ainda podemos observar que a maior parte do departamento apresenta cobertura com telhado escuro, com exceção das duas áreas destacadas em amarelo. Esse tipo de cobertura tende a absorver maior quantidade de radiação solar, contribuindo para o aumento da temperatura superficial e, consequentemente, para o ganho de calor no interior da edificação (Funes et al., 2023).

Figura 8 – Imagem de satélite Departamento de Energia Nuclear, áreas excluídas do estudo destacadas em rosa



Fonte: GOOGLE EARTH. 2025. Acesso em: 10 ago. 2025

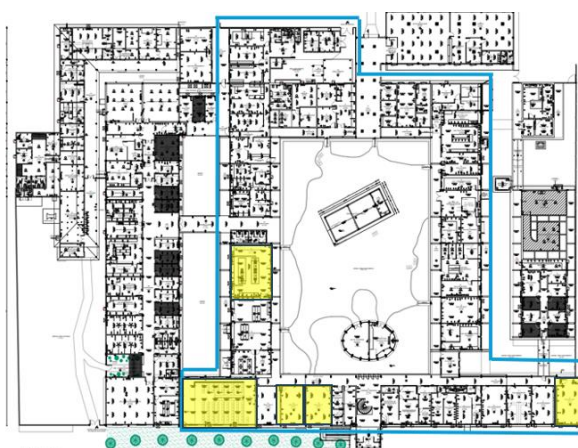
Com base nas observações feitas através da visita e tendo posse da planta baixa, foi calculada a área total do departamento coberta que o estudo admitiu para ser submetida ao *retrofit*. Foi excluída a área destacada em rosa na Figura 8, por ter passado por uma reforma recente. Neste projeto de retrofit, foi proposta a substituição do atual sistema de cobertura de telhas de fibrocimento por telhas termoacústicas de aço galvalume com núcleo de isolamento em EPS (poliestireno expandido). Essa mudança proporciona melhor desempenho térmico porque o aço galvalume reflete uma parcela maior da radiação solar, reduzindo a absorção de calor, enquanto o EPS atua como uma barreira isolante, dificultando a transferência de calor para o interior do edifício. Dessa forma, há uma diminuição significativa do ganho de calor pela cobertura, contribuindo para ambientes internos mais confortáveis e menor demanda por sistemas de climatização. A telha galvalume possui propriedades de alta durabilidade, resistência à corrosão e leveza estrutural, sendo especialmente adequada ao clima quente e úmido de Recife –PE. Quando associada à aplicação de tinta refletiva, sua superfície pode reduzir significativamente a absorção de calor, contribuindo para a diminuição da carga térmica sobre a edificação (Synnefa et al.,

2007). A aplicação de revestimentos frios resulta em temperaturas superficiais mais baixas nas edificações, o que leva a uma menor demanda por resfriamento artificial (Pereira, 2014). A área analisada para a reforma da cobertura do DEN foi de 3.551,22m². A partir de uma planilha fornecida pelo SIPAC, uma planilha analítica do orçamento de uma obra de reforma da coberta do Centro de Artes e Comunicação da UFPE (PLANILHA Nº PLANILHA/2022 - DPP 11.02.04), foi possível replicar os principais gastos da obra para fazer uma planilha orçamentária base para a troca de revestimento do DEN. Para estimar o custo da mão de obra utilizada na reforma foi estimado um custo médio de 100 reais por metro quadrado. Esse valor foi estimado com base na análise de planilhas orçamentárias para troca de revestimento do telhado de outras instituições.

4.4.2 Avaliação do sistema de climatização

Uma visita técnica foi realizada ao departamento para levantamento de dados sobre os equipamentos e análise de suas condições atuais foi realizada para analisar os equipamentos de refrigeração de maior consumo no departamento. A Figura 9 apresenta a área utilizada como objeto de estudo que foi destaca em azul.

Figura 9 – Espaços escolhidos para trocas de equipamentos de condicionamento de ar circulados em azul e salas com equipamento de maior consumo destacadas em amarelo na planta do Departamento de Energia Nuclear da UFPE



Fonte: Elaborado pela autora

Com esse levantamento, foi possível observar as salas que apresentavam equipamentos de refrigeração com maior potência e maior consumo, estando elas em destaque em amarelo na Figura 9. Esses dados foram importantes para que, após a

implantação do *retrofit* proposto no item 4.4.1 deste trabalho, fosse feita uma análise para saber se o dimensionamento do sistema de refrigeração dessas áreas estava correto. A Tabela 3 apresenta as áreas com maior carga de refrigeração de acordo com a planta baixa disponibilizada.

Tabela 3 – Salas com equipamentos que possuem maior capacidade de refrigeração nominal instalada na área de estudo selecionada no DEN

Ambientes do DEN	Quantidade de equipamentos de ar condicionados	Tipo	Capacidade Térmica (BTU/h)	Modelo	Consumo (kW/h)
Sala de Aula 1	1	Split	48000	PEFI48B2N C	4,2
Sala de Aula 2	1	Split	48000	PEFI48B2N C	4,2
Auditório	3	Split	58000	42MPCA60 M5	4,5
Laboratório - LABEMA PT 3	1	Split	36000	PAFI36B2N A	3,5
	1	Split	12000	TSNC122T MA0	1,09
Sala de Aula 4	1	Split	36000	42XQD0365 15LC	3,5

Fonte: Elaborada pela autora com base no datasheet dos equipamentos

Sabendo as dependências do DEN que apresentam equipamentos com maior potência de refrigeração instalada, foi feito um comparativo entre o cálculo de carga térmica antes e depois da possível troca de cobertura. Esse cálculo é o primeiro passo para realizar o dimensionamento eficiente de um sistema de refrigeração (CREDER, 2004). A metodologia adotada para obtenção da carga térmica baseou-se em Oliveira (2023).

Primeiramente, foram definidas algumas premissas:

- Para que haja conforto, as condições interiores foram definidas conforme recomenda a NBR 16401-3, 24°C como temperatura interna desejada;
- Foram adotados 35 °C como temperatura externa de projeto e umidade, para atender uma altíssima solicitação de temperatura, podendo garantir que o

sistema de ar-condicionado atenda à todas as temperaturas num período letivo. Para adotar essa referência, foram consideradas médias climatológicas do INMET para o período de 1991-2020 no Recife-PE. A temperatura máxima recorde histórica alcançou 35,1 °C. Não foram encontrados dados mais atuais.

- Foi considerado um fator solar de 0,95 para os vidros das janelas do departamento.

Para comparar a quantidade de calor gerada internamente nas salas analisadas nesta etapa do estudo, antes e após o *retrofit*, foram aplicados princípios descritos por Stoecker e Jones (1985). Foram desconsiderados os ganhos de calor por iluminação (por todas as lâmpadas já serem LED), por equipamentos (se considerou que não havia dados disponíveis) e por infiltração (por estimar que as vedações dos ambientes estavam em boas condições). As especificações dos equipamentos apresentadas pela Tabela 4, forneceram os dados necessários para a realização dos cálculos da carga térmica de resfriamento dos ambientes do departamento. Esses e outros dados utilizados para os cálculos foram fornecidos pelas tabelas no ANEXO I, ANEXO II, ANEXO III e ANEXO IV.

Tabela 4 - Propriedades térmicas empregadas para cálculo da carga térmica

Componente	Descrição	Fatores
Telhado	Laje emassada com pintura clara + telha	2,06 W/ m ² °C
	Forro PVC + telha	1,76 W/ m ² °C
	Forro gesso + telha	1,95 W/ m ² °C
Paredes externas	Alvenaria, cor clara	2,02 W/ m ² °C
Portas	Vidro	5,6 W/ m ² °C
	Madeira	0,25 W/ m ² °C
Janelas	Alumínio e vidro	6,2 W/ m ² °C
	Ferro e vidro	7,01 W/ m ² °C
	Vidro	6,2 W/ m ² °C
Calor fornecido por pessoas	Estado de relaxamento	115 W

Fonte: Desenvolvido pela autora, adaptado da norma ABNT 15220 – 3

Em visitas ao departamento foram feitas as medições necessárias para os cálculos da carga térmica das salas. Foi utilizada uma trena para realizar as medições das paredes expostas ao sol e das janelas de cada sala. Além disso, foi feita uma pesquisa com os responsáveis por cada sala para se fazer a estimativa da quantidade de pessoas. Então, utilizando das equações (1) e (3) presentes no tópico 2.4, e dos anexos ANEXO I, ANEXO II, ANEXO III e ANEXO IV, foi possível estimar a quantidade de refrigeração necessária para os ambientes analisados.

4.4.3 Modernização no Condicionamento de ar

Outra modernização importante para a melhoria da eficiência energética do departamento é a troca dos condicionadores ar por versões mais eficientes. Algumas imagens do relatório fotográfico feito em visita ao DEN estão expostas abaixo.

Figura 10 – Ar condicionado - Laboratório de Proteção Radiológica



Fonte: Registro feito pela autora

Figura 11 – Ar condicionado - Laboratório de Apoio a Sistemas Computacionais



Fonte: Registro feito pela autora

As máquinas expostas nas Figuras 10 e 11 foram as que apresentaram condições mais precárias de funcionamento, mas a grande maioria se apresentava de

forma parecida, com visível falta de manutenção devida. Diversas unidades apresentavam falhas no sistema de refrigeração e ocorrência de goteiras, cujos efeitos já comprometem a infraestrutura do ambiente. Como é possível observar ainda nas imagens, as infiltrações têm causado umidade excessiva nas paredes, favorecendo a formação de fungos e representando risco tanto à durabilidade da edificação quanto à saúde dos ocupantes. Foram realizados registros fotográficos de 37 equipamentos condicionadores de ar onde alguns não funcionavam ou não apresentavam informativo de modelo. Tais registros podem ser encontrados no “Apêndice I – Registros fotográficos dos equipamentos de ar condicionado do DEN”.

