PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE INFRAESTRUTURA URBANA

CARLOS AUGUSTO DE ARAÚJO MELO

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO: ESTUDO DE CASO EM EDIFICAÇÕES DA PUC-CAMPINAS

CAMPINAS
2026

CARLOS AUGUSTO DE ARAÚJO MELO

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO: ESTUDO DE CASO EM EDIFICAÇÕES DA PUC-CAMPINAS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação Stricto-Sensu em Sistemas de Infraestrutura Urbana, da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto de Castro Júnior

CAMPINAS

2026

Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI
Gerador de fichas catalográficas da Universidade PUC-Campinas
Dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Melo, Carlos Augusto de Araújo

M528e EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO: ESTUDO DE CASO EM EDIFICAÇÕES DA PUC-CAMPINAS : Dissertação de Mestrado / Carlos Augusto de Araújo Melo. - Campinas: PUC-Campinas, 2026.

117 f.il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto de Castro Junior.

Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) - Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Escola Politécnica, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2026.
Inclui bibliografia.

1. Eficiência energética. 2. Instituições de ensino. 3. Desempenho energético. I. , . II. Castro Junior, Prof. Dr. Carlos Alberto de . III. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Escola Politécnica. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. IV. Título.

CARLOS AUGUSTO DE ARAÚJO MELO

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO: ESTUDO DE CASO EM EDIFICAÇÕES DA PUC- CAMPINAS

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana, da Escola Politécnica, da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana.
Área de Concentração: Sistemas de Infraestrutura Urbana.
Orientador (a): Prof. Dr. Carlos Alberto de Castro Júnior.

Dissertação defendida e aprovada em 28 de agosto de 2026 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:

Documento assinado digitalmente
gov.br CARLOS ALBERTO DE CASTRO JUNIOR
Data: 28/08/2026 21:21:31-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Carlos Alberto de Castro Junior
Orientador da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora
Pontifícia Universidade Católica de Campinas

Documento assinado digitalmente
gov.br GILMAR BARRETO
Data: 29/08/2026 06:13:33-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. Dr. Gilmar Barreto
UNICAMP

Documento assinado digitalmente
gov.br LIA TOLEDO MOREIRA MOTA
Data: 01/09/2026 16:16:14-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. Dra. Lia Toledo Moreira Mota
Pontifícia Universidade Católica de Campinas

Dedico este trabalho à minha família, que sempre está ao meu lado, sendo minha razão e motivação da busca pela evolução.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa, Joária Fernandes de Oliveira Araújo, e meus filhos, Henrique e Isabelle, por todo amor e incentivo à realização desta pesquisa.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Alberto de Castro Júnior, pelo grande apoio e incentivo nesta jornada, compartilhando sempre seu conhecimento e se dedicando para que a minha pesquisa fosse a melhor possível.

Ao corpo docente da Pós-Graduação em Infraestrutura Urbana da PUC-Campinas, que com seu profissionalismo e dedicação, elevam a qualidade e o nível deste curso.

Aos meus pais (*in memoriam*) que estão sempre olhando por mim, e deles herdei meus valores, como a educação e o respeito pelas pessoas.

Ao colega de Pós-Graduação, Engº Hugo César Pereira Grippa, que contribuiu muito com essa pesquisa, sempre disposto a colaborar com a sua vasta experiência e vivência na PUC-Campinas.

À Pontifícia Universidade Católica de Campinas, pelo apoio por meio da bolsa de estudos gentilmente concedida e pela disponibilização dos recursos, instalações e equipamentos necessários para a realização desta pesquisa.

“Tudo parece impossível até que seja feito.”
Nelson Mandela.

RESUMO

Diante do atual cenário de emergência climática e da iminente necessidade de racionalização de recursos naturais, a eficiência energética nas edificações torna-se um imperativo ambiental e econômico. A presente dissertação tem como objetivo central a avaliação crítica dos procedimentos normativos vigentes para a classificação de eficiência energética em edifícios comerciais. Metodologicamente, desenvolveu-se um estudo de caso aplicado aos Blocos A, B e C do Campus II da Pontifícia Universidade Católica de Campinas. A pesquisa confrontou os resultados obtidos pela aplicação da Instrução Normativa do Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas, com outras técnicas consolidadas de projetos de instalações elétricas e de sistemas de climatização. Esta análise comparativa permitiu verificar que, por meio dos cálculos realizados e simulações em software, a integração de novas tecnologias aos projetos amplia o potencial de eficiência energética, resultando em uma considerável economia de recursos. Entre os principais resultados, destacam-se significativas oportunidades identificadas nas duas linhas de maior influência em uma edificação comercial, correspondentes à luminotécnica e à climatização, pois através dos métodos abordados, se identifica oportunidades na ordem de 13% de economia energética no sistema de iluminação e reduções que podem chegar ao patamar de 21% de diminuição do dimensionamento dos equipamentos, nos sistemas de condicionamento de ar. Salienta-se que estes resultados foram obtidos em edificações que contam com projetos que contemplam soluções pensadas para melhorar a eficiência energética, como lâmpadas e máquinas de climatização modernas e eficientes, ou seja, esses edifícios já passaram por um processo de melhoria de suas eficiências energéticas, mostrando desta forma, a relevância de se aprofundar em técnicas e melhorias que possam tornar as construções cada vez mais eficientes energeticamente. Na luminotécnica, observou-se o potencial de redimensionamento dos sistemas com foco na redução da potência instalada e na implementação de sensores de ocupação para desenergização de salas vazias. Similarmente, a análise dos sistemas de climatização indicou que é possível reduzir o consumo energético ao otimizar a renovação de ar, a qual é de fundamental importância para garantir o bem-estar dos usuários e o cumprimento das normas de qualidade do ar interno, embora a introdução de ar externo não climatizado impacte a eficiência dos equipamentos.

Palavras-chave: Eficiência Energética; INI-C; PBE Edifica; Método dos Lúmens, Método de Climatização.

ABSTRACT

Given the current scenario of climate emergency and the imminent need for the rationalization of natural resources, energy efficiency in buildings has become an environmental and economic imperative. This dissertation has as its central objective the critical evaluation of current normative procedures for the classification of energy efficiency in commercial buildings. Methodologically, a case study was developed and applied to Blocks A, B, and C of Campus II at the Pontifical Catholic University of Campinas. The research confronted the results obtained by applying the Normative Instruction of the INMETRO for the Energy Efficiency Classification of Commercial, Service, and Public Buildings with other consolidated techniques for electrical installation and climate control system projects. This comparative analysis allowed for the verification that, through the calculations performed and software simulations, the integration of new technologies into projects expands the energy efficiency potential, resulting in a considerable saving of resources. As results, significant opportunities can be cited in the two areas of greatest influence in a commercial building, which are lighting and climate control; through the methods addressed, opportunities in the order of a 13% energy saving in the lighting system and reductions reaching the level of a 21% decrease in equipment sizing for air conditioning systems were identified. It should be noted that these results were obtained in buildings featuring projects that contemplate solutions designed to improve energy efficiency, such as modern and efficient lamps and air-conditioning systems; that is, these buildings have already undergone the so-called “energy efficiency retrofit,” thereby demonstrating the relevance of deepening techniques and improvements that can make constructions increasingly energy efficient. In lighting, the potential for resizing systems was observed, focusing on the reduction of installed power and the implementation of occupancy sensors for de-energizing empty rooms. Similarly, the analysis of air conditioning systems indicated that it is possible to reduce energy consumption by optimizing air renewal, which is of fundamental importance to ensure the well-being of users and compliance with indoor air quality standards, although the introduction of unconditioned outdoor air impacts equipment efficiency.

Keywords: Energy efficiency; INI-C; PBE Edifica; Lúmens Method; Climatization Method.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Etapas da Metodologia 36
Figura 2 - Definição dos indicadores dimensionais do ambiente.....38
Figura 3 - Luminária Rubi-S (Guarilux).....40
Figura 4 - Lâmpadas LED T8 utilizadas no estudo.....41
Figura 5 - Disposição de uma sala de aula padrão 42
Figura 6 - Modelo de Ventilador do Sistema de Renovação de Ar.....49
Figura 7 - Sensor de qualidade do ar SpaceLogic modelo SLASTCX 52
Figura 8 - Renovação de ar por trocador entálpico 53
Figura 9 - Inserção dos espaços no HAP.....54
Figura 10 - Fatores considerados para configuração da carga térmica de espaços .56
Figura 11 - Listagem das Zonas Térmicas 66
Figura 12 - Especificação do sistema de climatização dos Blocos A, B e C 67
Figura 13 - Carga térmica de referência e real dos sistemas de climatização 67
Figura 14 - Simulação 1 – Operação Normativa – Projeto Original.....71
Figura 15 - Configuração da renovação de ar por entalpia (Vent Reclaim).....72
Figura 16 - Simulação 2 – Recuperador Entálpico 72
Figura 17 - Configuração da ventilação por demanda (DCV).....73
Figura 18 - Simulação 3 – Renovação de ar comandada por Sensor de CO2.....74
Figura 19 - Curva de controle de nível de CO2 74
Figura 20 - Simulação 4 – Entalpia + Controle por Sensor de CO2 75
Figura 21 - Curva de consumo de refrigeração durante o ano 76
Figura 22 - Exemplo de sensor dos sistemas de ar-condicionado e iluminação 89
Figura 23 - Exemplo de sensor de presença que pode ser integrado 89
Figura 24 (A.1) - Dados dos cálculos de luminotécnica do Bloco A 100
Figura 25 (A.2) - Dados dos cálculos de luminotécnica do Bloco A (Cont.) 101
Figura 26 (B.1) - Dados dos cálculos de luminotécnica do Bloco B 102
Figura 27 (B.2) - Dados dos cálculos de luminotécnica do Bloco B (Cont.) 103
Figura 28 (C.1) - Dados dos cálculos de luminotécnica do Bloco C.....104
Figura 29 (C.2) - Dados dos cálculos de luminotécnica do Bloco C (Cont.).....105
Figura 30 (D.1) - Zonas Térmicas do Térreo do Bloco A – Campus II – PUC-Campinas.....106

Figura 31 (D.2) - Zonas Térmicas do 1º Andar do Bloco A – Campus II – PUC-Campinas.....107
Figura 32 (D.3) - Zonas Térmicas do 2º Andar do Bloco A – Campus II – PUC Campinas.....108
Figura 33 (E.1) - Cálculo da influência térmica da envoltória – Bloco A (Parte 1)...109
Figura 34 (E.2) - Cálculo da influência térmica da envoltória – Bloco A (Parte 2)...110
Figura 35 (E.3) - Cálculo da influência térmica da envoltória – Bloco A (Parte 3)...111
Figura 36 (E.4) - Cálculo da influência térmica da envoltória – Bloco B (Parte 1)...112
Figura 37 (E.5) - Cálculo da influência térmica da envoltória – Bloco B (Parte 2)...113
Figura 38 (E.6) - Cálculo da influência térmica da envoltória – Bloco B (Parte 3)...114
Figura 39 (E.7) - Cálculo da influência térmica da envoltória – Bloco C (Parte 1)...115
Figura 40 (E.8) - Cálculo da influência térmica da envoltória – Bloco C (Parte 2)...116
Figura 41 (E.9) - Cálculo da influência térmica da envoltória – Bloco C (Parte 3)...117

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo dos Cenários 24
Quadro 2 - Cronograma de Implementação do MEPS 25
Quadro 3 - Iluminância de ambientes por tipo de atividade. 38
Quadro 4 - Fator de Depreciação de Luminárias 39
Quadro 5 - Porcentagem de refletância de acordo com as cores 40
Quadro 6 - Índices e variáveis utilizadas para o cálculo luminotécnico 43
Quadro 7 - Pré-requisitos para classificação A em iluminação 61
Quadro 8 - Síntese do dimensionamento luminotécnico da sala A35 pelo Método dos Lúmens 62
Quadro 9 - Classificação dos sistemas de climatização 69
Quadro 10 - Resultado da classificação pelo PBE Edifica 70
Quadro 11 - Resultado da reclassificação do PBE Edifica com as melhorias 77
Quadro 12 - Resultado de CO2 do PBE Edifica anterior à redução 78
Quadro 13 - Resultado de CO2 do PBE Edifica após a redução 79
Quadro 15 - Síntese das estratégias de melhoria da eficiência energética 90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fator de Utilização (u) para a luminária Rubi-S 41
Tabela 2 - Comparação entre o número de luminárias real e o calculado 63
Tabela 3 - Redução de luminárias com Fator de Depreciação: d = 0,95.....64
Tabela 4 - Resultados das simulações energéticas no HAP.....76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACL	Ambiente de Contratação Livre
AIR	Avaliação de Impacto Regulatório
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANFIS	Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System
APT	Área de Permanência Temporária
BEN	Boletim Energético Nacional
BMS	Building Management System
CB3E	Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações
CEE	Coeficiente de Eficiência Energética
COP	Coeficiente de Performance
COV	Composto Orgânico Volátil
DCV	Demand Controlled Ventilation
DOE	U. S. Department of Energy
EE	Eficiência Energética
EIA	U. S. Energy Information Administration
ENBPar	Empresa Brasileira em Participações em Energia Nuclear
ENCE	Etiqueta Nacional de Classificação Energética
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FNM	Fuzzy Negotiation Machine
FS	Fator Solar
FV	Fotovoltaica
GBC	Green Building Council
GA	Algoritmo Genérico
GD	Geração Distribuída
HAP	Hourly Analysis Program
HIS	Habitação de Interesse Social
HQE	Hauté Qualité Environnementalle (Alta Qualidade Ambiental)
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning
IC	Inteligência Computacional
IEA	International Energy Agency

IES	Instituições de Ensino Superior
INI-C	Instrução Normativa do Inmetro – Edificações Comerciais
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
MEPS	Minimum Energy Performance Standards
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira
NDIR	Infravermelho Não Dispersivo
NN	Redes Neurais (Neural Network)
NNC	Controladores de Redes Neurais
NZEB	Nearly Zero Energy Building
ODEX	Índice de Eficiência Energética
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PDE	Plano Decenal de Energia
PEE	Programa de Eficiência Energética
PID	Proporcional, integral e derivativo
PMV	Predicted Mean Vote
PNE	Programa Nacional de Energia
PMOC	Plano de Manutenção, Operação e Controle
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PWC	PricewaterhouseCoopers
QAI	Qualidade do AR Interior
SCEE	Sistema de Compensação de Energia Elétrica
SPLV	System Integrated Part Load Value
VRF	Variable Refrigerant Flow
VRV	Variable Refrigerant Volume

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 17
1.1 Justificativa 18
1.2 Objetivos 19
1.2.1 Objetivo Geral 19
1.2.2 Objetivos Específicos 19
2 REVISÃO DA LITERATURA 20
2.1 Eficiência Energética 20
2.2 Conforto Térmico 26
2.3 Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE Edifica, Certificações: LEED, AQUA-HQE e Selo Azul Caixa 28
3 MATERIAIS E MÉTODOS 32
3.1 Estudo de Caso 34
3.2 Análise dos Dados e Aplicação da Metodologia 35
3.2.1 Metodologia de Cálculo Luminotécnico, através do Método dos Lúmens 36
3.2.2 Método de Avaliação da Climatização através do PBE Edifica 43
3.2.3 Método de Simulação com o Software HAP 46
4 RESULTADOS 57
4.1 Aplicação dos Cálculos da Instrução Normativa INI-C para Iluminação 57
4.2 Redimensionamento da Iluminação pelo Método dos Lúmens 61
4.3 Resultado da Classificação da INI-C para Climatização 64
4.4 Resultado da Simulação Computacional da Climatização 70
4.4.1 Resultado da Simulação 1: Estabelecimento do Cenário de Referência (Baseline) 70
4.4.2 Resultado da Simulação 2: Implementação de Sistemas de Recuperação Entálpica 71
4.4.3 Resultado da Simulação 3: Controle de Ventilação por Demanda (DCV) via Sensores de CO_2 73
4.4.4 Resultado da Simulação 4: Integração Sistêmica e o "Estado da Arte" em Eficiência Energética 75

4.5 Resultado da Reavaliação do Desempenho Energético conforme a INI-C com as Melhorias Identificadas.....76
5 DISCUSSÃO 83
6 CONCLUSÃO.....91
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 93
8 APÊNDICES.....100

1 INTRODUÇÃO

Há algum tempo a humanidade vem sendo alertada sobre a necessidade de se conter os gastos dos recursos do planeta, para que as populações futuras tenham condições de vida condizentes com suas necessidades. Estes alertas vêm ocorrendo ao longo da história recente, com a crise mundial do petróleo em 1970 (Yergin, 2010), ou com a crise energética que o Brasil enfrentou em 2001 (Tolmasquim, 2001), entre outros. À parte das questões ambientais relacionadas ao uso das fontes de energia disponíveis, há um esforço considerável em pesquisas e ações sobre preservação dos recursos, melhoria da eficiência energética com diminuição do desperdício de energia.

A eficiência energética, entendida como a utilização racional da energia, minimizando o consumo sem comprometer a qualidade de vida, é crucial para amenizar os impactos do crescimento populacional sobre as mudanças climáticas e contribuir para a segurança energética (Lamberts *et al*., 2014).

Fatores importantes que determinam a grande necessidade de melhoria da eficiência energética são o desenvolvimento econômico e o aumento populacional, que causam grande impacto no meio ambiente e na demanda energética.

O consumo de combustíveis fósseis para geração de eletricidade e a emissão de gases para aquecimento e resfriamento de ambientes contribuem significativamente para o efeito estufa, que é o principal responsável pelas mudanças climáticas. Essa dependência de recursos finitos continuará a ter efeitos a médio e longo prazos. As edificações, sejam comerciais, residenciais ou públicas, correspondem a grande parcela de contribuição no consumo de energia elétrica, portanto, medidas que visem tornar essas edificações mais eficientes e inteligentes do ponto de vista energético são de extrema importância para a contenção do consumo de energia elétrica, consequentemente, contribuindo para uma menor queima de combustíveis fósseis. Neste contexto, a busca por soluções sustentáveis e eficientes para o setor de energia torna-se obrigatória, demandando estratégias inovadoras que contemplem a eficiência energética em conjunto com a melhoria do conforto térmico nas edificações (Lamberts *et al*., 2014).

1.1 Justificativa

Estudos demonstram uma crescente preocupação com a integração entre eficiência energética e o conforto térmico, reconhecendo que soluções focadas apenas na redução do consumo energético podem levar a ambientes desconfortáveis e insatisfatórios (Dounis; Caraiscos, 2009; Lamberts *et al*., 2014). Atualmente, o tema "eficiência energética" tem grande potencial para ser explorado sob vários aspectos, principalmente aqueles ligados a fatores ambientais e econômicos e novas tendências tecnológicas. Uma das áreas que tem grande participação no consumo total de energia nas edificações é a de sistemas de climatização. Nos Estados Unidos (2024), as edificações comerciais responderam por uma parcela significativa do consumo de eletricidade, atingindo níveis próximos a 36%. O sistema de climatização foi responsável por 50% do total de energia que chega às edificações (Estados Unidos, 2024). Na China, as instalações de condicionamento de ar em edificações comerciais, industriais e residenciais representam 35% de seus consumos (Li *et al*., 2009). A parcela de energia consumida pelas edificações brasileiras chega a 49,97% de toda a energia elétrica consumida no país (Brasil, 2024). A maior parcela do consumo de energia (64%) em edifícios não residenciais no Brasil é usada para ar-condicionado e iluminação. (Caetano *et al*., 2017).

Para melhoria da eficiência energética em edificações, segundo Lamberts *et al.* (2014), estratégias eficientes de gerenciamento de energia, como o uso de materiais de construção com alta performance térmica, sistemas de iluminação e climatização otimizados, e o aproveitamento de recursos naturais, como a ventilação e a iluminação naturais, são fundamentais para alcançar simultaneamente a redução do consumo energético e a melhoria do conforto térmico. No entanto, a implementação dessas estratégias exige um conhecimento profundo dos princípios da física da construção, da climatologia local e das necessidades dos usuários.

Esse aprofundamento do tema, com o objetivo de obter parâmetros para a análise do cenário das edificações comerciais, foi realizado por meio do estudo de caso dos Blocos A, B e C do Campus II da PUC-Campinas, que atendem pré-requisitos importantes para serem analisados. Por exemplo, a envoltória apresentou alguns problemas de falta de isolamento térmico ao longo dos anos, o que exigiu da universidade um grande investimento na climatização dos ambientes, somado à implantação de geração de energia fotovoltaica.

É importante destacar que esses estudos se alinham à Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas, contribuindo diretamente para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Destacam-se o ODS 7 (Energia Limpa e Acessível), ao buscar o aumento da eficiência energética e a redução do consumo nas edificações públicas; o ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), por meio da modernização de sistemas prediais com tecnologias de ponta; e o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ao promover infraestruturas urbanas mais resilientes e ambientalmente responsáveis. Por fim, a redução das emissões de CO_2 equivalente decorrente da economia de energia corrobora as metas do ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Realizar o diagnóstico termoenergético dos Blocos A, B e C da PUC-Campinas (Campus II), comparando o método da Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais (INI-C) com o método dos lúmens e simulações de carga térmica no software HAP, a fim de identificar potenciais de redução de consumo e melhoria da qualidade ambiental interna.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para se alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos são propostos:

- Avaliar perfil geral de consumo.
- Verificar cargas por cada setor.
- Identificar a classificação dos objetos de estudo no Programa PBE Edifica
- Aplicar o método dos lúmens para o dimensionamento da iluminação.
- Utilizar o software HAP da empresa Carrier para o cálculo da carga térmica da edificação de acordo com os parâmetros da envoltória e de equipamentos.
- Identificar possíveis pontos de melhoria para o ganho energético das edificações nas linhas estudadas, que são a iluminação e climatização.
- Sugerir um conjunto de ações que podem ser aplicadas em uma instituição de ensino superior para melhoria do desempenho energético da edificação.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Eficiência Energética

A eficiência energética e a conscientização sobre a sustentabilidade em edificações têm sido temas recorrentes de pesquisa nos últimos anos, especialmente no contexto de prédios públicos. Em seu estudo, Ribeiro Filho (2014) avaliou o gasto excessivo de energia elétrica em um edifício universitário. O autor faz uma discussão sobre a importância da eficiência energética e da conscientização da sustentabilidade em edifícios no Brasil. Embora a pesquisa tenha uma ênfase nos prédios públicos do Brasil, onde o autor atua mais diretamente, os conceitos discutidos são amplamente aplicáveis a qualquer tipo de edificação. O objetivo principal dessa pesquisa é mostrar a relevância, tanto no âmbito nacional quanto internacional, da redução do desperdício de energia, buscando um consumo consciente.

O estudo enfatiza constantemente a relevância do desenvolvimento sustentável e faz referência a importantes literaturas, incluindo o documento "Desenvolvimento Sustentável" da Cúpula Mundial de Joanesburgo de 2002 (ONU, 2002) e o Plano Nacional de Energia 2030 (Brasil, 2007). Ele destaca a importância das práticas de desenvolvimento sustentável, particularmente no contexto de prédios públicos, e cita diretrizes nacionais como o programa "Procel Edifica" (Eletrobras, 2021), que visa promover a eficiência energética em edifícios.

Ribeiro Filho (2014) ainda aprofunda os desafios e oportunidades associados à eficiência energética em prédios públicos. Ele destaca a contribuição de estudos anteriores, como de Konigami (2003), Brasil (2003) e Souza (2005), que analisam o alto consumo de energia e o potencial de economia em prédios públicos, como edifícios comerciais, universidades e escolas.

O autor discute as metodologias empregadas para avaliar padrões de consumo de energia e identificar oportunidades de economia, destacando a importância da coleta de dados, da análise e do uso de ferramentas como auditorias de energia e softwares de gerenciamento de consumo energético. Entre os trabalhos considerados, o autor destaca o desenvolvido por Bezerra (2008), que analisou o consumo de energia em um prédio universitário, e as metodologias empregadas no programa PROCEL (Inmetro, 2010) para avaliações de desempenho energético.

O conceito de "compras verdes" ou compras sustentáveis na administração pública também é avaliado por Ribeiro Filho (2014). Ele menciona a relevância de promover produtos e serviços ecologicamente corretos por meio de licitações públicas, referindo-se a documentos como o Guia de Compras Públicas Sustentáveis (Brasil, 2010) e a Lei nº 8.666/1993, conhecida como a Lei Geral de Licitações (Brasil, 1993).

O potencial da tecnologia e da automação em iniciativas de eficiência energética é mencionado pelo autor, destacando o uso de sensores, controles automatizados e sistemas inteligentes para reduzir o consumo de energia. Exemplos como o uso de sensores de movimento para controle de iluminação e a integração de sistemas inteligentes de gerenciamento de prédios são citados no trabalho. Contudo, Ribeiro Filho (2014) enfatiza os desafios enfrentados ao implementar medidas de eficiência energética em prédios públicos. A resistência à mudança, a falta de conscientização e orçamentos limitados são barreiras encontradas com frequência quando se busca aplicar práticas de eficiência energética. Cita também a importância da educação, do treinamento e da comunicação para promover uma cultura de eficiência energética.

De uma maneira geral, o trabalho desenvolvido por Ribeiro Filho (2014) pode contribuir no desenvolvimento de estudos de eficiência energética em edifícios públicos, não apenas no Brasil, mas também em um contexto mais amplo. O estudo é um exemplo de como a análise de dados, a utilização de tecnologias emergentes e o planejamento estratégico podem resultar em soluções práticas e eficientes para a redução do consumo de energia, destacando-se como uma importante base para o desenvolvimento de futuros estudos na área de eficiência energética em edificações, tanto públicas quanto privadas.

Citando um contexto geral, a eficiência energética é um item muito importante para as políticas de sustentabilidade e economia de baixo carbono do setor energético brasileiro. Devemos considerar que o uso racional da energia reduz desperdícios e, como resultado, possibilita um menor consumo. No contexto nacional, projetos de eficiência energética englobam desde a melhoria e modernização de equipamentos e edificações, até o aprimoramento de processos industriais e de transportes.

De acordo com dados fornecidos pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), entre 2005 e 2022, o Brasil obteve um ganho médio de eficiência de 8,2%, conforme o indicador ODEX, que mede o consumo energético específico por setor (Energia Megawhat, 2023). Esse resultado foi viabilizado por meio de políticas públicas

contínuas, como o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e o Programa de Eficiência Energética (PEE), que são programas regulamentados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). O PEE investiu cerca de R$ 7,87 bilhões em mais de 4.800 projetos entre 1998 e 2020, resultando em uma economia de aproximadamente 63,6 TWh e na redução de 2,8 GW na demanda durante o horário de pico (Aneel, 2023).

A Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear e Binacional S.A (ENBPar) reporta que a eficiência energética foi responsável, em 2022, por proporcionar uma economia equivalente a 4,3% da energia total consumida no país (ENBPar, 2023). Estes resultados mostram a importância dos programas públicos, como o PROCEL, o CONPET (Brasil, 1991) e o PotencializEE (Brasil, 2024), sendo o último voltado ao setor industrial. O PotencializEE, segundo estimativas do Ministério de Minas e Energia, poderá gerar uma economia de R$ 10 bilhões até 2050 e evitar a emissão de aproximadamente 4,5 milhões de toneladas de CO_2 equivalente (Agência Gov, 2023).