Devido às altas temperaturas enfrentadas na localidade do DEN (Recife, PE), os equipamentos de refrigeração são de vital importância para o bom funcionamento do edifício e o exercício das atividades nele realizadas. Principalmente por ser um centro de diversas pesquisas com materiais que necessitam de refrigeração específica, outra proposta de *retrofit* estudada nesse trabalho foi a troca de todos os ar condicionados alocados nas salas circuladas em azul na Figura 9 na seção 4.4.2 deste trabalho. Para as salas que estavam com superdimensionamento das máquinas, foram propostas mudanças na potência nominal dos aparelhos. Foi aplicada uma economia de 5% na necessidade de refrigeração das demais salas para que sejam feitas as sugestões devidas considerando que já foi realizado o retrofit no telhado. Na tabela que consta como “Apêndice II - Contagem Condicionadores de Ar - DEN” estão listadas todas as salas e seus devidos equipamentos, como também as trocas sugeridas. Alguns modelos não foram possíveis de serem identificados devido as condições de uso das máquinas. A sugestão de troca dos equipamentos foi feita escolhendo aparelhos com tecnologia “Inverter”, que são os mais eficientes do mercado que possuem selo Procel A de eficiência. O Selo Procel A nos aparelhos de ar-condicionado significa que aquele modelo está entre os mais eficientes em consumo de energia dentro da sua categoria, segundo os critérios do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) e do Inmetro (INMETRO, 2023).

A Tabela 5 apresenta os equipamentos sugeridos para troca e a quantidade necessária de cada um.

Tabela 5 - Troca sugerida de equipamentos de ar condicionado

Modelo substituto	Capacidade Térmica (BTU/h)	Preço médio	Consumo elétrico (kW/h)	Quantidade	Valor da troca
LG Dual Inverter Voice	24.000	R\$ 4.500,00	0,8	18	R\$ 81.000,00
LG Dual Inverter Voice	12.000	R\$ 3.200,00	0,8	20	R\$ 64.000,00
LG Inverter	36.000	R\$ 6.800,00	2	1	R\$ 6.800,00
Samsung WindFree Digital Inverter	30.000	R\$ 5.900,00	1,8	2	R\$ 11.800,00
Samsung WindFree Inverter	18.000	R\$ 3.800,00	1	6	R\$ 22.800,00

Fonte: Desenvolvido pela autora

Para a realização do cálculo da economia energética obtida após a troca desses equipamentos foi estimado:

- Uso diário de 12h totais dos equipamentos;
- Utilização apenas de segunda a sexta, contabilizando 20 dias no mês;
- Uso dos aparelhos em sua máxima potência para estudo do pior cenário.

4.5 Estimativa simplificada do Sistema de geração Fotovoltaica

Para atendimento do edital, o Sistema de Geração Fotovoltaica deve ser responsável por no mínimo 60% e no máximo 80% da redução total do consumo de energia elétrica anual fornecida pela distribuidora após a conclusão do *retrofit*. Para abater o consumo remanescente de energia após a implantação das medidas de eficiência energética propostas, foi feita uma análise preliminar do dimensionamento do sistema fotovoltaico, onde foram consideradas as características a seguir:

- A demanda energética estimada do DEN anual após implementação das medidas de eficiência energética;

- Uma estrutura no solo com inclinação de 10° , angulação indicada como ótima considerando a latitude de Recife – PE;
- Os dados de irradiação diária média do ano de 2024, coletados pela estação solarimétrica do Centro de Energias Renováveis

Primeiramente foi realizada uma consulta com o técnico do Centro de Energias Renováveis (CER) da UFPE para que fosse feita a coleta dos dados de irradiação solar diária média no ano de 2024. Os dados foram retirados da estação solarimétrica do CER. A Figura 11 mostra os dados coletados.

Figura 12 - Dados de Irradiação Solar Diária Média pela estação do CER

Mês	GHI (W/m ²)	Irradiação diária média (kWh/m ² .dia)
Jan	243.45	5.84
Fev	234.11	5.62
Mar	235.75	5.66
Abr	215.36	5.17
Mai	188.38	4.52
Jun	175.78	4.22
Jul	179.40	4.30
Ago	205.54	4.93
Set	225.12	5.40
Out	258.37	6.20
Nov	268.37	6.44
Dez	254.47	6.11

Fonte: Dados disponibilizados pelo técnico responsável pela coleta de dados do CER

Então, de posse desses dados, foi calculada uma média para a irradiação diária anual somando a irradiação diária média de todos os meses e dividindo por 12. A irradiação diária média calculada com base nos dados fornecidos pela estação solarimétrica do CER no ano de 2024, foi de 5,37 kWh/m².dia.

Com os dados de consumo energético do DEN em 2024, foi possível estimar o consumo anual com a economia de 38% estimada com a implementação das medidas de eficiência energética, esses dados estão descritos na Tabela 6. Foi feita a análise de consumo no período de ponta e fora ponta.

Tabela 6: Estimativa do consumo energético do DEN em 2024 após implementação das Medidas de Eficiência Energética

Meses	Consumo Ponta	Consumo Fora-Ponta
Janeiro	1560	21132
Fevereiro	1418	20280
Março	1586	22998
Abril	1690	23115
Mai	1227	20337
Junho	1306	16964
Julho	1482	17268
Agosto	1374	17631
Setembro	1345	17699
Outubro	1725	23045
Novembro	1520	23618
Dezembro	1846	23600
Consumo (KWH/ano):	18078	247688
Consumo Médio (KWH/mês)	1506,50	20640,67

Fonte: Desenvolvido pela autora

Foi feita uma planilha no Excel para que fosse calculada a geração necessária anual do departamento a ser abastecida pelo sistema fotovoltaico. O consumo mensal total é a soma do consumo mensal médio nos períodos de ponta e fora ponta. Para esse cálculo foram utilizadas as equações:

$$Geração\ Necessária = Consumo_{mensal\ total} * Fator\ de\ Correção \quad (5)$$

Onde:

$$Fator\ de\ Correção = \frac{TE_{Ponta}}{TE_{Fora\ Ponta}} \quad (6)$$

Onde:

- TE_{Ponta} : é a média das tarifas de energia no período de Ponta aplicadas ao DEN em 2024, conforme dados fornecidos do departamento pela SINFRA
- $TE_{Fora Ponta}$: é a média das tarifas de energia no período Fora Ponta aplicadas ao DEN em 2024, conforme dados fornecidos do departamento pelo SINFRA

Com a geração necessária mensal, foi possível dimensionar a potência escolhida em kWp para o sistema. A potência estimada foi calculada de acordo com a equação 7.

$$P_{estimada} = \frac{\text{Geração Mensal Necessária}}{\left(\frac{\text{Taxa de desempenho}}{100}\right) * 30 * \text{Irradiação média diária anual}} \quad (7)$$

Já a potência escolhida foi calculada através da equação 8.

$$P_{escolhida} = \frac{\text{Potência dos Módulos} * \text{Quantidade de módulos}}{1000} \quad (8)$$

Além disso, a fim de evitar eventuais falhas na geração da usina, acrescentou-se uma margem de 10% sobre o valor estimado, garantindo maior segurança no abastecimento. Foi adotada uma taxa de desempenho do sistema de 80% (conforme consta no edital do Procel) e escolhidos módulos HJT de 700W para compor o sistema. Os módulos HJT, tecnologia de heterojunção, proporcionam eficiências frequentemente acima de 22%, reduzida degradação ao longo do tempo e coeficiente térmico de aproximadamente $-0,24 \frac{\%}{^{\circ}\text{C}}$, características que os tornam particularmente adequados para climas quentes, como o de Recife (CANALSOLAR, 2025). Então, foi utilizado a plataforma Azume para realização do dimensionamento do sistema fotovoltaico e para fazer uma análise econômica inicial. A plataforma Azume é um gerador de propostas comerciais especializado para o setor de energia solar. Neste estudo, a análise econômica foi desenvolvida com base na proposta técnica e comercial apresentada pela plataforma Azume, que contempla o fornecimento e a instalação de um sistema fotovoltaico no valor de R\$ 488.333,80, incluindo módulos HJT de alta eficiência, inversores de 75 kW e demais serviços de engenharia e instalação necessários à operação do sistema. A economia anual estimada para o primeiro ano de operação foi projetada em R\$ 177.942,48, considerando um fator de

desempenho do sistema de 80% e a tarifa de energia elétrica calculada com base nas tarifas de Ponta e Fora Ponta aplicadas ao departamento no ano de 2024. Para avaliar a viabilidade do investimento, foram estabelecidas as seguintes premissas: vida útil de 25 anos, taxa média de reajuste tarifário de 11% ao ano, taxa de degradação dos módulos de 0,50% ao ano e custos de operação e manutenção correspondentes a 1% do investimento inicial, aplicados anualmente. Essas hipóteses estão em concordância com as recomendações de estudos técnicos e com práticas de mercado, uma vez que a literatura especializada aponta que módulos HJT apresentam taxas de degradação mais baixas em comparação com módulos de silício cristalino convencionais (CANALSOLAR, 2025). O método utilizado para análise foi baseado em métricas clássicas aprendidas na disciplina de Engenharia Econômica, são elas: o cálculo do Payback simples, da Taxa Interna de Retorno (TIR) e do Valor Presente Líquido (VPL). O payback simples corresponde ao tempo necessário para que a economia acumulada compense o investimento inicial, desconsiderando o valor do dinheiro no tempo. A TIR, por sua vez, é a taxa de desconto que torna nulo o valor presente líquido do fluxo de caixa do projeto, sendo um indicador da atratividade do investimento. Já o VPL representa a soma dos fluxos de caixa descontados ao longo da vida útil, permitindo avaliar o retorno líquido em valores presentes, considerando taxas de desconto específicas (VANNUCCI, 2013).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Impactos da proposta de *retrofit* da envoltória

O investimento estimado para a execução da troca da cobertura foi de R\$ 2.198.154,88. A tabela 7 abaixo descreve a proposta elaborada para o departamento.