Trazendo um panorama do setor residencial, o Atlas da Eficiência Energética da EPE indica que as habitações brasileiras se tornaram aproximadamente 20% mais eficientes nas últimas décadas, principalmente devido à utilização de lâmpadas LED em lugar dos outros tipos, como a incandescente, por exemplo, e por utilização de eletrodomésticos mais eficientes. Acrescente-se a isso o fato de que, com os programas mencionados anteriormente, os consumidores estão mais conscientes (EPE, 2023). Apesar desses avanços, ainda há espaço para melhorias, especialmente na indústria e nas edificações comerciais, nas quais as barreiras de financiamento, fiscalização e conscientização dificultam a adoção de tecnologias mais eficientes (Silva; Sousa, 2024).

Apesar do bom desempenho, o Brasil ainda enfrenta grandes desafios. A implementação das políticas é desigual entre os estados, e muitos projetos esbarram em limitações orçamentárias ou técnicas. Outro ponto crítico é a falta de integração entre políticas setoriais, como energia, habitação, transporte e indústria, o que reduz a eficácia dos programas (Silva; Sousa, 2024). Outro fator significativo é o da pobreza energética que ainda afeta milhões de brasileiros, e políticas de eficiência têm sido consideradas uma ferramenta para reduzir custos e garantir acesso mais justo à energia (Agência Gov, 2025).

Por outro lado, o Brasil apresenta algumas vantagens competitivas importantes, pois a sua matriz elétrica é composta, em sua maioria, por fontes renováveis, como hidrelétricas, eólicas, solares e biomassa, por exemplo, o que potencializa os ganhos ambientais associados à eficiência (PWC Brasil, 2024). Os investimentos em pesquisa e desenvolvimento também vêm crescendo. Entre 2013 e 2022, foram investidos quase R$ 5 bilhões em P&D voltados à eficiência energética (Brasil, 2023).

Para o futuro, pode-se esperar melhores e mais eficientes ações e resultados, pois a busca por modernidade nas edificações, o uso de sensores e sistemas inteligentes e a ampliação de programas de incentivo devem fortalecer ainda mais o setor (EPE, 2023). A eficiência energética não apenas reduz custos e emissões, mas também contribui para a segurança energética e o desenvolvimento sustentável. Assim, consolidar políticas integradas e permanentes é fundamental para que o Brasil continue avançando nesse campo estratégico (Brasil, 2023).

O histórico de políticas públicas de eficiência energética no Brasil se inicia com a criação do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE Edifica), em 1984, e a promulgação da Lei de Eficiência Energética - Lei nº 10.295/2001 (Brasil, 2001). No entanto, para o setor de edificações, a principal ferramenta foi, por anos, o PBE Edifica (criado em 2009), que tem a sua utilização atualmente, sob um regime de adesão voluntária.

A mudança de paradigma apresentada nos estudos recentes da EPE e do Ministério de Minas e Energia (MME) aponta para a implementação de Índices Mínimos de Eficiência Energética, MEPS - Minimum Energy Performance Standards (Maia et al., 2025). Esta transição é baseada em uma Avaliação de Impacto Regulatório (AIR), conforme diretrizes da Lei nº 13.874/2019 - Lei da Liberdade Econômica (Brasil, 2019), que visa solucionar pendências como a baixa aderência do mercado e a carência de um marco legal impositivo. A proposta é transformar a eficiência, de um diferencial de mercado em um requisito básico de conformidade técnica (Maia et al., 2025).

Dentro das opções de cenário apresentadas no Quadro 1, o estudo técnico propõe a adoção de um novo cenário, que é uma junção dos cenários 3 e 4 com algumas ponderações dos dois, em um modelo escalonado para implementação durante 15 anos, se iniciando em 2026.

Quadro 1 - Resumo dos Cenários

Cenário 0 – não ação	Atual: Público Federal (Novos e Reformas): devem atingir nível A da ENCE
Cenário 1 - conservador	Fase única: Público Federal (Novos e Reformas): devem atingir nível A da ENCE. Residencial, Comercial e de serviços e demais esferas de edifícios públicos (Novos e Reformas): devem ser todos etiquetados. Existentes: não incluídos.
Cenário 2 - ousado	Fase 1: Etiquetado (sem nível mínimo) Fase 2: Público, Federal, Estadual e Municipal, (Novos e Reformas): nível A. Residencial, Comercial e serviços (Novos e Reformas): nível C. Existentes: Etiquetados.
Cenário 3 - flexível	Meta: final até 15 anos Público, Federal, Estadual e Municipal, (Novos e Reformas): nível A. Residencial, Comercial e serviços (Novos e reformas): nível C. Existentes: Não incluídos.
Cenário 4 - normativo	Meta: Público Federal (Novos e Reformas): nível A. Residencial, Comercial e serviços e demais esferas de edifícios públicos (Novos): nível C. Demais tipologias (Reformas): não incluídas. Todas as tipologias Existentes: não incluídos.

Fonte - PROCEL, 2022

O cenário definido para a implementação do MEPS foi pensado para acontecer de forma escalonada, permitindo uma adaptação gradual dos agentes perante as novas exigências. E, para impulsionar o mercado e servir de referência, a esfera pública federal assume o protagonismo no processo da implementação (Maia et al., 2025). A seguir, um resumo das diretrizes da proposta:

1. Tipologia da edificação: edifícios residenciais, comerciais, públicos e de serviços.

2. Implementação por fases: para permitir ajustes e preparação do setor.

3. Integração com as políticas: Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE Edifica) e normas técnicas de desempenho termo energético.

4. Plano de implementação para a política.

O Quadro 2 mostra como deverá ser a implementação dos Índices Mínimos de Eficiência Energética (MEPS) em edificações: públicas, comerciais, de serviços, residenciais e de habitação de interesse social (HIS). A previsão de implementação é de 15 anos, com início previsto para 2026. Os níveis de classificações variam entre as classificações "C", "A" e "NZEB" (Nearly Zero Energy Building – Edificação de Consumo de Energia Quase Nulo), de acordo com o tipo e o porte da edificação, com abrangência nacional. Para o Estado do Rio Grande do Sul, foi proposta uma postergação no início dos prazos, devido às enchentes em 2024.

Quadro 2 - Cronograma de Implementação do MEPS

Edificações			**2026**	**2027**	**2030**	**2032**	**2035**	**2037**	**2040**
			Índices Mínimos de EE - (MEPS)						
Público	Federal		A	A	A	A	NZEB	NZEB	NZEB
		RS		A	A	A	A	NZEB	NZEB
	Estadual					A	A	NZEB	NZEB
	Municipal	>100 mil hab					A	A	NZEB
		>50 mil hab							A
Comercial, Serviços e Residencial		>100 mil hab			C	C	C	C	C
		>50 mil hab							C
HIS					C	C	C	C	C

Fonte - Maia et al., 2025

São considerados NZEB os edifícios com a classificação A da Etiqueta Nacional de Classificação Energética (ENCE), que possuem produção de energia renovável in loco que atende ao menos 50% da demanda anual de energia primária, exceto quando demonstrada a inviabilidade de geração.

A implementação dos MEPS sinaliza que o setor de edificações comerciais não poderá mais ignorar o desempenho energético em favor apenas da estética ou do custo imediato de construção. A integração com normas técnicas de desempenho termoenergético e o cronograma de obrigatoriedade (2027-2040) estabelecem um horizonte claro: a eficiência energética passará a ser um pré-requisito de licenciamento e operação.

Para o setor comercial, isso implica em uma transição para edificações que busquem, a longo prazo, o padrão NZEB (Nearly Zero Energy Building), em que o edifício não apenas consome o mínimo possível, mas também integra soluções de geração renovável local.

2.2 Conforto Térmico

De acordo com Rezaie e Bozorgi-Amiri (2021), existem atualmente inúmeros estudos focados na melhoria da eficiência energética em edifícios que normalmente sugerem melhorias diretas nas edificações através de estudos qualitativos, como troca de equipamentos e mudanças na utilização. Contudo, os autores propuseram uma modelagem matemática estruturada com o objetivo de trazer resultados eficientes de forma quantitativa. O estudo sugere novas regulações e políticas com o objetivo de redução do consumo energético (Rezaie *et al*., 2021). Isso mostra que, apesar de alguns estudos que propõem métodos quantitativos identificarem as melhores estratégias para maximizar os ganhos, ainda é um problema que causa discussão e que necessita de maior atenção.

Uma das melhores formas de se identificar as boas estratégias de modernização dos sistemas de edifícios é a modelagem. Um modelo matemático auxilia a procurar as melhores respostas, e que atendem à maior parte dos objetivos. Atualmente, vários estudos desenvolvem modelos matemáticos que ajudam a determinar melhorias em diferentes condições. Esses estudos têm levado em conta, cada vez mais a envoltória dos edifícios, como telhados e paredes, pois alguns estudos anteriores consideravam apenas os sistemas, como iluminação, sistemas de HVAC, motores, e não se atentavam à estrutura dos edifícios, como a pesquisa de Melo (2018), onde se realiza um estudo por meio da modelagem de edifícios utilizando o software Energy Plus para determinar os parâmetros de temperatura com o uso de diferentes tipos de materiais.

Além de todos os esforços para se determinar as melhorias da eficiência energética nos equipamentos, como estudos de substituições, investimentos e *paybacks*, deve-se buscar o que pode ser melhorado na estrutura do edifício para promover o avanço da eficiência energética, com os melhores resultados possíveis, o melhor *payback* com o menor impacto ambiental.

A envoltória de edificações, composta por cobertura, fachadas, vãos e paredes, tem muita importância no equilíbrio térmico de edifícios comerciais. Melhorias nessa camada têm interferência direta na redução do aquecimento dos ambientes, podendo diminuir as cargas de resfriamento e melhorar o desempenho energético dos sistemas de ar-condicionado, com benefícios econômicos e de conforto térmico (Ashtari, 2021).

No Brasil, existem trabalhos experimentais e de simulação aplicados a diferentes bioclimas, incluindo análises de envoltória de agências bancárias e edifícios públicos (Krüger, 2012), estudos de coberturas verdes em Florianópolis e avaliações de cool/green roofs em cidades brasileiras que mostram benefícios em termos de consumo e conforto (Scolaro et al., 2024). Esses estudos ressaltam a necessidade de adaptar soluções às condições climáticas locais, ventilação e práticas construtivas nacionais.

A adoção de medidas de melhoria na envoltória reduz a carga térmica, permitindo que seja realizado um redimensionamento de unidades de ar-condicionado, e utilização de critérios com os coeficientes de performance (COP) mais favoráveis e redução de horas de operação em regimes de pico. Porém, estudos sobre retrofit mostram que nem sempre a atualização do sistema de ar-condicionado, isoladamente, é economicamente viável sem considerar a envoltória, a combinação de um “envelope” eficiente com a modernização de sistemas, tende a oferecer um melhor retorno, com melhores resultados.

As principais ações originadas dos estudos são, priorizar controle solar (sombrites, fachadas orientadas) e isolamento adequado conforme a zona bioclimática. Nos telhados, considerar *cool roofs* ou *green roofs* quando compatíveis com a estrutura e uso do edifício. Nos vãos, integrar soluções com ventilação natural sempre que possível, reduzindo dependência de ar-condicionado. Sobre os softwares para projetos de climatização, tem-se alguns disponíveis como o software Hourly Analysis Program (HAP), o EnergyPlus, DesignBuilder, entre outros, que realizam simulações dinâmicas para dimensionar isolamento, reflexividade e sistemas HVAC, possibilitando estudos para avaliar o custo-benefício e durabilidade, os ganhos iniciais e a redução com a degradação, e com isso, fazer especificações e certificações de materiais com importante representatividade para melhorias energéticas (Lamberts et al., 2014; Ibrahim et al., 2026).

Portanto, melhorar a envoltória de edifícios comerciais (reflexividade de coberturas, vegetação, isolamento, controle solar e fachadas ventiladas) é uma das formas mais eficazes e de rápida implementação para reduzir temperatura interna e a carga sobre sistemas de ar-condicionado. Estudos brasileiros e internacionais demonstram ganhos médios substanciais, mas os resultados dependem fortemente da integração entre projetos, clima local e manutenção. Projetos de reforma e novas edificações devem priorizar a abordagem de integração entre a envoltória e os

sistemas de luminotécnica e condicionamento de ar e basear decisões em simulação através de softwares e evidências experimentais in loco (Pérez-Lombard et al., 2008; IEA, 2018).

É imperativo destacar que o presente estudo se fundamenta na análise de edificações já existentes, cujas variáveis de envoltória foram integralmente parametrizadas tanto na planilha do INI-C quanto nas simulações dinâmicas via software HAP. Embora as condições atuais da envoltória tenham sido inseridas no modelo para garantir a fidedignidade dos resultados, a proposição de alterações estruturais severas — tais como a troca de materiais de revestimento ou substituição de esquadrias — excede o escopo desta pesquisa, visto que tais intervenções demandam investimentos de alta monta, muitas vezes inviáveis sob a ótica econômica. Assim, o foco recai sobre soluções de otimização energética que apresentem melhor relação custo-benefício, oferecendo subsídios técnicos aplicáveis ao Campus II da PUC-Campinas e passíveis de replicação em outros contextos educacionais semelhantes.

2.3 Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE Edifica, Certificações: LEED, AQUA-HQE e Selo Azul Caixa

Data-se de 1984 o início dos programas brasileiros de etiquetagem com a preocupação de melhoria da eficiência energética, com o “Programa de Conservação de Energia Elétrica de Eletrodomésticos”, e que posteriormente, foi oficializado como Programa Brasileiro de Etiquetagem em 1992 (Inmetro, 2024). Desde então, os programas visam principalmente, melhorar as informações aos consumidores sobre eficiência energética, para que sejam feitas escolhas conscientes. Com isso, a ideia é que seja possível diminuir os investimentos em infraestrutura de geração e distribuição de energia elétrica. No manual do Plano Brasileiro de Etiquetagem, destacam-se as vantagens de se investir em programas que melhorem a eficiência energética no Brasil e no mundo, como por exemplo a melhoria de qualidade e eficiência dos produtos, incentivo à inovação e competitividade, promoção de práticas de produção sustentáveis, redução do desperdício de recursos e minimização do impacto ambiental.

Para apoiar o governo brasileiro nas ações de etiquetagem em edificações, destaca-se o Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E),

localizado em Santa Catarina (CB3E, 2024). O CB3E foi criado para oferecer acompanhamento técnico especializado na implementação do Programa de Etiquetagem em Edificações, além de apoiar a ELETROBRAS/PROCEL. Baseado no envolvimento da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) no tema de eficiência energética, no qual a universidade busca ser referência, o CB3E visa formar recursos humanos e desenvolver diretrizes para construções de alto desempenho, promovendo o uso eficiente de recursos naturais e a redução do consumo elétrico. Seus objetivos incluem o suporte contínuo ao PBE Edifica, a interação com a indústria em normalização de materiais, tornar-se um centro internacional de referência em medição de propriedades ópticas e térmicas, e atuar como um observatório tecnológico em áreas correlatas, impulsionando a sustentabilidade no setor da construção.

Tratando-se do tema etiquetagem, as certificações de sustentabilidade de edificações válidas no território brasileiro podem ser instrumentos importantes na melhoria da eficiência energética dos edifícios comerciais e residenciais, proporcionando uma significativa redução de consumo de energia elétrica e diminuição da emissão de gases do efeito estufa. As certificações de sustentabilidade para edificações visam atestar desempenho ambiental, social e econômico ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos, orientar práticas construtivas sustentáveis e sinalizar benefícios para investidores, proprietários e usuários. No Brasil, sistemas reconhecidos internacionalmente como o Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) e AQUA-HQE, e iniciativas nacionais, como o Selo Casa Azul da CAIXA, têm papéis complementares. O LEED é amplamente adotado por edifícios comerciais e corporativos; o AQUA-HQE foca em alta qualidade ambiental com ênfase técnica e de processo; e o Selo Casa Azul orienta o segmento habitacional e políticas públicas de habitação (GBC Brasil, 2024; Vanzolini, 2023; Caixa, 2024).

O LEED, desenvolvido pelo U.S. Green Building Council (USGBC), é um sistema de classificação por pontos que avalia múltiplas categorias — gestão de água, energia e atmosfera, materiais e recursos, qualidade ambiental interna, local e transporte, entre outras (USGBC, s.d.; GBC Brasil, 2024). No Brasil, o GBC Brasil (Green Building Council Brasil) operacionaliza a difusão e certificação LEED, que se tornou referência para escritórios, shopping centers e prédios institucionais. O LEED oferece níveis de certificação (Certified, Silver, Gold, Platinum), incentivando a melhoria contínua por meio de créditos técnicos. Sua adoção tem mostrado efeitos na

redução do consumo energético e na valorização de imóveis. O mercado brasileiro figura entre os líderes mundiais em área certificada LEED (GBCI, 2025). De acordo com o ranking anual do U.S. Green Building Council (USGBC, 2025), o Brasil consolidou sua posição entre os dez maiores mercados do mundo para construções verdes, ocupando o nono lugar global. Em 2024, o país alcançou a marca de 125 projetos certificados, somando mais de 2 milhões de m² de área operando sob os rigorosos padrões de eficiência energética e ambiental da GBCI.

Dentre seus pontos fortes, o LEED é consolidado internacionalmente, possui metodologia robusta de verificação documental e medições (quando aplicável), e facilita comparabilidade entre portfólios. Por outro lado, entende-se como limitações o fato de que a ênfase em desempenho por pontos pode tornar o processo custoso e, se mal adaptado ao clima tropical, exigir ajustes locais na priorização de créditos.

O AQUA-HQE deriva do sistema francês HQE e, no Brasil, é aplicado com exclusividade pela Fundação Carlos Alberto Vanzolini (Vanzolini, 2023). Ele se diferencia por enfatizar o controle de procedimentos e a qualidade em todas as fases do empreendimento, concepção, execução e operação, buscando impactos positivos mensuráveis sobre recursos hídricos, energia, resíduos e saúde ambiental (Vanzolini, 2023). Estudos de implantação indicam que projetos certificados AQUA tendem a exigir um controle mais rigoroso de processo construtivo e gestão de obra, resultando em ganhos operacionais e redução de passivos ambientais.

Dentre seus pontos fortes, o programa tem uma abordagem orientada ao processo, com forte ênfase em gestão; boa adequação a projetos complexos e de uso misto. Suas limitações são a menor escala de adoção que o LEED no Brasil e necessidade de avaliadores/consultores especializados. Custos e prazos de certificação podem ser barreiras para alguns investidores.

O Selo Casa Azul CAIXA é um sistema de classificação de sustentabilidade criado para o segmento habitacional financiado pela CAIXA e voltado a projetos residenciais (unidades isoladas, empreendimentos). Reestruturado em 2020 e com versões posteriores (guia atualizado 2024), o Selo Casa Azul avalia categorias como qualidade urbana, projeto e conforto, eficiência energética, gestão da água, conservação de materiais e práticas sociais, e é outorgado em níveis (diversas graduações de reconhecimento) e em duas etapas: Projetar e Habitar (Caixa, 2020/2024). O objetivo do Selo é promover habitação mais sustentável, reduzir custos

operacionais dos moradores e inserir critérios ESG no financiamento habitacional (Caixa, 2024).

Os pontos fortes do sistema são a orientação específica para habitação social e financiada; incentivos financeiros e de políticas públicas; critérios adaptados à realidade brasileira. Suas limitações são a aplicação concentrada no segmento habitacional (menos orientado a edifícios comerciais) e necessidade de maior divulgação técnica e capacitação em nível local. Estudos de caso apontam que, na prática, muitos dos empreendimentos atingem somente patamares intermediários por barreiras técnicas e de custo (Reis, 2023).

Do ponto de vista de custo-benefício e mercado, as certificações tendem a aumentar custos iniciais (consultoria, documentação, adaptações), porém, podem gerar valorização do imóvel, economia operacional e acesso a financiamentos e incentivos, especialmente no caso do Selo Casa Azul, que se integra a linhas de financiamento da CAIXA. No mercado corporativo, o selo LEED ainda agrega maior reconhecimento internacional.

Tanto o selo PBE Edifica quanto as certificações de sustentabilidade de edificações, são fortes aliados da melhoria da eficiência energética, pois trazem incentivos mais fortes aos órgãos e instituições a buscarem essa melhoria de fato, para que obtenham concessões e benefícios mais palpáveis, e que tragam retorno significativo ao empreendimento, por intermédio da melhor valorização e da diminuição dos custos operacionais.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa tem como objetivo verificar as principais estratégias de melhoria da eficiência energética em edificações, com foco na sua interação com o conforto térmico. A pesquisa analisa diferentes tecnologias e metodologias para otimizar o desempenho energético, considerando aspectos como a orientação solar, a escolha de materiais de construção, os sistemas de climatização e os hábitos dos ocupantes. Um estudo aprofundado da normatização e legislação vigente no âmbito da construção sustentável, em particular no que se refere à eficiência energética e ao conforto térmico, constitui um elemento essencial desta pesquisa. Neste trabalho foram utilizados os conceitos de classificação de edificações de acordo com o Programa Nacional de Etiquetagem, que utiliza a norma INI-C, Instrução Normativa do Inmetro – Comercial, essa norma baseia-se em uma comparação do estado atual da edificação sob análise em termos de eficiência energética (condição original), com valores de referência que seriam classificados como um desempenho D, em uma escala de A até E, e por meio desta comparação, se obtém a redução de consumo energético com relação ao nível comparado, a partir disso, se classifica a edificação com a letra correspondente à redução de consumo alcançada.

Com o desenvolvimento desta análise, baseada na instrução normativa do INMETRO, INI-C (Instrução Normativa do Inmetro – Edificações Comerciais), que é o documento que regulamenta a classificação de edificações para o programa PBE Edifica, pretende-se obter parâmetros para análise e comparação com métodos de dimensionamento de iluminação, ar-condicionado e envoltória.

O trabalho compreende ainda o desenvolvimento de modelos de simulação computacional para avaliar o desempenho energético e o conforto térmico de diferentes cenários de projeto, considerando as peculiaridades climáticas e arquitetônicas de um estudo de caso, englobando os Blocos A, B e C do Campus II da Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas). Os resultados obtidos através da simulação são comparados com dados reais de projeto, e com valores de referência estabelecidos na literatura, visando à validação dos modelos e a identificação das melhores estratégias para otimizar simultaneamente a eficiência energética e o conforto térmico. O trabalho também analisa as implicações econômicas associadas à implementação dessas estratégias, avaliando potenciais

economias de consumo e potência instalada que podem trazer, se implantadas, benefícios consideráveis para melhora do aproveitamento energético das edificações.

A metodologia proposta para este trabalho engloba uma revisão sistemática da literatura científica sobre eficiência energética em edificações e conforto térmico, buscando identificar as principais tendências e inovações tecnológicas na área.

A pesquisa bibliográfica é complementada pelo uso de modelos de simulação computacional, utilizando o software Hourly Analysis Program (HAP) do fabricante Carrier, para avaliar o desempenho energético e térmico de diferentes soluções construtivas e sistemas de climatização. Os modelos de simulação são parametrizados com base em dados climáticos da região de Campinas, e em dados geométricos e construtivos das edificações que são objetos desse estudo.

A análise dos resultados permitiu a comparação do desempenho energético e do conforto térmico entre diferentes cenários de projeto, identificando as estratégias mais eficientes para otimizar simultaneamente esses dois aspectos. Além da análise quantitativa, é realizada uma análise qualitativa, considerando as implicações práticas da implementação das diferentes estratégias, incluindo aspectos relacionados à viabilidade econômica e à aceitabilidade pelos usuários.

Por fim, é realizada uma discussão dos resultados obtidos, destacando as principais conclusões e suas implicações para o projeto e operação de edificações sustentáveis. São apresentadas recomendações para futuras pesquisas e propostas de ações para a promoção da eficiência energética e do conforto térmico em edificações, contribuindo para um ambiente construído mais sustentável e que promova um melhor bem-estar para os seus ocupantes. A expectativa é que este trabalho contribua para um melhor entendimento da sinergia entre eficiência energética e conforto térmico, oferecendo subsídios para o desenvolvimento de projetos mais sustentáveis e adequados às necessidades dos usuários.

A metodologia proposta se estrutura em quatro etapas principais, detalhadas a seguir.

A primeira etapa consiste em atender os objetivos específicos da pesquisa, buscando responder a questões relacionadas com o nível atual de eficiência energética dos edifícios em estudo. Essa análise busca determinar o ponto de partida para a implementação de medidas de otimização, quantificando o consumo energético atual e comparando-o com *benchmarks* e padrões de referência. A segunda etapa consiste em determinar quais as áreas com maior potencial de otimização. A

identificação das áreas com maior potencial de redução de consumo energético permite direcionar os esforços de intervenção e priorizar as ações com maior impacto. Após a verificação do nível de eficiência energética em que o edifício se encontra e das áreas que apresentam maior potencial de redução, na terceira etapa é necessário determinar quais são os tipos de intervenção que podem ser implementados para melhorar a eficiência energética do edifício. A análise abrange a identificação de tecnologias e medidas viáveis para a redução do consumo energético, considerando aspectos como a integração de sistemas de energia renovável, a otimização dos sistemas de iluminação e climatização, a implementação de tecnologias de automação predial e a adoção de práticas de gestão energética. Na quarta e última etapa da metodologia foram estudados os impactos esperados das intervenções em termos de redução de consumo energético, custos operacionais e emissão de gases de efeito estufa. A avaliação dos impactos esperados das intervenções permite quantificar os benefícios da aplicação da metodologia proposta, demonstrando sua contribuição para a sustentabilidade ambiental e econômica.

Como suporte ao desenvolvimento deste trabalho, serão utilizadas ferramentas de Inteligência Artificial Generativa (IA). O modelo de linguagem Google Gemini será empregado exclusivamente para a revisão linguística, refinamento estilístico e adequação do texto ao formato acadêmico. Adicionalmente, se utilizará o ChatGPT Imagens (OpenAI) para a adaptação e refinamento estético de figuras e esquemas ilustrativos. Salienta-se que o uso destas tecnologias visa apenas o aprimoramento da forma e clareza da exposição, sendo todo o conteúdo técnico, cálculos, simulações e conclusões de inteira responsabilidade e autoria do autor desta dissertação.

3.1 Estudo de Caso

A metodologia proposta é aplicada em um estudo de caso real, com o objetivo de analisar a eficiência energética de edifícios existentes, que são os Blocos A, B e C do Campus II da PUC-Campinas. Esse estudo de caso visa demonstrar a aplicabilidade da metodologia proposta e validar sua capacidade de gerar resultados práticos e relevantes para a tomada de decisão. Os resultados da análise permitem identificar as áreas com maior potencial de otimização, bem como propor alternativas para melhoria da eficiência energética. A partir dos resultados do estudo de caso, são desenvolvidos cenários de intervenção, com diferentes combinações de tecnologias e

medidas de eficiência energética. As alternativas propostas são avaliadas em termos de viabilidade técnica, custo-benefício e impacto ambiental, com o objetivo de indicar as soluções mais adequadas para o edifício em estudo.

Com o objetivo de se analisar os dados e obter a classificação energética do edifício, foi realizado o levantamento dos dados da iluminação, dos sistemas de climatização e da envoltória, e, com base nesses dados, foi realizada uma primeira análise, classificando os edifícios em cada uma destas áreas, e com a junção das três, obter a classificação geral de cada edifício.

3.2 Análise dos Dados e Aplicação da Metodologia

No início da análise de dados, foram coletadas informações relevantes sobre os edifícios objetos de estudo, abrangendo aspectos da envoltória, iluminação e climatização. Foram consultados projetos arquitetônicos e de sistemas térmicos, além de levantamentos in loco para identificar materiais construtivos, tipos de aberturas (janelas), cores de superfícies (paredes, teto e piso), presença de brises, modelos de luminárias, layout e a existência de sistemas de automação.