Tabela 7: Planilha orçamentária troca da coberta do DEN

DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	UNIDADE	QTD	CUSTO (R\$/unidade)	CUSTO TOTAL
Locação de máquinas	-	-	-	R\$ 15.000,00
Remoção de: forros PVC, telhas de fibrocimento e cerâmica	m²	3551,22	3,7	R\$ 13.139,51
Destinação final de resíduos da construção civil em usina de reciclagem licenciada (ctr) - entulho	ton	3551,22	45	R\$ 1.598,05
Recuperação estrutural	m²	3551,22	40,22129944	R\$ 142.834,68
Cobertura	m²	3551,22	403,1381384	R\$ 1.431.632,22
Alvenaria	m²	3551,22	33,94980135	R\$ 120.563,21
Impermeabilização e proteção mecânica	m²	3551,22	65,21773158	R\$ 231.602,51
Revestimento	m²	3551,22	4,765207143	R\$ 16.922,30
Forros	m²	3551,22	55,81975628	R\$ 198.228,23
Pintura com tinta reflexiva	m²	3551,22	7,5	R\$ 26.634,15
Mão de obra	m²	3551,22	100	R\$ 355.122
			total de investimento:	R\$ 2.553.276,88

Fonte: Elaborado pela autora

Tendo sido destacadas na Figura 9, apresentada no item 4.4.2, as salas com equipamentos de maior consumo de refrigeração, foram feitas as análises de carga

térmica descritas abaixo para avaliar o impacto da troca do revestimento da envoltória do telhado. Foram realizadas as simulações para duas situações: antes e após a implementação do *retrofit*. Os cálculos foram feitos com base no estudo realizado por Lucas Andrade citado na parte de conceitos preliminares dessa monografia. Para realização dos cálculos também foram usadas as equações expostas no tópico 2.6. Foi calculado o fluxo de calor fornecido pelo telhado, pelas paredes, pelas portas, pelas janelas e por pessoas. As medições das janelas e portas foram feitas em visitas com o auxílio de uma trena, as demais informações foram retiradas da planta baixa fornecida pela chefia do departamento. As tabelas 8, 9, 10, 11, 12 e 13 descrevem o ganho de calor pelas superfícies e também pelas pessoas.

a) Ganho de calor através do telhado (W)

Tabela 8 - Ganho de calor através do telhado

Compartimento do DEN	Área das salas (m²)	Revestimento do teto atual	Coefficiente global de transferência de calor (W/m²C)	Fluxo de calor (W)
Sala de Aula 1	36,67	Laje emassada com pintura branca (sem forro)	2,06	830,9422
Sala de Aula 2	36,55	Laje emassada com pintura branca (sem forro)	2,06	828,223
Auditório	138,59	Forro estruturado em placas de gesso acartonado 0,6x1,20	1,95	2972,7555
Laboratório - LABEMA PT 3	82,01	Forro de PVC (20cm) branco	1,76	1587,7136
Sala de Aula 4	43,65	Laje emassada com pintura branca (sem forro)	2,06	989,109

Fonte: Desenvolvido pela autora

b) Ganho de calor através das paredes

Tabela 9 - Ganho de calor através do telhado

Compartimento do DEN	Área das paredes externas	pé direito	Coeficiente global de transferência de calor (W/m²C) para paredes externas leves	Fluxo de calor (W)
Sala de Aula 1	13,85	2,77	2,02	852,45919
Sala de Aula 2	13,85	2,77	2,02	852,45919
Auditório	36,12	2,58	2,02	2070,672912
Laboratório - LABEMA PT 3	27,3	2,73	2,02	1656,03438
Sala de Aula 4	54	2,75	2,02	3299,67

Fonte: Desenvolvido pela autora

c) Ganho de calor através das portas

Tabela 10 - Ganho de calor através das portas

Compartimento do DEN	Material das portas	Largura (m)	Altura (m)	Coeficiente global de transferência de calor (W/m²C)	Fluxo de calor (W)
Sala de Aula 1	madeira	0,90	2,10	0,25	5,20
Sala de Aula 2	madeira	0,90	2,10	0,25	5,20
Auditório	madeira	1,20	2,10	0,25	6,93
Laboratório - LABEMA PT 3	vidro	1,45	2,00	5,60	178,64
Sala de Aula 4	madeira	0,90	2,10	0,25	5,20

Fonte: Desenvolvido pela autora

d) Ganho de calor através das janelas

Tabela 11 - Ganho de calor através das janelas

Compartimento do DEN	Material das janelas	Coeficiente global de transferência de calor (W/m ² °C)	QTD janelas	Largura (m)	Altura (m)	Fluxo de calor (W)
Sala de Aula 1	alumínio e vidro	6,232	1	2	1	149,568
Sala de Aula 2	aluminio e vidro	6,232	1	2	1	149,568
Auditório	aluminio e vidro	6,232	5	2	1	747,84
Laboratório - LABEMA PT 3	ferro e vidro	6,232	4	2	1,53	1098,128256
	vidro	6,232	1	2,6	0,94	
Sala de Aula 4	aluminio e vidro	6,232	2	2	1	299,136

Fonte: Desenvolvido pela autora

e) Ganho de calor pela presença de pessoas

Tabela 12 - Ganho de calor pelas pessoas

Compartimento do DEN	Quantidade de pessoas	Fatores	Fluxo de calor (W)
Sala de Aula 1	15	115	1725
Sala de Aula 2	15	115	1725
Auditório	50	115	5750
Laboratório - LABEMA PT 3	5	115	575
Sala de Aula 4	15	115	1725

Fonte: Desenvolvido pela autora

f) Ganho de calor pelo telhado com a aplicação do retrofit

Tabela 13 - Ganho de calor pelo telhado com a aplicação do retrofit

Compartimento do DEN	Área das salas (m²)	Revestimento do teto atual	Coefficiente global de transferência de calor (W/m²°C)	Fluxo de calor após RETROFIT (W)
Sala de Aula 1	36,67	Laje emassada com pintura branca (sem forro)	1,54	621,1898
Sala de Aula 2	36,55	Laje emassada com pintura branca (sem forro)	1,54	619,157
Auditório	138,59	Forro estruturado em placas de gesso acartonado 0,6x1,20	1,54	2347,7146
Laboratório - LABEMA PT 3	82,01	Forro de PVC (20cm) branco	1,54	1389,2494
Sala de Aula 4	43,65	Laje emassada com pintura branca (sem forro)	1,54	739,431

Fonte: Desenvolvido pela autora

Somando todos os ganhos de calor expostos acima, chegamos à Tabela 14, que detalha a comparação do ganho de calor antes e após o retrofit.

Tabela 14 - Ganho de calor total por ambiente antes e após retrofit

Compartimento do DEN	Fluxo de calor pelo telhado ATUAL (W)	Fluxo de calor pelo telhado após RETROFIT (W)	Redução no ganho de calor (%)
Sala de Aula 1	3326,20	3116,45	6%
Sala de Aula 2	3323,48	3114,42	6%
Auditório	10922,18	10297,14	6%
Laboratório - LABEMA PT 3	4652,69	4454,23	4%
Sala de Aula 4	3873,91	3624,23	6%

Fonte: Desenvolvido pela autora

Além disso, ao compararmos o resultado exposto na Tabela 14 com a potência dos ar-condicionados instalados nas salas apresentadas na Tabela 3, foi possível concluir que os equipamentos estão superdimensionados e, em consequência, gastam mais energia elétrica. Isso demonstra uma ineficiência energética enfrentada pelo departamento. O resultado está exposto na Tabela 15, foi utilizado para realizar o cálculo a aproximação: $1\text{BTU/h} = 3,412\text{ W}$.

Tabela 15 - Superdimensionamento atual dos equipamentos instalados

Compartimento do DEN	Total atual instalados (BTU/h)	Capacidade de refrigeração necessária (BTU/h) ATUAL	Excesso de refrigeração % ATUAL
Sala de Aula 1	48000	12105,50	397%
Sala de Aula 2	48000	12096,22	397%
Auditório	174000	39154,84	444%
Laboratório - LABEMA PT 3	48000	17417,92	276%
Sala de Aula 4	36000	13210,04	168%

Fonte: Desenvolvido pela autora

Foi possível analisar que com a substituição do revestimento do telhado, reduzindo o calor gerado internamente, chegamos a uma redução no consumo de ar-condicionado em torno de 5%. Além disso, se considerarmos o superdimensionamento dos equipamentos e agirmos nessa frente teremos uma redução ainda maior.

Conseguimos analisar pelo trabalho que a redução da carga térmica promoveu um efeito positivo, mesmo não sendo um valor muito alto, resultando na diminuição da demanda por refrigeração e na melhora do conforto térmico dos usuários. Além disso, ao reduzir a necessidade de operação contínua dos condicionadores de ar, o *retrofit* da envoltória contribui para a redução do consumo elétrico e, consequentemente, dos custos operacionais do prédio

5.2 Proposta de readequação dos equipamentos de climatização

Após a análise do desempenho térmico dos 5 ambientes selecionados, descritos no item 5.1, verificou-se um problema crítico de superdimensionamento dos sistemas de climatização, os equipamentos de ar-condicionado instalados nessas salas possuem capacidade muito superior à carga térmica real do ambiente. Isso resulta em desperdício energético, ciclos de funcionamento ineficientes, maior desgaste dos compressores e queda no desempenho global do sistema. Em alguns casos, como as salas de aula 1 e 2, o superdimensionamento chega a ultrapassar 400%. A Tabela 15 apresenta esse comparativo de forma detalhada, evidenciando o exagero da oferta de refrigeração em razão da demanda. Esse mal dimensionamento dos equipamentos impacta diretamente o consumo de energia elétrica do DEN, além disso, compromete a qualidade do condicionamento térmico. Esses equipamentos muito potentes tendem a operar por períodos curtos e intermitentes, sem tempo suficiente para promover a desumidificação adequada do ar, podendo até favorecer a proliferação de mofo (AIRXPERT, 2024), especialmente num clima úmido como o de Recife. Então, considerando a premissa usada de que a redução média foi de 5% no ganho de calor promovida pela implantação da modernização da envoltória, se tornou ainda mais evidente a ineficiência da capacidade dos equipamentos atuais.

O estudo para a substituição dos equipamentos refrigeração, descrito na Tabela 5, abrangeu 54 equipamentos e representa um investimento estimado de R\$ 186.400,00. Utilizando as premissas descritas em 4.4.3, foi calculado o consumo mensal dos aparelhos atuais instalados e comparados com o consumo total dos novos aparelhos. A economia será de aproximadamente de 13.511,28 kWh/mês, o que equivale a uma economia anual de quase 162.135 kWh/ano. A Tabela 16 demonstra a economia anual esperada com a implementação das medidas de eficiência propostas por esse trabalho. O consumo do DEN estimado após a implementação das medidas de eficiência propostas foi calculado subtraindo a economia anual estimada após o retrofit.

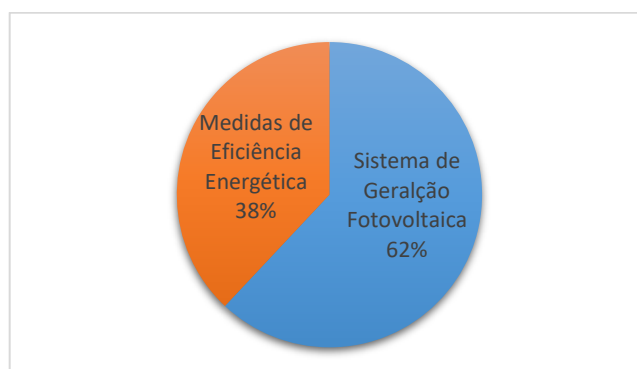
Tabela 16 - Economia anual com a implementação das medidas de eficiência energética

Economia Esperada	
Consumo anual DEN 2024:	431.536,27 kWh/ano
Economia mensal do DEN após implementação das medidas de eficiência energética:	13.511,28 kWh/mes
Economia anual do DEN após implementação das medidas de eficiência energética:	162.135,00 kWh/ano
Consumo anual do DEN estimado após a implantação das medidas de eficiência energética:	269.401,27 kWh/ano
Economia anual %:	38%

Fonte: Desenvolvido pela autora

O Edital, determina que ao menos dois sistemas da edificação devem ser modernizados e que as medidas de eficiência energética respondam por, no mínimo, 15% da economia total do consumo da edificação. A substituição dos condicionadores de ar associada à redução da carga térmica promovida pela nova envoltória, impactaram em uma redução no consumo de energia de até 38%. Então, após aplicadas as medidas propostas nos tópicos detalhados neste trabalho, se observa que o estudo cumpre essa exigência. A Figura 13 demonstra a distribuição da economia gerada pela implementação das medidas de eficiência energética propostas e pela geração fotovoltaica.

Figura 13 – Gráfico da distribuição da economia



Fonte: Elaborado pela autora

5.3 Estimativa simplificada do sistema fotovoltaico e balanço energético final

Com base na metodologia descrita em 4.5 foi elaborada a Tabela 17, onde foi realizado o cálculo da geração necessária para o sistema fotovoltaico.

Tabela 17: Calculo da Geração Necessária Mensal pelo Sistema Fotovoltaico

Consumo Médio / Mensal - Ponta:	1506,504
Consumo Médio / Mensal - Fora Ponta :	20640,67
TE (Fora Ponta):	0,42
TE (Ponta):	0,7
Fator de Correção:	1,666667
Geração Necessária (KWH/Mês):	23151,51

Fonte: 1Elaborado pela autora

Os resultados do dimensionamento foram descritos na tabela 18.

Tabela 18: Cálculo da potência escolhida para o Sistema Fotovoltaico

Módulos (Pmp)	700	W
Taxa de desempenho:	80	%
Potência Estimada:	179,73	KWp
Nº Módulos - Estimado	256,76	Módulos
Nº Módulos - Escolhida	280	Módulos
Potência Escolhida:	196,00	KWp
Inversor Estimado	150	KWp

FONTE: Elaborada pela autora (2025)

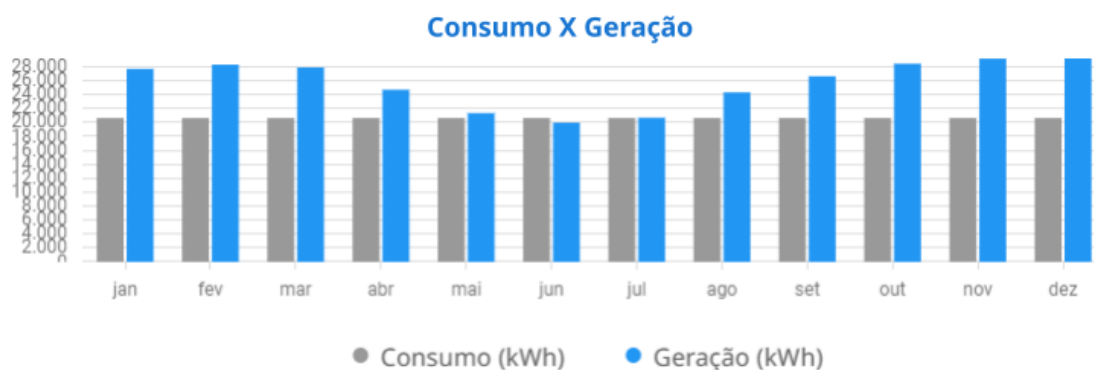
Utilizando a plataforma Azume, foi elaborado um pré-dimensionamento para o sistema fotovoltaico exposto na Tabela 19. A Figura 14 demonstra o comparativo entre o consumo anual esperado e a geração estimada pelo sistema.

Tabela 19: Informações Gerais do Sistema

Potência do sistema:	196,00 kWp
Área mínima requerida:	1.043,73 m ²
Peso distribuído dos módulos:	10,06 kg/m ²
Vida útil do sistema	25 a 35 Anos

Fonte: Plataforma Azume (2025)

Figura 14 - Consumo do departamento VS Geração do sistema fotovoltaico



Fonte: Elaborado pela plataforma Azume (2025)

Com todos os dados obtidos, foi sugerido então que o arranjo do sistema fosse distribuído com 2 inversores de 75.000W, cada um deles com 140 painéis. Os painéis estariam organizados em 10 strings de 12 painéis, onde seriam utilizados 5 mppts e 2 strings com 10 painéis, onde seria utilizado 1 mppt.

O investimento global necessário para a aquisição e instalação do sistema foi calculado em R\$ 488.333,80, valor que contempla tanto os equipamentos principais quanto os serviços associados e encargos adicionais.

5.3.1 Estrutura do Investimento

O investimento foi dividido em três grandes categorias: equipamentos, serviços de projeto e instalação e impostos/comissões. Os módulos fotovoltaicos HJT, por

representarem a maior parcela do custo, constituem o núcleo do investimento em equipamentos. Os serviços inclusos na proposta elaborada pela plataforma foram:

- Vistoria técnica e projeto elétrico do sistema;
- Anotação da responsabilidade técnica (ART) do projeto e instalação;
- Obtenção das licenças junto à concessionária de energia local;
- Montagem dos módulos fotovoltaicos com estruturas apropriadas para o tipo de solo;
- Instalação e montagem elétrica do sistema;
- Gestão, supervisão e fiscalização da Obra de instalação;
- Frete incluso de todos os equipamentos referentes ao sistema;
- Documentação personalizada do projeto fotovoltaico.

A imagem 15 detalha o investimento necessário para implementação do sistema.

Figura 15 - Detalhamento do Investimento necessário

Precificação

Custos Fixos

Kit Fotovoltaico: R\$ 258.983,00

Projeto: R\$ 5.000,00

Instalação: R\$ 19.600,00

Materia CA: R\$ 32.667,32

Custos Variáveis

Impostos: 4,00 % (sobre o valor final) - R\$ 19.533,35

Comissão de vendas: 4,00 % (sobre o valor final) - R\$ 19.533,35

Receitas Variáveis

Margem de Receita: 23,00 % (sobre o valor final) - R\$ 112.316,77

Receita Bruta Adicional

Receita Bruta Adicional: R\$ 30.000,00

Margem de Negociação: R\$ 0,00

Fonte: Elaborado pela plataforma Azume (2025)

A tabela 20 detalha a análise financeira estimada do projeto e da instalação.

Tabela 20: Análise Financeira estimada do projeto

Valor médio mensal da energia após instalação:	9.324,50 R\$/mês
Custo estimado do primeiro ano SEM sistema instalado:	289.836,48 R\$/ano
Custo estimado do primeiro ano COM sistema instalado:	111.894,00 R\$/ano
Economia média mensal estimada no primeiro ano:	14.828,54 R\$/mês
Economia total estimada no primeiro ano:	177.942,48 R\$/ano

Fonte: Elaborado pela autora, dados retirados da proposta elaborada na plataforma Azume (2025)

O payback simples da implementação do sistema fotovoltaico foi calculado com base na economia anual do primeiro ano estimada de R\$ 177.942,48. Considerando os custos de operação e manutenção equivalentes a 1% do investimento, o resultado foi de aproximadamente 2 anos e 7 meses, caracterizando um retorno rápido do capital investido. Os indicadores de atratividade do investimento demonstram elevada viabilidade financeira. A TIR do projeto foi estimada em 46% ao ano, enquanto o VPL apresentou valores expressivos mesmo em taxas de desconto mais elevadas. A tabela 21 demonstra os indicadores de rentabilidade.