Adicionalmente, foram obtidos dados junto à universidade sobre o uso das edificações, tais como horários de aula, ocupação de salas e laboratórios, programação dos sistemas de climatização (incluindo a renovação de ar) e o uso de equipamentos elétricos e de iluminação, fatores que influenciam diretamente a carga térmica dos blocos.

Após a conclusão da primeira etapa de coleta, procedeu-se à segunda fase: a execução de simulações com as características originais dos edifícios. Nesta etapa, obtiveram-se os resultados da etiquetagem pelo INI-C (PBE Edifica), a aplicação do método dos lúmens e a simulação computacional inicial do sistema de climatização em sua configuração atual.

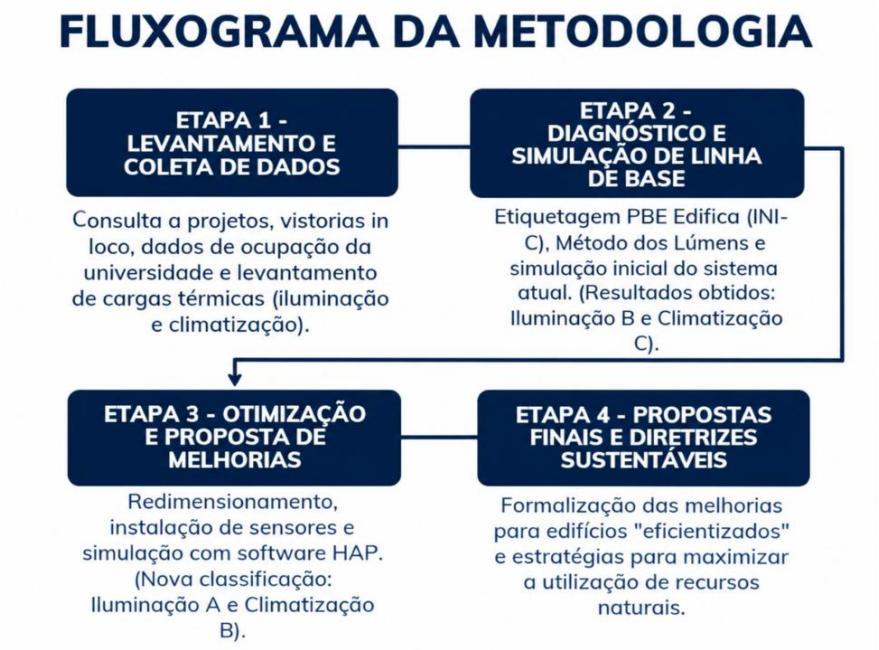
A partir desta análise, identificaram-se oportunidades de melhoria na eficiência energética tanto da luminotécnica quanto da climatização. Constatou-se que a iluminação recebeu classificação B e a climatização atingiu o nível C, revelando potencial para otimização em ambos os sistemas.

Na sequência, realizou-se a terceira etapa metodológica, na qual os sistemas foram novamente simulados com as melhorias propostas, tais como o redimensionamento por meio do método dos lúmens e a instalação de sensores de

presença na iluminação. Para a climatização, utilizou-se o software Hourly Analysis Program (HAP), resultando em melhorias termoenergéticas no sistema de renovação de ar. Com base nesses novos dimensionamentos, obteve-se uma nova classificação pela Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), elevando a iluminação para o nível A e o condicionamento de ar para o nível B.

Para encerrar o ciclo metodológico, na quarta e última etapa, as melhorias identificadas foram formalmente propostas. Destaca-se que, mesmo em edifícios que já passaram por processos de melhoria de eficiência, estudos contínuos são fundamentais para identificar novas oportunidades de melhoria energética, elevando o padrão de sustentabilidade da instituição por meio da melhor utilização dos recursos naturais. Segue na Figura 1, o fluxograma da metodologia dividida em etapas:

Figura 1 - Etapas da Metodologia



Fonte – Elaborado pelo próprio autor, 2026.

3.2.1 Metodologia de Cálculo Luminotécnico por meio do Método dos Lúmens

Neste caso utiliza-se a Norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 – Iluminância de Ambientes de Trabalho – Parte 1: Interiores, nos ambientes dos edifícios objeto de estudo, que são os Blocos A, B e C do Campus II da PUC Campinas, a qual foi aplicada para determinação do índice de iluminância mínima de cada ambiente.

Conforme aponta Creder (2021), o Método dos Lúmens é o procedimento analítico mais difundido na engenharia luminotécnica para o dimensionamento de sistemas de iluminação geral. O seu objetivo principal é determinar a quantidade de fluxo luminoso total necessário para garantir um nível de iluminância média (E) uniforme sobre um plano de trabalho horizontal, considerando as características geométricas do ambiente e os fatores de perda de luz (Mamede Filho, 2017). Este método baseia-se no princípio da conservação de energia, assumindo que o fluxo luminoso emitido pelas fontes (lâmpadas/luminárias) será distribuído na área do recinto, sofrendo atenuações devido à absorção pelas superfícies (paredes, teto, piso) e pela depreciação do próprio equipamento ao longo do tempo.

A norma estabelece os valores mínimos de iluminância média em serviços de iluminação artificial de interiores, onde se realizem atividades de comércio, indústria, ensino, esporte e outras.

Neste estudo utilizou-se o método dos lúmens, que basicamente segue a teoria de transferência de fluxos, e foi desenvolvido para proporcionar cálculos manuais dos sistemas de iluminação. Este método tem como finalidade fornecer o cálculo do valor médio de serviço, de um local dotado de iluminação geral distribuída.

Para exemplificar o procedimento de cálculo do método dos lúmens, a seguir são mostrados os cálculos relativos a um ambiente das edificações. E na seção “Resultados”, uma tabela mostra os valores gerais obtidos para todos os ambientes dos blocos objetos de estudo.

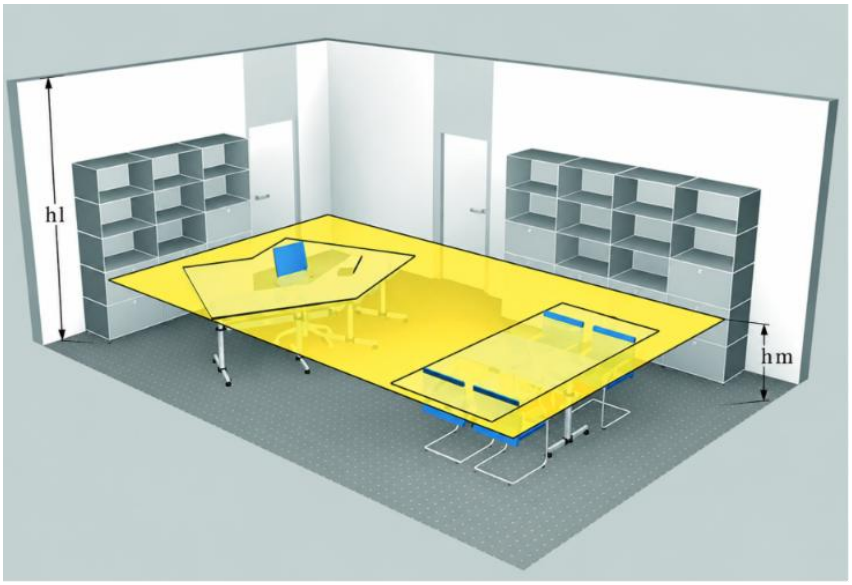
Utilizando uma das salas como modelo e exemplo, nas etapas seguintes, são apresentados a sequência de cálculos de luminotécnica pelo método dos lúmens, assim como os critérios utilizados.

Dimensões do ambiente:

- Pé-direito (pd)
- Distância entre as luminárias e o piso (pd - hl)
- Distância entre o plano de trabalho e as luminárias ($hu = hl$ - hm)
- Área (A)
- Largura do ambiente (l)
- Comprimento do ambiente (C)

Na Figura 2, são apresentadas, para maior clareza, as dimensões "*hl*" e "*hm*" utilizadas no método dos lúmens, conforme esse exemplo.

Figura 2 - Definição dos indicadores dimensionais do ambiente



Fonte – Adaptado de ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, (2013, p. 27)

De acordo com o item 28 da tabela de iluminância da Norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, parcialmente mostrado no Quadro 3, a iluminância de salas de aula deve ser E, para conforme o quadro no item: Salas de aulas, salas de aulas particulares.

Quadro 3 - Iluminância de ambientes por tipo de atividade.

28. Construções educacionais				
Brinquedoteca	300	19	80	
Berçário	300	19	80	
Sala dos profissionais do berçário	300	19	80	
Salas de aula, salas de aulas particulares	300	19	80	Recomenda-se que a iluminação seja controlável.
Salas de aulas noturnas, classes e educação de adultos	500	19	80	

Fonte - ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, (2013, p. 20)

Para os cálculos deve-se considerar também o fator de depreciação e o coeficiente de utilização das luminárias, de acordo com a norma de luminotécnica, assim como os demais itens listados.

O fator de depreciação das luminárias (d) relaciona o fluxo emitido próximo ao período de manutenção com o fluxo inicial daquela luminária, portanto, quanto mais próximo da unidade for esse índice, significa que o fluxo emitido é melhor. Para essa pesquisa, foi considerado que são feitas manutenções periódicas, mantendo as luminárias em um bom estado de limpeza e que essas manutenções ocorrem no máximo após 7.500h em funcionamento, conforme mostra o Quadro 4.

Quadro 4 - Fator de Depreciação de Luminárias

AMBIENTE	Período de Manutenção		
	2.500 h	5.000 h	7.500 h
Limpo	0,95	0,91	0,88
Normal	0,91	0,85	0,80
Sujo	0,80	0,66	0,57

Fonte – Adaptado da ABNT NBR ISO/CIE 8995-1

Portanto, o fator de depreciação (d) considerado será igual a 0,88.

Parâmetros para o Cálculo Luminotécnico - Para a determinação do número de luminárias e do fluxo luminoso necessário, utilizou-se o Método dos Lúmens. Este método baseia-se na geometria do recinto, nas características das superfícies e nas especificações técnicas dos equipamentos escolhidos.

Índice do Recinto (K) - O primeiro parâmetro estabelecido foi o Índice do Recinto (K), também denominado índice de cavidade do ambiente. Este índice é um valor adimensional que relaciona as dimensões de comprimento (c), largura (l) e a altura de montagem da luminária em relação ao plano de trabalho (hu), conforme a equação a seguir:

$$K = \frac{A}{h_u \cdot (c + \ell)}$$

No presente estudo, para o dimensionamento do ambiente utilizado como exemplo, o índice K calculado resultou em 1,85 de acordo com as dimensões geométricas do ambiente.

Refletância das superfícies - A eficiência da iluminação também depende da capacidade de reflexão das superfícies. As refletâncias (ρ) foram definidas de acordo com as cores de acabamento adotadas nos projetos dos edifícios, seguindo as recomendações de Creder (2021), conforme detalhado no Quadro 5.

Quadro 5 - Porcentagem de refletância de acordo com as cores

SUPERFÍCIE	REFLETÂNCIA
Muito clara	70%
Clara	50%
Média	30%
Escura	10%
Preta	0%

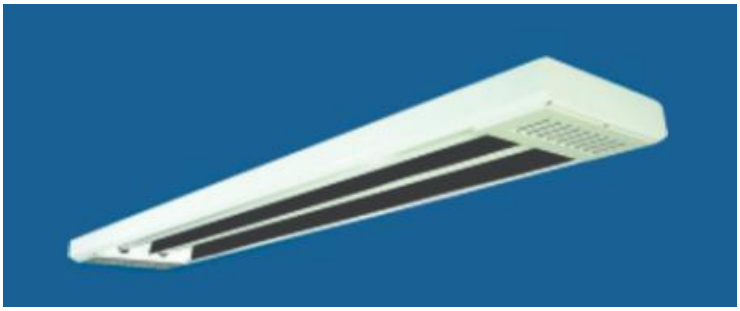
Fonte: Adaptado de Creder (2021, p. 166).

Para este estudo, adotou-se o padrão de cores claras para otimizar o aproveitamento da luz conforme os ambientes dos edifícios objeto de estudo, resultando nos seguintes índices:

- Teto (Branco): 70%
- Paredes (Branco): 50%
- Piso (Cinza): 20%

Especificações da luminária e lâmpada - As luminárias selecionadas para os edifícios são do fabricante Guarilux, modelo Rubi-S (Figura 3), equipadas com duas lâmpadas LED tubulares de 18W cada (Figura 4).

Figura 3 - Luminária Rubi-S (Guarilux)



Fonte: Guarilux (2024).

Figura 4 - Lâmpadas LED T8 utilizadas no estudo



Fonte: Acervo do próprio autor (2024).

O fluxo luminoso nominal de cada lâmpada é de 1.850 lúmens, conforme dados do fabricante (Figura 4). Portanto, o fluxo luminoso total por luminária (Φtotal) é:

Φtotal = 2 x fluxo por lâmpada

Fator de Utilização (u) - O Fator de Utilização (u) representa a eficiência global do conjunto luminária-ambiente. Este valor é obtido cruzando-se o Índice do Recinto (K) com as refletâncias das superfícies na tabela técnica fornecida pelo fabricante.

A Tabela 1 apresenta os coeficientes para a luminária Rubi-S, considerando as refletâncias de 70%, 50% e 20% (teto, paredes e piso, respectivamente).

Tabela 1 - Fator de Utilização (u) para a luminária Rubi-S

Índice do Recinto	Fator de Utilização (Fu)
0,60	0,38
0,80	0,45
1,00	0,51
1,25	0,57
1,50	0,61
2,00	0,67
2,50	0,71
3,00	0,74
4,00	0,77
5,00	0,80
Refletâncias:	
Teto: 70%, Paredes: 50%, Piso: 20%	

Fonte: Adaptado de Guarilux (2024).

Cruzando-se o Índice do Recinto (K = 1,85) com os índices de refletância adotados, obteve-se o Fator de Utilização de 0,61 (adotado um fator equivalente a 1,50 para se ter uma margem de segurança). Este valor indica que 61% do fluxo luminoso total emitido pelas lâmpadas atinge efetivamente o plano de trabalho.

Fluxo Total – É o fluxo luminoso necessário para cada ambiente, que corresponde ao produto da área pela luminância recomendada por norma (ABNT NBR ISO/CIE 8995-1), e a razão com o produto dos fatores de utilização e depreciação da luminária comentados anteriormente.

$$\phi = \frac{A \cdot E}{u \cdot d}$$

Número de Luminárias – Será fornecido pelo fluxo total dividido pelo fluxo luminoso de cada luminária.

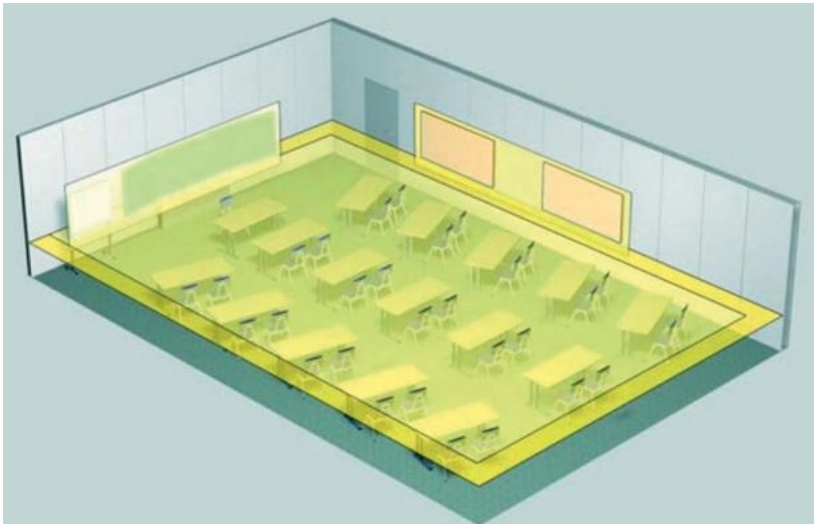
$$n = \frac{\phi}{\varphi}$$

Espaçamento Máximo entre Luminárias – O cálculo pelo método dos lúmens prevê a distância máxima entre as luminárias, para ajustar a distribuição delas no ambiente.

$$e_L = 1{,}5 \cdot h_u$$

A figura 5 mostra genericamente como devem estar distribuídos os locais de atuação em uma sala de aula, ilustrando a altura útil de trabalho e que deverá ser feita a distribuição uniforme das luminárias em toda sala de aula para proporcionar um bom conforto visual aos usuários.

Figura 5 - Disposição de uma sala de aula padrão



Fonte - ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, p. 29.

Iluminância Média Alcançada – Relacionando o número de luminárias recomendado (n), o fluxo luminoso de cada luminária (φ), mais fator de utilização (u), e o fator de depreciação (d), com as dimensões de comprimento (c) e largura (l), do ambiente, se obtém a iluminância média.

$$E_m = \frac{n \cdot \varphi \cdot u \cdot d}{c \cdot \ell}$$

Para se obter esse resultado de todos os ambientes dos Blocos A, B e C, do Campus II da PUC-Campinas, foi necessário aplicar as fórmulas de cálculo luminotécnico na totalidade dos edifícios, onde após o levantamento dos dados, foi utilizada uma planilha para que fossem computadas todas as informações e para se obter os índices de cálculos necessários. O Quadro 6 mostra todas as variáveis e índices utilizados nos cálculos de luminotécnica pelo método dos lúmens.

Quadro 6 - Índices e variáveis utilizadas para o cálculo luminotécnico

A	Área (m²)
c	Comprimento do ambiente (m)
l	Largura do ambiente (m)
pd	Altura do ambiente (m)
hu	Altura do plano de trabalho até a luminária (m)
E	Iluminância requerida (lux)
d	Fator de depreciação (%)
u	Fator de utilização (%)
φl	Fluxo da lâmpada (lumens)
φ	Fluxo da luminária (lumens)
IRP	índice de reflexão das paredes
IRT	índice de reflexão do teto
$IRPI$	índice de reflexão do piso
K	Fator K
Φ	Fluxo total (lumens)
n	Número de luminárias (unidade)
eL	Espaçamento máximo entre luminárias (m)
Em	Iluminância alcançada (lux)

Fonte – Elaborado pelo próprio autor (2025)

3.2.2 Método de Avaliação da Climatização por meio do PBE Edifica

Nesta seção, foi realizado um estudo detalhado do sistema de climatização dos Blocos A, B e C do Campus II da PUC Campinas, com o objetivo de comparar a carga instalada e a especificação dos sistemas com os níveis de certificação do Programa

Brasileiro de Etiquetagem de Edificações, o PBE Edifica, determinando o nível de eficiência energética do sistema de climatização existente.

Os sistemas de climatização dos edifícios objeto de estudo foram implantados recentemente, portanto, são sistemas muito novos, com um ótimo desempenho e possuem as últimas atualizações em termos tecnológicos, o que certamente representa um ganho na eficiência energética.

O sistema de ar-condicionado implantado nos edifícios objetos de estudo é do tipo VRF (*Variable Refrigerant Flow*) de um conceituado fabricante japonês, chamado Johnson Controls-Hitachi Ar-Condicionado do Brasil Ltda. Esta tecnologia é reconhecida na literatura técnica como uma das soluções mais atuais e eficientes para a climatização de edifícios comerciais e residenciais, devido à sua capacidade de modulação de carga e controle zoneado (Aynur, 2010; Goetzler *et al*., 2014). Esse sistema foi desenvolvido na década de 1980 no Japão, pela Daikin, com o nome patenteado de VRV (Variable Refrigerant Volume), e se tornou popular devido à sua flexibilidade, eficiência energética e capacidade de atender diferentes demandas de climatização em um mesmo edifício.

Os sistemas VRF/VRV utilizam o tradicional ciclo da refrigeração com um compressor de maior porte, que pode trabalhar com uma grande quantidade de gás refrigerante que circula pelo sistema, e por meio de um controle preciso e dinâmico, juntamente com válvulas e sensores nas unidades evaporadoras, consegue determinar a quantidade de refrigerante que circula pelo sistema, permitindo que diferentes zonas do edifício sejam climatizadas de forma independente.

Os principais componentes do sistema VRF/VRV são (Aynur, 2010):

- Unidade Externa: Responsável por condensar o refrigerante. Pode ter múltiplos compressores para atender a diferentes demandas de climatização.
- Unidades Internas: Existem várias opções, como unidades do tipo Cassete, High Wall e Duto, que podem ser instaladas em diferentes configurações para otimizar o espaço e atender às necessidades dos usuários.
- Refrigerante: O sistema utiliza um refrigerante que circula entre a unidade externa e as unidades internas. A quantidade de refrigerante é ajustada de acordo com a carga térmica de cada ambiente.

- Controle Inteligente: Os sistemas VRF/VRV são equipados com controles que permitem a programação e monitoramento das unidades, garantindo eficiência e conforto.

Os sistemas VRF/VRV oferecem diversas vantagens que os tornam uma escolha popular para climatização, sendo elas (Aynur, 2010):

- Eficiência Energética: O controle variável do fluxo de refrigerante permite um uso otimizado de energia, reduzindo custos operacionais.
- Conforto Térmico: A capacidade de controlar a temperatura de diferentes ambientes de forma independente proporciona maior conforto aos ocupantes.
- Flexibilidade de Instalação: As unidades internas podem ser instaladas em uma variedade de configurações, adaptando-se ao layout do edifício.
- Menor Impacto Visual: Com unidades externas compactas e unidades internas discretas, o impacto visual é minimizado.
- Baixo Nível de Ruído: Os sistemas VRF/VRV são conhecidos por sua operação silenciosa, contribuindo para um ambiente mais confortável.

Apesar das muitas vantagens, existem algumas desvantagens a serem consideradas (Aynur, 2010; Goetzler, 2007):

- Custo Inicial: O investimento inicial para a instalação de sistemas VRF/VRV pode ser elevado em comparação com sistemas tradicionais de ar-condicionado.
- Complexidade na Instalação: A instalação requer profissionais especializados devido à complexidade do sistema e à necessidade de um projeto adequado.
- Manutenção: Embora a manutenção seja geralmente simples, é essencial contar com técnicos qualificados para garantir o funcionamento eficiente do sistema.
- Necessidade de um sistema paralelo de renovação de ar;

Cabe ressaltar, ainda, que o conjunto de condicionamento de ar instalado nos Blocos A, B e C da PUC-Campinas, conta com um sistema de automação e

monitoramento, permitindo que sejam feitas diversas programações, como, por exemplo, um desligamento geral de todas as máquinas após o horário de término das aulas, garantindo a desativação de todas as evaporadoras quando as salas estiverem vazias. Além desta programação, todo o sistema pode ser monitorado remotamente, e identificar possíveis falhas, ou usos indevidos, e com isso, a automação melhora mais ainda a eficiência energética.

Com a crescente preocupação com a eficiência energética e a sustentabilidade, os sistemas VRF/VRV estão se tornando cada vez mais relevantes no mercado. Investir em tecnologias que promovam a economia de energia e o conforto dos usuários é uma tendência que deve continuar a crescer nos próximos anos (IEA, 2018).

É importante destacar que, como parte do planejamento da engenharia da universidade para implantação da climatização nestes edifícios objeto de estudo, foi realizado um investimento em Geração Distribuída (GD) com a instalação de uma usina fotovoltaica (FV), com o objetivo de suprir a demanda energética que foi aumentada com a climatização, tornando o fornecimento de energia mais sustentável. No método de classificação do INI-C, essa GD deve ser considerada, e irá contribuir positivamente para melhoria do desempenho energético.

Conhecidas as características desses sistemas, pode-se dar sequência ao método simplificado de avaliação do sistema de climatização dos edifícios objeto de estudo, conforme o Anexo B.II (INMETRO, 2020). Após a aquisição dos dados, deve ser utilizado o item 8.2.2 para classificação. Caso o sistema obtenha classificação A, será necessário conferir o item 7.1, para verificar a elegibilidade.

3.2.3 Método de Simulação de climatização com o Software HAP

Para a simulação térmica e de carga do sistema HVAC, optou-se pelo software Carrier HAP (Hourly Analysis Program). Esta escolha fundamenta-se na classificação de Ibrahim et al. (2026), que posiciona o HAP como uma ferramenta de excelência para o dimensionamento e seleção de equipamentos e análise de desempenho energético. Diferente de softwares de simulação global (como EnergyPlus ou DesignBuilder), que demandam um alto grau de detalhamento arquitetônico e possuem maior tempo de processamento, o HAP é otimizado para a análise de sistemas existentes. Esta abordagem permite mitigar o 'gargalo da modelagem',

focando na integração entre as cargas térmicas e os parâmetros luminotécnicos, sem a necessidade de parametrização excessiva de uma envoltória cujos dados construtivos originais são limitados, garantindo assim maior fidelidade aos resultados de performance do sistema de climatização.

O software HAP, desenvolvido pelo fabricante Carrier, possui uma excelente gama de recursos permitindo fazer o dimensionamento de sistemas de climatização e de água quente, e proporciona uma simulação completa, contemplando itens da edificação que vão desde os materiais de construção das paredes, pisos, lajes e coberturas, passam pelos tipos de janelas e portas, as divisões internas da edificação, o posicionamento geográfico, o arquivo climático da região e permite realizar combinações tanto dos sistemas de refrigeração do ambiente, como dos ventiladores de renovação de ar.

De acordo com especificações técnicas do portal da Carrier do Brasil (Carrier do Brasil, 2026), este software permite o dimensionamento de componentes de acordo com a carga térmica, desde pequenos projetos até grandes edifícios, incluindo todos os sistemas disponíveis como rooftops, centrais de ar, fan coils, VRF, centrais de água gelada e água quente, sistemas de volume fixo e de volume variável, os VAVs (Sistemas de Fluxo Variável), e engloba desde projetos novos, até retrofits e estudos para economia de energia. Ainda com base no portal, esse sistema tem capacidade de análise energética de 8760 horas (um ano) e os resultados são aceitos pelo Green Building Council para a certificação LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) (Carrier do Brasil, 2026).

O sistema utiliza um acesso rápido aos dados do projeto, realiza uma varredura de todos os espaços, define e configura os componentes de construção e com isso, torna possível flexibilizar ao máximo os dados da edificação para uma aproximação com exatidão e eficácia do projeto atual. Desta maneira, pode-se calcular as cargas de cada espaço e zona térmica e fazer uma projeção de funcionamento durante todas as horas e de acordo com as respectivas ocupações previstas. Todos os componentes de construção são considerados, tais como paredes, janelas, telhados, portas, iluminação, pessoas, equipamentos elétricos, infiltrações, pisos e partições considerando todas as horas do dia e os doze meses do ano.

Uma vez concluída a inserção dos dados da edificação, pode ser executada uma detalhada análise energética hora a hora, tendo em conta os dados climáticos de cada região, e com isso, é possível obter-se o cálculo da transferência de calor do

prédio e as cargas, simular a operação do sistema de ar-condicionado em paralelo com o funcionamento dos equipamentos e da ocupação do edifício. Após a inserção e configuração dos espaços da edificação e do sistema de climatização, obtém-se relatórios completos que fornecem um resumo do dimensionamento do sistema de ar, resumo do dimensionamento da zona, resumo do dimensionamento da ventilação, resumo das cargas do projeto, perfis de carga por hora, carta psicrométrica, resumo do dimensionamento da planta e relatório de análise energética.