Tabela 21: Indicadores de Rentabilidade

Indicador	Valor Estimado	Observação
TIR (%)	46,08	Altamente atrativo
VPL (R\$) a 6%	6.625.286,95	Horizonte de 25 anos
VPL (R\$) a 8%	4.918.469,35	Horizonte de 25 anos
VPL (R\$) a 10%	3.714.039,05	Horizonte de 25 anos

Fonte: Elaborado pela autora

Levando em consideração as características físicas do módulo e a necessidade de área para implementação do sistema fotovoltaico, foi estimado pela plataforma Azume que seria necessária uma área de 1.043,73 m² para a implementação da usina.

Então foi sugerida a área destacada em amarelo mostrada na Figura 16 como local adequado para a implantação do sistema. Essa área compreende aproximadamente 2.594 m², sendo tamanho suficiente para comportar o sistema.

Figura 16 - Área proposta para o Sistema de Geração Fotovoltaica



Fonte: GOOGLE EARTH. 2025. Acesso em: 10 ago. 2025

O local apresenta boas condições de incidência solar, mas não foi considerado o índice de sujidades que essa localização pode apresentar. A sujidade se refere à acumulação de poeira e outros materiais na superfície dos painéis solares, reduzindo a eficiência do sistema na geração de eletricidade. Então, deve ser feita uma análise mais aprofundada junto a chefia da BERSO para se verificar as atividades que lá são realizadas para checar a utilidade deste local. A Figura 17 foi registrada no local sugerido para implementação do sistema fotovoltaico.

Figura 17 - Registro fotográfico da área proposta para instalação do sistema



Fonte: Registro feito pela autora

5.4 Análise do Investimento

Com base em todos os resultados expostos nos pontos acima, foi possível fazer uma análise de viabilidade econômica do projeto através do método do *payback* simples. Para avaliar foram considerados os custos estimados para execução das obras de retrofit da envoltória (cobertura), a substituição dos equipamentos de climatização e o investimento necessário para a implantação do sistema de geração fotovoltaica.

Tabela 22: Investimento Total Estimado

Medidas Propostas	Custo estimado (R\$)
Retrofit da cobertura (telhado + tinta refletiva + forro)	R\$ 2.553.276,88
Troca dos equipamentos de climatização	R\$ 186.400,00
Implantação do sistema fotovoltaico (196 kWp)	R\$ 488.333,80
Investimento estimado do projeto	R\$ 3.228.010,68

Fonte: Elaborado pela autora

É um alto investimento, mas em contrapartida as economias com a implantação das medidas propostas também são altas, sendo elas, utilizando como premissa uma tarifa média de R\$ 1,028/kWh. Essa tarifa foi calculada com base nos dados fornecidos pela SINFR da UFPE. Foi feita uma ponderada das tarifas dos períodos de Ponta e Fora Ponta aplicadas ao DEN nos meses de 2024.

- R\$ 154.028,59 com a modernização dos sistemas de climatização (item 5.4);
- R\$ 177.942,48 R\$ no primeiro ano com a geração própria de energia (considerando um consumo de 269.401,27 kWh/ano (após a economia de 38% com as medidas aplicadas);
- Total da economia anual estimada: R\$ 331.971,07.

Mesmo que o projeto não seja contemplado por editais de incentivo, como a Chamada Pública Procel nº 01/2023, a economia gerada ano a ano, aliada à valorização do imóvel e à redução da dependência da rede elétrica justifica a execução das medidas propostas.

5.5 Discussão de Resultados

Os resultados obtidos neste estudo, tanto em relação à redução do ganho de calor pelo telhado quanto à economia total estimada com a combinação de medidas de *retrofit* e readequação do sistema de climatização, se mostraram consistentes com as evidências apresentadas na literatura. A redução do ganho de calor pelo telhado entre 4% e 6%, conforme simulado neste estudo para os ambientes do Departamento de Energia Nuclear da UFPE, foi compatível com os resultados observados em outras pesquisas que avaliaram intervenções na envoltória de edificações. Embora esse percentual possa parecer modesto isoladamente, ele se refere especificamente ao impacto do *retrofit* sobre o ganho térmico via telhado, o que é coerente com estudos como os de Rios et al. (2017), que verificaram uma economia de 7,1% no consumo mensal de energia elétrica em habitações populares após a pintura branca da cobertura. Já no que se refere à proposta combinada de *retrofit* do telhado com a modernização dos sistemas de climatização, a projeção de redução de até 38% no consumo anual de energia elétrica do edifício também encontra sustentação empírica. Estudos como os de Rodrigues (2021) apontam economias similares, enquanto Bergmann et al. (2024) mostram que a aplicação de Sistemas de Gestão de Energia pode ampliar ainda mais esse potencial. Além disso, a constatação de superdimensionamento de equipamentos de ar-condicionado, em alguns casos acima de 400% da carga térmica real, corrobora as conclusões de Silva (2018), que identificou problemas semelhantes em instituições públicas. Esses dados reforçam a importância de diagnósticos energéticos detalhados e do dimensionamento correto dos sistemas, destacando que as soluções propostas neste trabalho são alinhadas com as práticas consolidadas na literatura sobre eficiência energética em edificações.

6 CONCLUSÃO

O estudo apresentou os benefícios da transformação do DEN em um NZEB por meio da análise integrada de seu perfil de consumo combinando a aplicação de medidas de eficiência energética com um sistema de geração fotovoltaica. A proposta apresentada pelo trabalho trará diversos benefícios como a expressiva redução do consumo energético que aponta uma economia de até 38%, e a possibilidade de

autossuficiência energética, por meio da instalação de um sistema fotovoltaico dimensionado para cobrir a demanda remanescente.

A substituição de equipamentos ineficientes e o *retrofit* da cobertura do telhado não apenas reduzem custos operacionais, mas também melhoram significativamente o conforto térmico dos ambientes e a durabilidade da infraestrutura do edifício. No entanto, o caminho para alcançar esse modelo de excelência ainda encontra desafios consideráveis. O primeiro deles é o alto custo das intervenções, que, embora se mostrem financeiramente vantajosas no longo prazo, dependem de investimentos iniciais significativos. Outro entrave é a deficiência de planejamento e manutenção preventiva nas edificações públicas, que, ao longo do tempo, gera acúmulo de ineficiências técnicas difíceis de reverter sem reformas estruturais. Isso evidencia que iniciativas como a do PROCEL são fundamentais por permitirem que instituições públicas realizem melhorias em eficiência energética com apoio financeiro do Estado. Mesmo na ausência desses incentivos quando analisada a vida útil dos sistemas reforça que se trata de uma solução economicamente viável e atrativa. Além de retorno financeiro direto, é importante considerar os benefícios indiretos e estratégicos, como a redução da exposição à volatilidade tarifária, observado em 2024 com bandeiras amarela e vermelha. Também vale ressaltar o ganho na valorização da infraestrutura física do departamento e a capacitação institucional, com os servidores e alunos se apropriando de tecnologias limpas.

Com base nas informações apresentadas, é sugerido como estudos posteriores a realização de simulações energéticas completas, utilizando softwares como o EnergyPlus ou o DesignBuilder. Tais ferramentas permitiriam testar diferentes cenários de uso do edifício e explorar estratégias passivas, além de avaliar o impacto do isolamento térmico. Outra sugestão para trabalhos futuros é a elaboração de um guia metodológico voltado à transformação de edificações convencionais em Edifícios de Energia Zero. Com base nos requisitos dos editais públicos, como o da Chamada PROCEL, esse material poderia servir como um passo a passo prático para universidades e órgãos públicos que desejam estruturar projetos de *retrofit* e geração de energia de forma organizada e alinhada com as exigências formais.

Diante do caráter inovador e tecnológico do Departamento de Energia Nuclear da UFPE, é imprescindível que a eficiência energética de seu edifício seja tratada não apenas como uma recomendação, mas como uma obrigação institucional. Um departamento com esse perfil deve assumir o protagonismo na adoção de boas

práticas sustentáveis, servindo como referência para outras unidades da universidade e demais instituições públicas. A participação ativa em chamadas públicas voltadas à eficiência energética, como as promovidas pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, não deveria ser apenas desejável, mas fundamental e obrigatória.

Por fim, este trabalho conclui que os benefícios da implementação de Edifícios Energia Zero em instituições públicas, como o DEN, representam uma solução promissora e altamente benéfica, em que os impactos positivos superam os desafios enfrentados. Para que esse potencial seja plenamente alcançado, é essencial que haja uma articulação estratégica com outros departamentos da própria Universidade e a elaboração de projetos tecnicamente consistentes. Assim, é reafirmada a importância de incorporar a eficiência energética como diretriz central no planejamento e na gestão das edificações públicas, consolidando um caminho necessário rumo à sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 15220-2: Desempenho Térmico de Edificações - parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. NBR 15220 – 3: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT. NBR 15575: Edificações habitacionais — Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT. NBR 16401-3: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

AFFELDT BARBOSA, T.; FACHINELLO KREBS, L. Net Zero Energy Buildings (NZEBS) Edifícios de Energia Zero: definições correntes e principais características. Acesso em: 10 jul. 2025.

ALTENERGYMAG. Retrofitting buildings to improve energy efficiency. AltEnergyMag, 2015. Disponível em: <https://www.altenergymag.com/article/2015/04/retrofitting-buildings-to-improve-energy-efficiency/19349>. Acesso em: 30 jul. 2025.

AMARAL, L. P. D. Sistema fotovoltaico em vila residencial: viabilidade técnica e econômica. Trabalho de Conclusão de Curso., 2023.

ANDRADE, B. P. B. et al. Analysis of methods to transform existing buildings into Nearly Zero Energy Buildings (NZEB). Energy Efficiency. Springer Science and Business Media B.V., 1 mar. 2025.

AR, A. Superdimensionamento de Ar-Condicionado: O Erro Comum que Pode Sair Caro. Disponível em: <https://www.airxpert.com.br/superdimensionamento>. Acesso em: 1 ago. 2025.

ASHRAE. Handbook of Fundamentals. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021.

BEN. Balanço Energético Nacional 2025. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2025>>. Acesso em: 28 jul. 2025.

BERGMANN, F. et al. Gestão de energia e eficiência energética em edifícios públicos: estudo de caso na Prefeitura de Francisco Morato/SP. Revista Brasileira de Energia, v. 30, n. 4, 28 abr. 2025.

BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/L14300.htm. Acesso em: 23 jul. 2025.

CANALSOLAR. HJT Module: the right technology at the right time. 2025. Disponível em: canalsolar.com.br/en/hjt-module-right-technology-right-time/. Acesso em: 18 ago. 2025

CEPEL. MME. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/quem-e-quem/setor-publico-1/cepel>>. 2024. Acesso em: 29 jul. 2025.

COSTA, E. R. C. DA; SILVA, R. D. DE S. E.; AGUIAR, V. DE P. B. An Analysis of Energy Efficiency Actions and Photovoltaic Energy in Public Buildings in a Semi-Arid Region: The Requirements for Positive Energy and Net-Zero Energy Buildings in Brazil. Sustainability (Switzerland), v. 17, n. 11, 1 jun. 2025.

CREDER, H. LTC EDITORA. Rio de Janeiro: LTC EDITORA, 2004.

EUROPEAN CLIMATE FOUNDATION. EFFICIENCY FIRST: A NEW PARADIGM FOR THE EUROPEAN ENERGY SYSTEM DRIVING COMPETITIVENESS, ENERGY

SECURITY AND DECARBONISATION THROUGH INCREASED ENERGY PRODUCTIVITY. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://europeanclimate.org/wp-content/uploads/2016/06/ECF_Report_v9-screen-spreads.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2025.

ELETROBRAS. Selo Procel Edificações. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2020.

EL-DARWISH, I.; GOMAA, M. Retrofitting strategy for building envelopes to achieve energy efficiency. Alexandria Engineering Journal, v. 56, n. 4, p. 579–589, 1 dez. 2017.

FAYYAD, M.; JOHN, J. Defining Nearly Zero Energy Buildings in the UAE. Disponível em: <<https://emiratesgbc.org/wp-content/uploads/2020/05/Defining-nZEBs-in-the-UAE-2017-1.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2025.

FOTOVOLTAICO, M. ESTUDO ESTRATÉGICO GERAÇÃO DISTRIBUÍDA. [s.l: s.n.]. Acesso em: 28 jul. 2025.

FUNES, G. et al. TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM MATERIAIS PARA COBERTURA. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 19, n. 1, p. 141–153, 22 maio 2023.

GERNER, V. R. Coeficiente Global de Transmissão de Calor (U): Materiais de construção utilizados no Brasil. São Paulo. 2012.

GOUVÊA, S. M.; GHISI, E. Net zero energy buildings in Brazil: Overview and future perspectives. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 133, 2020. Acesso em: 23 jul. 2025.

GREENER. Estudo de Geração Distribuída 2025 - Greener. Disponível em: <<https://estudo-gd-2025.greener.com.br/>>. Acesso em: 6 ago. 2025.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 6th ed. New York: John Wiley & Sons, 2008.

INMETRO. Conheça mais sobre a etiqueta do PBE. Disponível em: <<https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/conheca-mais-sobre-a-etiqueta-do-pbe>>. 2023. Acesso em: 12 jul. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Electricity Market Report – July 2022. Paris: IEA, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/electricity-market-report-july-2022>. Acesso em: 13 jul. 2025.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 50001:2018 – Energy management systems — Requirements with guidance for use. Geneva: ISO, 2018.

KAYA, Y. Energy and environmental strategies for sustainable development. New York: Springer, 2016.

LAMBERTS, R. DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161_v2016.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2025.

LOU, H. L.; HSIEH, S. H. Towards Zero: A Review on Strategies in Achieving Net-Zero-Energy and Net-Zero-Carbon Buildings. Sustainability (Switzerland). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 1 jun. 2024a.

MAHDI KIOUMARSI; BEHROUZ SHAFEI. Lecture Notes in Civil Engineering. The 1st International Conference on Net-Zero Built Environment Innovations in Materials, Structures, and Management Practices. Oslo.

MARTÍNEZ, D. M.; EBENHACK, B. W.; WAGNER, T. P. Residential and commercial sector energy efficiency. In: Energy Efficiency. [s.l.] Elsevier, 2019a. p. 227–269.

MENGAW, M. A.; MENGESHA, W. J.; MADESSA, H. B. Recent Progress in Net-Zero-Energy Buildings in Tropical Climates: A Review of the Challenges and Opportunities.

Lecture Notes in Civil Engineering. Anais... Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2025.

MINELLI, F. et al. From Net Zero Energy Buildings to an energy sharing model - The role of NZEBs in Renewable Energy Communities. Renewable Energy, v. 223, 1 mar. 2024.

MME, M. DE M. E. E. Plano Nacional Eficiência Energética (PDF).pdf — Ministério de Minas e Energia. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/plano-nacional-de-eficiencia-energetica/documentos/plano-nacional-eficiencia-energetica-pdf.pdf/view>>. Acesso em: 29 jul. 2025.

MORISHITA , C. et al. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA CENTRO TECNOLÓGICO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL Campus Universitário - Trindade Florianópolis -SC -CEP 88040-900 Caixa Postal 476 Laboratório de

NEOENERGIA PE. Composição Tarifária - Distribuidora Pernambuco - Neoenergia - Neoenergia. Disponível em: <<https://www.neoenergia.com/web/pernambuco/sua-casa/composicao-tarifaria>>.

OLIVEIRA, C. A.; SOUSA, M. F. Avaliação do desempenho térmico de diferentes sistemas de cobertura em edificações comerciais. Revista de Arquitetura e Sustentabilidade, v. 10, n. 2, p. 45–58, 2021.

OLIVEIRA, L. DE A. ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO COM COGERAÇÃO UTILIZANDO ENERGIA SOLAR PARA CLIMATIZAÇÃO SUSTENTÁVEL. Recife: UFPE, 2023. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/52816/1/TCC%20-%20Lucas%20de%20Andrade%20Fialho%20de%20Oliveira.pdf>>. Acesso em: 3 ago. 2025.

ONU. Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova York: Nações Unidas, 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 25 jul. 2025.

PEREIRA, Cláudia Donald. Influência da refletância e da emitância de superfícies externas no desempenho térmico de edificações. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Chamada Pública Procel nº 01/2023 – Energia Zero em Prédios Públicos. Brasília: ENBPar/Eletronbras, 2023. Acesso em: 23 jul. 2025.

RAWAT, M.; SINGH, R. N. A study on the comparative review of cool roof thermal performance in various regions. *Energy and Built Environment*, v. 3, p. 327–347, 2022.

RIFFEL, C. F. et al. Estudo de viabilidade técnica e custos para execução de coberturas com telhas metálicas termoisolantes, fibrocimento e policarbonato. *Revista de Engenharia Civil da UFSM, Santa Maria*, v. 13, n. 4, p. 91–104, 2023.

RIOS, G. A. A. et al. Coberturas de cor branca como estratégia de redução de energia e emissões de carbono. *Revista de Engenharia e Tecnologia, Ponta Grossa*, v. 9, p. 76-90, 2017.

ROBSON, C.; DA SILVA, M. *Operations & Production Management*. Oxford: Routledge, 2019.

RODRIGUES, Marina Lopes. Avaliação de técnicas passivas para conforto térmico visando à racionalização do uso de sistemas de ar condicionado em casas populares. 2021. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2021.

SANTANA, A.G.; NOLÊTO, B.C.; VIERIA, A.G. Análise Comparativa das Propriedades Mecânicas e Físicas em Painéis Isotérmicos PIR e Lã De Rocha. Revista Científica do ITPAC, V.15, n.1, pub.1, fevereiro de 2022.

DOI: 10.29327/231587.15.1-1

SARTORI, T.; CALMON, J. L. Retrofit sustentável: estudo de caso em edificação residencial. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

SILVA, Fabrício Maia. Cálculo de carga térmica das salas do anexo 2 do Ifes – campus São Mateus. 2018. 75 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Instituto Federal do Espírito Santo, Campus São Mateus, 2018.

SILVA, L. et al. ZONAS BIOCLIMÁTICAS BRASILEIRAS E ESTRATÉGIAS PROJETUAIS BRAZILIAN BIOCLIMATIC ZONES AND PROJECT STRATEGIES. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.cic.fio.edu.br/anaisCIC/anais2020/pdf/02.21.pdf>.

SILVA, P. E. A. d. et al. Dimensionamento e implementação de um sistema fotovoltaico com ênfase na economia de energia gerada em Uberlândia–MG. Universidade Federal de Uberlândia, 2023.

SIPAC. REFORMA DA COBERTA DO CENTRO DE ARTES E COMUNICAÇÃO TRECHOS 1 (C, D, E); 2 (B); 5, 6 e 9. Disponível em: <<https://sipac.ufpe.br/public/verArquivoDocumento?idArquivo=1221296&key=84b1bf534a40b28461e690eda6b8e9f0&idDocumento=1617136&downloadArquivo=true&publicPath=true>>. Acesso em: 15 ago. 2025.

STOECKER, W. F.; JONES, J. W. Refrigeração e Ar Condicionado. São Paulo: McGraw-Hill, 1985.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; AKBARI, H. Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions. Energy and Buildings, [S.l.], v. 39, n. 11, p. 1167–1174, 2007. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778807000102?via%3DiHub>.
Acesso em: 31 jul. 2025.