Nesta análise da climatização, um tema muito relevante a ser abordado e estudado, é a Qualidade do Ar Interno (QAI) em ambientes de ensino superior, pois trata-se de um fator determinante não apenas para a saúde ocupacional, mas para o desempenho cognitivo de discentes e docentes. Em edifícios como os Blocos A, B e C do Campus II da PUC-Campinas, a climatização enfrenta um desafio técnico: a necessidade de garantir taxas elevadas de renovação de ar para diluição de poluentes (como o CO_2) em detrimento da preocupação com a redução do consumo energético. Este conflito reflete-se diretamente na classificação de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar, que, conforme identificado através da classificação PBE Edifica realizada, apresenta um nível de desempenho inferior (Nível C) quando comparado à luminotécnica (Nível B), mesmo sendo um projeto de climatização que contempla um moderno sistema de ar-condicionado do tipo VRF do fabricante Hitachi.

O parâmetro utilizado para a renovação de ar no Brasil deve ser baseado na Resolução RE nº 09 da Anvisa (2003). Esta norma estabelece um valor fixo de 27m³/h por pessoa como taxa mínima de renovação para ambientes climatizados artificialmente. Embora tenha sido fundamental para mitigar a "Síndrome dos Edifícios Doentes", a RE 09 foi questionada pela falta de uma diferenciação detalhada entre as tipologias de uso dos ambientes.

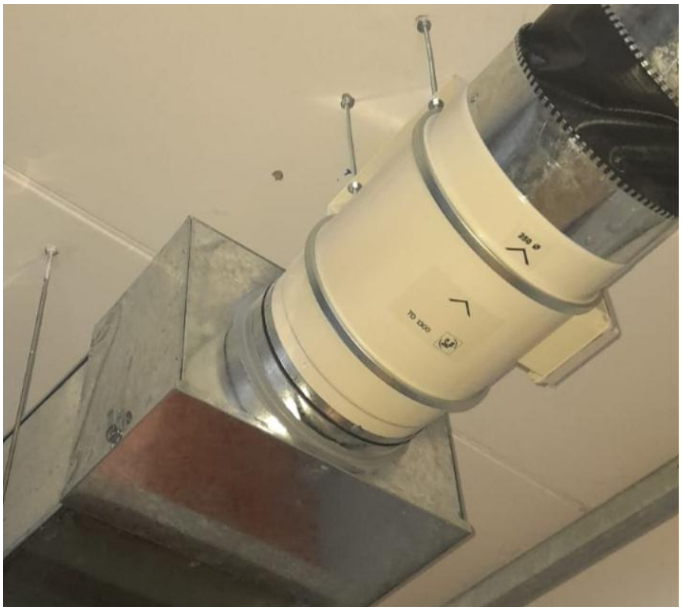
Com a publicação da ABNT NBR 17037 (Qualidade do ar interno em ambientes edificados — Ventilação para controle de contaminantes) em 2022, o padrão normativo do Brasil alinhou-se aos padrões internacionais, como a ASHRAE 62.1. Uma das principais mudanças ocorreu na metodologia de cálculo e na abrangência técnica. Enquanto a RE 09 tinha como foco maior a saúde pública sob uma ótica sanitária, a NBR 17037 introduziu critérios mais voltados à engenharia, pois a nova norma sugere que a vazão de ar externo deve considerar tanto a carga gerada pelas pessoas, os bioefluentes, quanto a carga gerada pelos próprios materiais da edificação como emissões de mobiliário, revestimentos etc. Além disso, a NBR 17037

oferece tabelas mais detalhadas para diferentes perfis de ocupação, permitindo um dimensionamento mais assertivo para salas de aula, laboratórios e bibliotecas e há uma exigência maior quanto à manutenção e à verificação dos sistemas de filtragem e dos índices de contaminantes, indo além da simples renovação volumétrica.

De acordo com Catuzzo (2026) e Macedo (2026), um ponto crítico do projeto dos edifícios objeto de estudo está no sistema de renovação de ar, e que existem importantes pontos de melhoria que podem ser sugeridos para serem implantados nestes blocos, e em outros projetos da universidade, para que se tenha um ganho energético nos sistemas de climatização sem comprometer a QAI.

Em salas de aula e laboratórios com lotações entre 50 e 60 pessoas, como nestes edifícios da PUC-Campinas, o projeto de uma climatização com foco no conforto térmico e bem-estar dos usuários, mantendo uma boa qualidade de ar, se torna um desafio. Considerando o parâmetro de 27 m³/h por pessoa previsto na legislação vigente, um ambiente com 60 alunos exige a introdução de 1.620 m³/h de ar externo, cuja introdução é realizada por ventiladores como esse exemplo da Figura 6.

Figura 6 - Modelo de Ventilador do Sistema de Renovação de Ar



Fonte – Foto de Autoria Própria (2026)

Este volume de ar externo, ao ser introduzido no sistema, injeta no ambiente, carga térmica sensível (temperatura) e carga térmica latente (umidade), típicas do clima tropical. O sistema de refrigeração precisa, portanto, resfriar e desumidificar esse ar externo antes de distribuí-lo. Em edifícios de ensino com alta rotatividade, a

parcela de energia gasta apenas para tratar o ar de renovação pode representar um incremento significativo na carga térmica. Segundo o ASHRAE Handbook — Fundamentals (2021, p. 16.11), a troca de ar para fins de ventilação responde tipicamente por 20% a 50% da carga térmica total em climas não temperados, podendo exceder os 50% em edifícios de alta densidade ocupacional. Este fato justifica a classificação Nível C observada no estudo de caso, uma vez que a garantia da QAI impõe um elevado nível de demanda energética aos equipamentos de expansão direta utilizados nos blocos universitários.

Nos Blocos objeto de estudo, a aplicação da NBR 17037 exige uma análise criteriosa da vazão de ar externo total, a qual irá sobrecarregar diretamente os sistemas de climatização, e que são consideradas na simulação do projeto através do software HAP, pois para uma sala de aula com cerca de 60 pessoas, além da carga metabólica elevada, a taxa de renovação deve ser constante durante o período de ocupação. Como o sistema de condicionamento de ar existente é o VRF com evaporadoras do tipo cassete e highwall, faz-se necessária a adoção de renovação de ar por ventilação independente do sistema, com dutos, para que o ar do ambiente interno possa ser renovado e não ocorra o acúmulo de CO_2, que causaria sonolência e perda de concentração.

Para os ambientes de laboratório, a NBR 17037 interage com normas de segurança como a NBR 14679. Dependendo dos produtos manipulados, a renovação de ar não é apenas uma questão de conforto, mas de exaustão de gases tóxicos, exigindo taxas de renovação ainda superiores e, muitas vezes, impedindo a recirculação de ar, o que eleva consideravelmente o consumo de energia.

Ainda segundo Catuzzo (2026) e Macedo (2026), algumas opções apresentam potencial para otimizar a renovação de ar, proporcionando melhores resultados no consumo energético. Além disso, como está ocorrendo a transição para a NBR 17037, e de acordo com esta norma, podem ser sugeridas estratégias que têm potencial para elevar consideravelmente o nível de classificação energética no PBE Edifica do sistema de climatização da PUC-Campinas, sendo uma dessas estratégias, a ventilação controlada por demanda, com a utilização de sensores de CO_2 para ajustar a vazão de ar externo de acordo com a ocupação real da sala. Se uma sala para 60 pessoas tiver uma ocupação de apenas 20, o sistema reduz a entrada de ar externo, economizando energia. Outra solução que deve ser considerada é a renovação de ar por recuperadores de entalpia, que são dispositivos disponíveis no mercado, que

trocam calor e umidade entre o ar que sai (exaustão) e o ar que entra (renovação). Isso permite pré-resfriar o ar externo utilizando o ar frio que seria descartado, reduzindo o esforço do compressor. Estas duas melhorias no sistema de renovação de ar estão previstas no software HAP, e podem ser simuladas para que tragam um parâmetro da proporção de melhoria no consumo energético do sistema de climatização.

Para início das simulações no software HAP, observa-se a relevância de um detalhamento das formas de renovação de ar que serão opções para novos modelos de projeto, para que se tenha um ganho energético significativo e que possam servir de modelo de sugestões tanto para os edifícios objeto de estudo, quanto para outros projetos em edificações com características e finalidade similares aos Blocos A, B, e C da PUC-Campinas.

Destaca-se primeiramente, o tipo de sistema chamado de ventilação por demanda, ou Demand Controlled Ventilation (DCV), o qual baseia-se na premissa de que a ocupação humana é a principal fonte de contaminantes em salas de aula. O CO_2 é utilizado como um componente que irá balizar a porcentagem de presença humana com a qualidade do ar. A maioria dos sensores de alta qualidade utiliza a tecnologia Infravermelho Não Dispersivo (NDIR). Como as moléculas de CO_2 absorvem comprimentos de onda específicos de luz infravermelha, o sensor mede essa atenuação. Quanto maior a concentração de CO_2, menor a intensidade de luz que chega ao detector, permitindo uma leitura precisa em partes por milhão (ppm).

O sensor de CO_2 instalado na sala envia sinais que podem ser digitais no caso de um sistema liga-desliga, ou analógicos, normalmente de 0 a 10 VDC (por tensão contínua) ou 4 a 20 mA (por corrente contínua), para modelos que possuem controladores de velocidade dos motores, que são chamados de inversores de frequência, e com isso, a velocidade do ventilador do sistema de renovação poderá aumentar ou diminuir conforme a necessidade de renovação de ar, mantendo a QAI conforme especificado nas normas vigentes. E neste último modelo citado, pode-se definir um setpoint com um limite máximo de CO_2, por exemplo 1.000 ppm, conforme recomendações normativas. Quando a sala está vazia, o CO_2 baixa e o ventilador opera em rotação mínima, apenas para diluir contaminantes dos materiais da sala. À medida que os alunos entram na sala de aula e o nível de CO_2 sobe, o inversor aumenta a rotação do motor proporcionalmente para garantir a renovação necessária.

Esse sistema por demanda controlada por sensor de CO_2 (Figura 7) diminui a entrada de ar externo quando o CO_2 está dentro dos parâmetros, evita o resfriamento desnecessário de grandes volumes de ar externo quando a sala tem poucos alunos, gerando uma economia de energia direta na serpentina de resfriamento.

Embora os controladores de campo, como a linha SpaceLogic da Schneider Electric, operem primordialmente sob a lógica de controle PID, sua integração à arquitetura EcoStruxure permite a implementação de algoritmos de Lógica Fuzzy e Controle Preditivo. Essa inteligência é fundamental para a viabilização da Ventilação por Demanda (DCV), onde o sistema não apenas reage aos níveis de CO_2, mas antecipa a carga térmica e a ocupação, otimizando o acionamento dos ventiladores e reduzindo os ciclos de carga dos compressores VRF (que, por sua natureza tecnológica, já operam internamente com lógica nebulosa para o ajuste de expansão do fluido refrigerante). Podemos fazer um comparativo, em que os sensores SpaceLogic são os "olhos" do sistema e a "Lógica Fuzzy" ou a "Rede Neural" é o cérebro, que pode estar tanto no controlador de andar quanto no software de gestão (BMS) que orquestra todo o processo.

Figura 7 – Sensor de qualidade do ar SpaceLogic modelo SLASTCX



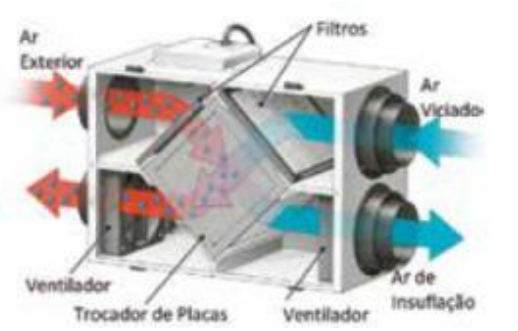
Fonte – Site do fabricante Schneider Electric (2026)

Sobre o outro tipo de sistema de renovação de ar, pode ser citado o trocador ou recuperador entálpico (Figura 8), que, diferente de um trocador de calor comum, tipo sensível, que troca apenas temperatura, atua na entalpia total do ar, o que inclui a temperatura (calor sensível) e a umidade (calor latente). Esse tipo de trocador

funciona com um núcleo composto por membranas poliméricas ou papéis especiais com propriedades higroscópicas (que absorvem umidade) e com dois fluxos de ar que se cruzam no interior deste núcleo sem se misturar fisicamente, mas que farão uma troca de calor, entre o ar de exaustão que sai da sala já climatizado a 23°C e seco, e o ar externo, que está quente e úmido, por exemplo, a 32°C com alta umidade.

Desta forma, o ar externo que chegaria à serpentina do ar-condicionado a 32°C e muito úmido, passa pelo trocador e chega, por exemplo, a 26°C e com umidade moderada. Em climas tropicais como o nosso, a maior parte da carga térmica da renovação de ar vem da umidade (calor latente). O trocador entálpico "pré-condiciona" o ar gratuitamente, usando a energia que seria simplesmente descartada pela exaustão.

Figura 8 - Renovação de ar por trocador entálpico



Fonte – Engenharia e Arquitetura (2023)

Para a viabilização de uma simulação consistente e verdadeira no software HAP, a etapa preliminar e mais crítica consiste na configuração dos "Espaços" (Spaces). Esta fase define as características térmicas e funcionais de cada ambiente individualmente antes de serem agrupados em sistemas de climatização. A precisão dos resultados depende da inserção rigorosa de variáveis que compõem o balanço térmico da edificação.