THOLLANDER et al. Advances in the social construction of energy management and energy efficiency in industry. Nature Communications, v. 16, n. 1, 30 abr. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-025-59284-2> . Acesso em: 19 ago. 2025

UFPE. Departamento de Energia Nuclear - UFPE. Disponível em: <<https://www.ufpe.br/den>>. Acesso em: 6 ago. 2025.

VANNUCCI, L. R. MATEMÁTICA FINANCEIRA E ENGENHARIA ECONÔMICA LUIZ ROBERTO VANNUCCI Cálculos apresentados para HP12C, Excel e Tabelas Financeiras. Disponível em: https://storage.blucher.com.br/book/pdf_preview/9788521206989-amostra.pdf. Acesso em: 19 ago. 2025.

VINICIUS AUGUSTO BUSSOLA. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ARQUITETURA RESIDENCIAL: estratégias para promover conforto térmico nas habitações inseridas em zonas bioclimáticas do Paraná. jul. 2024.

Apêndice I - Contagem Condicionadores de Ar – DEN

Compartime nto do DEN	Quantida de de ar condicio nados	BTU/h	Modelo	Consumo elétrico atual (kW/h)	Suge stão Subs tituiç ão	Consumo elétrico novos equipame ntos (kW/h)	Economi a (kWh/mê s)	% Reduç ão
Sala Floriano	1	12000	VI12F	1,08	LG Dual Invert er Voice 12k	0,8	67,2	26%
Sala de Aula 3	1	18000	KOS 18 FC 3HX	1,6	Sams ung Wind Free Invert er 18k	1	144	38%
Sala Emmanuel/C OPA	1	12000	TSNC12 2TMA0	1,09	LG Dual Invert er Voice 12k	0,8	69,6	27%
Laboratório - LABEMA PT 1	2	24000	TSNC24 25MA0	2,25	LG Dual Invert er Voice 24k	0,8	696	64%
Laboratório - LABEMA PT 2	2	24000	TSNC24 25MA0	2,25	LG Dual Invert er Voice 24k	0,8	696	64%
Sala de Alunos	1	12000	TSNC12 2TMA0	1,09	LG Dual Invert er Voice 12k	0,8	69,6	27%
Laboratório - Microbiologia	1	24000	TSNC24 25MA0	2,25	LG Dual Invert er Voice 24k	0,8	348	64%
Laboratório + Copa	1	24000	TSNC24 25MA0	2,25	LG Dual Invert er Voice 24k	0,8	348	64%

Sala de administração	1	30000	42MLCD 30M5	2,8	Samsung Wind Free Digital Inverter 30k	1,8	240	38%
Administração	1	24000	TSNC24 25MA0	2,25	LG Dual Inverter Voice 24k	0,8	348	64%
	1	12000	Não consegui identificar, mas muito antigo	1,1	LG Dual Inverter Voice 12k	0,8	72	27%
Sala de Montagem 1	1	24000	Não consegui identificar, mas muito antigo	2,2	LG Dual Inverter Voice 24k	0,8	336	64%
Sala de Montagem 2	1	24000	Não consegui identificar, mas muito antigo	2,2	LG Dual Inverter Voice 24k	0,8	336	64%
Financeiro	1	24000	CBN22C /CBO22C	2,2	LG Dual Inverter Voice 24k	0,8	336	64%
Sala de Avaliação	1	24000	Não consegui identificar, mas muito antigo	2,2	LG Dual Inverter Voice 24k	0,8	336	64%
Arquivo	1	24000	38AGVC I24M5	2,3	LG Dual Inverter Voice 24k	0,8	360	65%
Sala estudos	1	24000	38AGVC I24M5	2,3	LG Dual Inverter Voice 24k	0,8	360	65%
Sala PROF	1	12000	S4NQ12 JA3WC	1,1	LG Dual Invert	0,8	72	27%

					er Voice 12k			
Sala reuniao	1	12000	S4NQ12 JA3WC	1,1	LG Dual Invert er Voice 12k	0,8	72	27%
Sala de estudo 1	1	12000	38AGVQ I12M5	1,1	LG Dual Invert er Voice 12k	0,8	72	27%
Sala de estudo 2	1	12000	38AGVQ I12M5	1,1	LG Dual Invert er Voice 12k	0,8	72	27%
Sala de Reuniões	2	12000	38AGVQ I12M5	1,1	LG Dual Invert er Voice 12k	0,8	144	27%
Copa	1	12000	38AGVQ I12M5	1,1	LG Dual Invert er Voice 12k	0,8	72	27%
Vestiário	1	12000	38AGVQ I12M5	1,1	LG Dual Invert er Voice 12k	0,8	72	27%
Recepção	1	12000	38AGVQ I12M5	1,1	LG Dual Invert er Voice 12k	0,8	72	27%
Lab de radiação GAMALAB	1	8000	Não consegui identifica r, mas muito antigo	1,1	LG Dual Invert er Voice 12k	0,8	72	27%
Laboratório de Física dos Solos	1	30000	HEFI30B 2IA HEFE30 B2IA	2,8	Sams ung Wind Free Digita l Invert er 30k	1,8	240	38%

Laboratório de Física dos Solos - Anexo	1	12000	CBN22A	1,1	LG Dual Inverter Voice 12k	0,8	72	27%
Laboratório 2 Tomografia GAMA	1	24000	TSNC24 25MA0	2,25	LG Dual Inverter Voice 24k	0,8	348	64%
Laboratório PROF Cornelius Keller	1	18000	TSNC12 2YMA1	1,6	Samsung Wind Free Inverter 18k	1	144	38%
Sala de Comando UPF	1	12000	Não consegui identificar, mas muito antigo	1,1	LG Dual Inverter Voice 12k	0,8	72	27%
Sala de Estudo Grupo Radioquímica	1	24000	Não consegui identificar, mas muito antigo	2,2	LG Dual Inverter Voice 24k	0,8	336	64%
	1	12000	42MDCA 12M5	1,1	LG Dual Inverter Voice 12k	0,8	72	27%
Sala de Aula 5	1	36000	KOP 36FC G4	3,5	LG Inverter 36k	2	360	43%
Laboratório Instrumentação Nuclear	1	18000	YHEC18 FS-ADG	1,6	Samsung Wind Free Inverter 18k	1	144	38%
Secretaria PROTEN	1	18000	CBE22N A	1,6	Samsung Wind Free Inverter 18k	1	144	38%
Coordenação PROTEN	1	24000	42MLCC 24M5	2,2	LG Dual Inverter	0,8	336	64%

					Voice 24k			
BENS	1	18000	CCS12F IR4 - 02 / CCS12F ER4 - 02	1,6	Samsung Wind Free Inverter 18k	1	144	38%
Sala professor	1	18000	Não consegui identificar, mas muito antigo	1,6	Samsung Wind Free Inverter 18k	1	144	38%
Sala alunos	1	12000	Não consegui identificar, mas muito antigo	1,1	LG Dual Inverter Voice 12k	0,8	72	27%
Laboratório de Apoio a Sistemas Computacionais	1	12000	GWC12 QC-D3NNB4 A	1,1	LG Dual Inverter Voice 12k	0,8	72	27%
Laboratório de Apoio a Sistemas Computacionais - anexo	1	12000	Não consegui identificar, mas muito antigo	1,1	LG Dual Inverter Voice 12k	0,8	72	27%
Grupo FAE	1	12000	Não consegui identificar, mas muito antigo	1,1	LG Dual Inverter Voice 12k	0,8	72	27%
Sala 1	1	48000	PEFI48B 2NC	4,2	LG Dual Inverter Voice 24k	0,8	816	81%
Sala 2	1	48000	PEFI48B 2NC	4,2	LG Dual Inverter Voice 24k	0,8	816	81%
Audirório	3	58000	42MPCA 60M5	4,5	LG Inverter 48k	2,8	2568	79%
LABEMA PT 3	1	36000	PAFI36B 2NA	3,5	LG Dual	0,8	648	77%

	1	12000	TSNC12 2TMA0	1,09	Invert er Voice 24K			
Sala 4	1	36000	42XQD0 36515LC	3,5	LG Dual Invert er Voice 24k	0,8	648	77%

ANEXO I – Valores típicos de coeficientes de transmissão de calor (Gerner, 2012)

Coeficiente Global de Transmissão de Calor (U)		
Superfície	Materiais de Construção	
	Kcal / h.m². °C	W / m². K
Paredes de Alvenaria		
Tijolo de Barro comum, argamassa ambos os lados e=10 cm;	2,65651	3,08896
Tijolo de Barro comum, argamassa ambos os lados e=15 cm;	2,18781	2,54396
Tijolo de Barro comum, argamassa ambos os lados e=20 cm;	2,07401	2,41164
Tijolo de Barro comum, argamassa ambos os lados e=30 cm;	1,43132	1,66432
Tijolo de Barro comum, argamassa ambos os lados e=40 cm;	1,24301	1,44536
Tijolo de Barro comum, argamassa externo, gesso interno e=20 cm;	1,80471	2,0985
Tijolo de Barro comum, argamassa externo, gesso interno e=15 cm;	2,60018	3,02347
Bloco de concreto estrudado e=5,0 cm;	4,63558	5,39020
Tijolo de concreto, argamassa ambos os lados e=10 cm;	3,11671	3,62408
Tijolo de concreto, argamassa ambos os lados e=15 cm;	2,03295	2,36389
Tijolo de concreto, argamassa ambos os lados e=20 cm;	2,34433	2,72597
Tijolo de concreto, argamassa externa, gesso interno e=20 cm;	2,25759	2,62511
Tijolo cerâmico, argamassa ambos os lados e=10 cm;	3,15272	3,66598
Tijolo cerâmico, argamassa ambos os lados e=15 cm;	2,71588	3,15801
Tijolo cerâmico, argamassa ambos os lados e=20 cm;	2,32452	2,70292
Paredes divisórias internas		
Divisória de madeira foleada (Eucatex) e=5,5 cm	1,15601	1,34419
Divisória de madeira foleada (Eucatex), com isolamento interno e=5,5 cm	0,37452	0,43549
Gesso acartonado (DryWall) duplo 2placas e _{Gesso} = 12,5 mm, e _{Total} = 25 mm	3,12417	3,63276
Gesso acartonado (DryWall) com ar interno entre placas e _{Gesso} = 12,5 mm	2,36808	2,75358
Gesso acartonado (DryWall) com lã vidro interno entre placas e= 5,50 cm	0,89440	1,04000
Gesso acartonado (DryWall) com poliestireno interno entre placas e= 5,5 cm	0,40838	0,47487
Gesso acartonado (DryWall) com poliuretano interno entre placas e= 5,5 cm	0,33601	0,39071
Portas		
Porta de Madeira maciça e= 4,0 cm	2,24623	2,61189
Porta de Madeira compensada maciça e= 3,0 cm	2,10508	2,44776
Porta de Madeira foleada e _{Compensado} = 7,0 mm ; e _r = 3,0 cm	1,74331	2,02710
Porta de aço – Folha Única e= 3,0mm	5,72089	5,65195
Porta de Vidro e= 10mm	5,27858	6,13788
Janelas		
Vidro Simples e= 3,0 mm	5,58189	6,4905
Vidro simples, duplo, ante ruído, ar interno e= 2,0 cm	2,70175	3,14157
Laje		
Laje de concreto – Sem isolamento térmico e= 10 cm	2,77591	3,22780
Laje de concreto – Sem isolamento térmico – com taco de madeira e= 10 cm	2,48823	2,89329
Laje de concreto – Com isolamento térmico- Poliestireno e _r = 10 cm	0,21622	0,25142
Telhado		
Telha de Chapa Galvanizada e= 2,3 mm	5,72118	6,65253
Telha de Chapa Galvanizada – Com isolante térmico - Sanduiche e _r = 2,5 mm	0,64037	0,74462
Telha de Fibrocimento e= 7,0 mm	5,13508	5,97102
Telha de Fibrocimento, Isolamento de 3,0 cm, fixo do lado interno	0,56379	0,65557
Telha de Barro Cerâmico e= 2,5 cm	5,12852	5,96107
Telha de Barro Cerâmico com manta asfáltica aluminizada e _r = 4,0 cm	3,26405	3,79540
Telhado com Forro		
Telhado Fibrocimento com forro de e= 0,5 cm de madeira	2,41895	2,81267
Telhado Fibrocimento com forro de e= 3,0 cm de gesso	2,24766	2,61356
Telhado Fibrocimento com forro de e= 10 cm de laje de concreto	2,11013	2,45364
Telhado Fibrocimento com forro de e= 1,0 cm de PVC	1,43810	1,67221
Telhado Fibrocimento com forro de e= 2,5 cm de Poliestireno	0,68554	0,79714
Telhado Fibrocimento com forro de e= 5,0 cm de lã de vidro	0,54729	0,63638

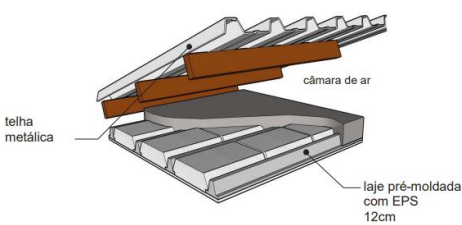
**ANEXO II – Fatores de ganho solar através do vidro (tabela da ABNT 16401-3:
Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários Parte 3:
Qualidade do ar interior)**

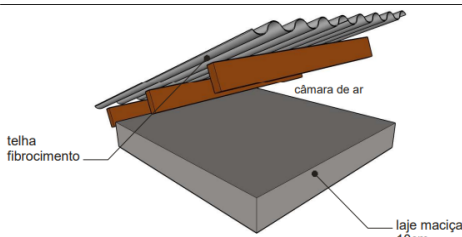
TIPO DE VIDRIO	SIN PERSIANA O PANTALLA	PERSIANAS VENECIANAS INTERIORES *			PERSIANAS VENECIANAS EXTERIORES		PERSIANA EXTERIOR		CORTINA EXTERIOR DE TELA	
		Listones horizontales o verti- cales inclinados 45° O CORTINAS DE TELA			Listones horizontales Inclinados 45°		Listones inclinados 17° (horizontales) **		Circulación de aire arriba y lateralmente *****	
		Color claro	Color medio	Color oscuro	Color claro	Exterior claro Interior oscuro	Color me- dio ****	Color os- curo ***	Color claro	Color medio u oscuro
VIDRIO SENCILLO ORDINARIO	1,00	0,56	0,65	0,75	0,15	0,13	0,22	0,15	0,20	0,25
VIDRIO SENCILLO 6 mm	0,94	0,56	0,65	0,74	0,14	0,12	0,21	0,14	0,19	0,24
VIDRIO ABSORBENTE ****										
Coefficiente de absorción 0,40 a 0,48	0,80	0,56	0,62	0,72	0,12	0,11	0,18	0,12	0,16	0,20
Coefficiente de absorción 0,48 a 0,56	0,73	0,53	0,59	0,62	0,11	0,10	0,16	0,11	0,15	0,18
Coefficiente de absorción 0,56 a 0,70	0,62	0,51	0,54	0,56	0,10	0,10	0,14	0,10	0,12	0,16
VIDRIO DOBLE										
Vidrios ordinarios	0,90	0,54	0,61	0,67	0,14	0,12	0,20	0,14	0,18	0,22
Vidrios de 6 mm	0,80	0,52	0,59	0,65	0,12	0,11	0,18	0,12	0,16	0,20
Vidrio interior ordinario										
Vidrio ext. absorbente de 0,48 a 0,56	0,52	0,36	0,39	0,43	0,10	0,10	0,11	0,10	0,10	0,13
Vidrio interior de 6 mm										
Vidrio ext. absorbente de 0,48 a 0,56	0,50	0,36	0,39	0,43	0,10	0,10	0,11	0,10	0,10	0,12
VIDRIO TRIPLE										
Vidrio ordinario	0,83	0,48	0,56	0,64	0,12	0,11	0,18	0,12	0,16	0,20
Vidrio de 6 mm	0,69	0,47	0,52	0,57	0,10	0,10	0,15	0,10	0,14	0,17

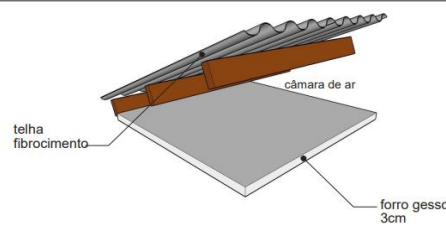
Nível de atividade	Local	Calor total (W)		Calor Sensível (W)	Calor latente (W)	% Radiante do calor sensível	
		Homem adulto	Ajustado M/F ^a			Baixa velocidade do ar	Alta velocidade do ar
Sentado no teatro	Teatro matinê	115	95	65	30		
Sentado no teatro, noite	Teatro noite	115	105	70	35	60	27
Sentado, trabalho leve	Escritórios, hotéis, apartamentos	130	115	70	45		
Atividade moderada em trabalhos de escritório	Escritórios, hotéis, apartamentos	140	130	75	55		
Parado em pé, trabalho moderado; caminhando	Loja de varejo ou de departamentos	160	130	75	55	58	38
Caminhando, parado em pé	Farmácia, agência bancária	160	145	75	70		
Trabalho sedentário	Restaurante ^b	145	160	80	80		
Trabalho leve em bancada	Fábrica	235	220	80	140		
Dançando moderadamente	Salão de baile	265	250	90	160	49	35
Caminhando 4,8 km/h; trabalho leve em máquina operatriz	Fábrica	295	295	110	185		
Jogando boliche	Boliche	440	425	170	255		
Trabalho pesado	Fábrica	440	425	170	255	54	19
Trabalho pesado em máquina operatriz; carregando carga	Fábrica	470	470	185	285		
Praticando esportes	Ginásio, academia	585	525	210	315		

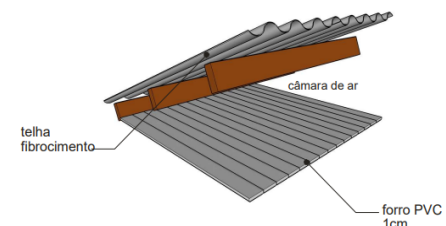
ANEXO IV - Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas

(v.4) - LABEE

		Descrição:			
		Laje pré-moldada 12cm (concreto 4cm + EPS 7cm + argamassa 1cm) Câmara de ar (> 5,0 cm) Telha metálica 0,6cm			
U	C _T	α	FCS		
[W/(m²K)]	[kJ/m²K]	[-]	[-]		
1,54	134	0,2 0,4 0,8	1,2 2,5 4,9		

		Descrição:			
		Laje maciça (10,0cm) Câmara de ar (> 5,0 cm) Telha fibrocimento			
U	C _T	α	FCS		
[W/(m²K)]	[kJ/m²K]	[-]	[-]		
2,06	232,8	0,2 0,4 0,8	1,6 3,3 6,6		

		Descrição:			
		Forro gesso (3,0 cm) Câmara de ar (> 5,0 cm) Telha fibrocimento			
U	C _T	α	FCS		
[W/(m²K)]	[kJ/m²K]	[-]	[-]		
1,94	31,7	0,2 0,4 0,8	1,6 3,1 6,2		

		Descrição:			
		Forro PVC (1,0cm) Câmara de ar (> 5,0 cm) Telha fibrocimento			
U	C _T	α	FCS		
[W/(m²K)]	[kJ/m²K]	[-]	[-]		
1,76	15,8	0,2 0,4 0,8	1,4 2,8 5,6		