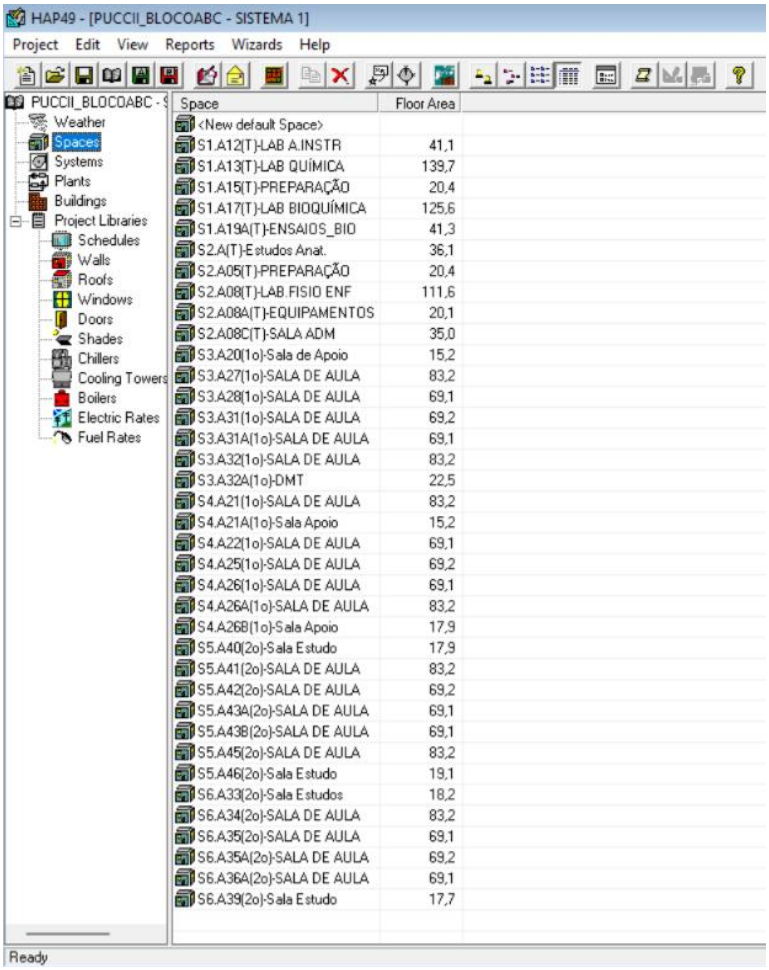
As propriedades termo físicas da envoltória são de grande relevância, pois a envoltória atua como a interface entre as condições climáticas externas e o ambiente interno, devendo ser inseridos no software todos os ambientes, um a um, conforme mostra a Figura 9. No HAP, o detalhamento dos materiais de construção é imprescindível, para os elementos opacos, como paredes externas, lajes e telhados, deve-se considerar a composição das camadas dos materiais, calculando a transmitância térmica (valor U) e a resistência térmica total. Além da resistividade, a

massa térmica (capacidade de armazenamento de calor) é um fator que o software utiliza para calcular o atraso térmico (time lag), influenciando o pico de carga.

Devem ser consideradas também as fenestrações, com o detalhamento de janelas e portas que inclui não apenas a resistência do material e as dimensões e posicionamento, mas também o Fator Solar (FS) e o coeficiente de sombreamento dos vidros. A orientação geográfica de cada abertura é determinante para o cálculo do ganho de calor por radiação solar direta e difusa.

A configuração do espaço requer a definição da área (m²) e do pé-direito (m), que estabelecem o volume de ar a ser tratado. No entanto, são as fontes internas que frequentemente predominam em edifícios educacionais, como a ocupação e atividade humana, onde deve-se quantificar o número de ocupantes e o tipo de atividade exercida (metabolismo). O HAP segmenta esse ganho em calor sensível (alteração de temperatura) e calor latente (aporte de umidade por transpiração e respiração), fator este vital para o dimensionamento da serpentina de resfriamento.

Figura 9 - Inserção dos espaços no HAP



Fonte – Hourly Analysis Program – HAP

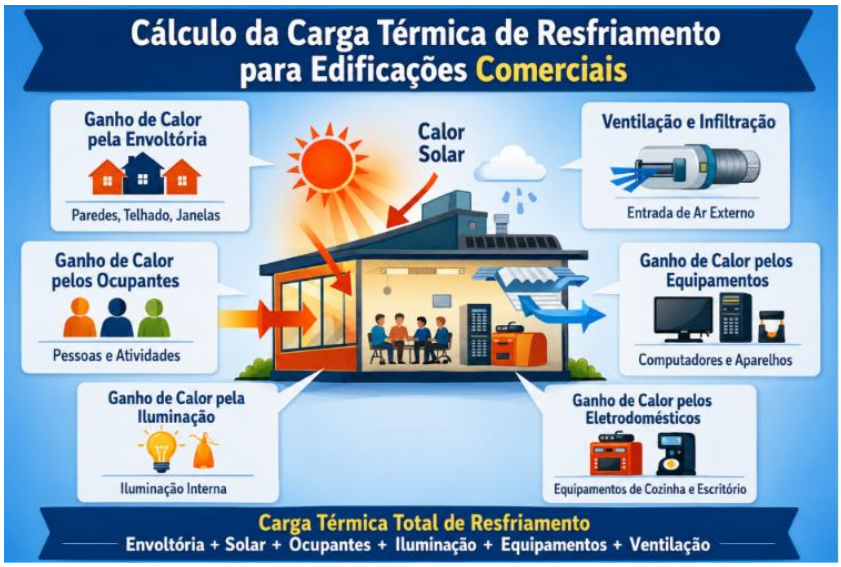
Conforme indicado na Figura 10, a iluminação interna e aparelhos como computadores e eletrodomésticos convertem energia elétrica em calor sensível. É necessário parametrizar a potência instalada (W/m²) ou a carga nominal de cada dispositivo.

Um aspecto crítico evidenciado nesta pesquisa reside na necessidade de renovação do ar, parâmetro tecnicamente estruturado no software HAP. A ferramenta diferencia o ingresso de ar externo entre infiltrações e ventilação controlada (Outdoor Air). As infiltrações compreendem as entradas indesejadas de ar através de frestas em fenestrações (portas e janelas) e imperfeições construtivas, as quais podem acarretar sobrecargas assistemáticas ao sistema de climatização, especialmente em salas de aula com alta densidade ocupacional. Em contrapartida, a ventilação consiste na introdução deliberada e mecânica de ar externo para assegurar a QAI, em estrita observância à ABNT NBR 17037. O HAP possibilita a parametrização dessas taxas com base no número de ocupantes ou na área do recinto, configurando-se como a variável de maior impacto sobre a carga térmica latente, fator determinante para a eficiência energética em climas tropicais.

Diferentemente dos métodos convencionais de cálculo estático de carga térmica, o software HAP atua como um simulador dinâmico, o que torna a definição dos perfis de utilização, ou *Schedules*, um componente indispensável na configuração dos espaços. Estes cronogramas operacionais estabelecem, de forma detalhada, as frações de carga para a iluminação, os períodos de ocupação discente e as oscilações no funcionamento de equipamentos eletroeletrônicos ao longo de um ciclo de 24 horas. Tal parametrização temporal é fundamental para que o modelo computacional identifique com precisão o momento de pico da carga térmica. Este ápice, frequentemente, não coincide com o horário de máxima radiação solar externa, visto que o comportamento térmico do edifício é influenciado pela inércia térmica dos materiais e pela variabilidade da densidade ocupacional interna.

Por fim, a orientação das paredes e janelas em relação ao norte geográfico permite ao software simular o percurso solar ao longo de todos os meses do ano. Elementos de sombreamento externos (como brises ou marquises) ou internos (cortinas) também devem ser inseridos, pois mitigam significativamente o ganho de calor solar, reduzindo a necessidade de potência frigorífica instalada.

Figura 10 - Fatores considerados para configuração da carga térmica de espaços



Fonte – Adaptado de Nexora Design, [s.d.]

4 RESULTADOS

A primeira etapa da metodologia visa determinar o consumo energético atual do edifício, permitindo a comparação com *benchmarks* e a identificação do ponto de partida para a otimização, com isso, seguem os resultados com os parâmetros originais das edificações objetos de estudo.

4.1 Aplicação dos Cálculos da Instrução Normativa INI-C para Iluminação

Para a obtenção da classificação da etiquetagem com relação à iluminação, foram levantados os dados dos edifícios e foi realizado o processamento dos mesmos de acordo com a normativa do Inmetro, INI-C, (Instrução Normativa do Inmetro – Comercial), conforme mostrado a seguir.

- ✓ **Área Total Iluminada (ATOTAL):** Soma das áreas iluminadas de todos os ambientes (conforme item 11 do Manual de Definições da INI-C).
- ✓ *ATOTAL BLOCOS A, B, C = 8885,55 m²*

  Administração = 773,03 m²

  Circulação = 1143 m²

  Sala de Aula = 2399,67 m²

  Laboratórios = 4569,85 m²
- ✓ **Densidades de Potência de Iluminação Limite (DPIL,D e DPIL,A):** Para a tipologia da edificação (ex: Educacional), vale a Tabela B.III.2 da INI-C para os valores de DPIL para as classes D e A.

  Salas de aula: *DPIL,D = 16,32 W/m²; DPIL,A = 9,9 W/m²*

  Escritórios: *DPIL,D = 16,8 W/m²; DPIL,A = 8,7 W/m²*

  Laboratórios: *DPIL,D = 16,32 W/m²; DPIL,A = 12,9 W/m²*

  Circulação: *DPIL,D = 11,36 W/m²; DPIL,A = 7,10 W/m²*
- ✓ **Potências de Iluminação Limite (PIL,D e PIL,A):** Utilizando a Equação B.III.7 da INI-C:

  PIL,D = ATOTAL × DPIL,D; PIL,A = ATOTAL × DPIL,A

  Totalizando para os blocos A, B e C:

  PIL,A = Σ (Atotal x DPIL,A); PIL,D = Σ (Atotal x DPIL,D)

  PIL,A = 75713,40 W, PIL,D = 134891,70 W

- **Potência de Iluminação Total da Edificação Real (PIT,real)** Calcula-se a potência de iluminação efetivamente instalada na edificação, considerando três situações (item B.III.3 da INI-C):

- **Ambientes sem Projeto Luminotécnico (PASP):** Potência calculada conforme Equação B.III.5 (PASP = 1,5 × PIL,D do ambiente).

  Não foi encontrado o projeto luminotécnico dos blocos A, B e C, e com isso, PASP = 1,5 x 134.891,70 → PASP = 202.337,55 W.

- **Ambientes com Controle de Iluminação (Potência em Uso – PIu):** Potência ajustada por Fatores de Ajuste de Potência (FAP) devido a sensores e controles (Tabela B.III.1 da INI-C). Cálculo conforme Equação B.III.6: PIu = Σ (PIC × FAP), onde PIC é a potência instalada do circuito controlado.

  Não há ambientes com sensores nos blocos estudados.

✓ **Ambientes com Projeto Luminotécnico, sem Controle Automatizado (PI):** É o somatório da potência instalada das lâmpadas nestes ambientes.

Neste caso não há ambientes com projeto luminotécnico.

✓ **Potência Total Real (PIT,real):** Soma das potências das três situações, conforme Equação B.III.4.

PIT,real = Σ(PIu) + Σ(PI) + PASP

PIT,real = 0 W + 0 W + 202.337,55 W = 202.337,55 W

✓ **Consumo de Iluminação (Real e Referência)** Calcula-se o consumo anual de iluminação.

- **Horas de Uso (h) e Dias de Ocupação (Nano):** Conforme Anexo A da INI-C, tabelados por tipologia.

  Blocos A, B, C (Escola / Universidade, Tabela A.3): h = 8 h/dia; Nano = 200 dias/ano.

- **Consumos (Equações B.III.2 e B.III.3):** Utiliza-se aqui o Método das Atividades.

  Consumo Real: CIL,real = (PIT,real × h × Nano) / 1000

  Consumo de Referência A: CIL,refA = (PIL,A × h × Nano) / 1000

  Consumo de Referência D: CIL,refD = (PIL,D × h × Nano) / 1000

  Blocos A, B, C: CIL,real = 99216,00 kWh/ano; CIL,refA = 195096,92 kWh/ano; CIL,refD = 279427,90 kWh/ano

- **Consumos anuais de energia (Equações B.III.2 e B.III.3):**

  Consumo Real: CIL,real = (PIT,real × h × Nano) / 1000

  Consumo de Referência A: CIL,refA = (PIL,A × h × Nano) / 1000

  Consumo de Referência D: CIL,refD = (PIL,D × h × Nano) / 1000

  Blocos A, B, C: CIL,real = 99216,00 kWh/ano; CIL,refA = 151426,81 kWh/ano; CIL,refD = 269783,39 kWh/ano.

- **Percentual de Redução do Consumo de Iluminação (RedCIL)** Calcula-se a redução percentual do consumo real em relação ao consumo de referência D, conforme Equação B.III.1 da INI-C.

  RedCIL = ((CIL,refD – CIL,real) / CIL,refD) × 100 ***(Método das Atividades)***

  Blocos A, B, C: RedCIL = 64,49%

  RedCIL = ((CIL,refD – CIL,real) / CIL,refD) × 100

  Blocos A, B, C: RedCIL = 63,22%

✓ **Classificação de Eficiência Energética do Sistema de Iluminação.**

Com base no RedCIL, classifica-se o sistema (item 8.2.3 da INI-C).

- **Intervalo de Classe (i):** O intervalo "i" representa a diferença percentual de redução entre classes (A, B, C, D). Existem três classes entre o limite inferior D (0% de redução) e o limite inferior A. Usa-se a Equação 8.11 da INI-C:

  Redução Máxima (associada à Classe A) = ((CIL,refD – CIL,refA) / CIL,refD) × 100

  i = (Redução Máxima) / 3

  Blocos A, B, C: Redução Máxima ≈ 63,22%. i = 63,22% / 3 ≈ 21,07%.

- ✓ **Definir os Limites das Classes:** Com base em "i", definem-se os limites para as classes B, C e D (sendo que a classe A é o valor de Redução Máxima ou superior, e D é de 0% até "i"). A Tabela 3 do manual (baseada na Tabela 8.21 da INI-C) exemplifica:

  Classe A: RedCIL ≥ Redução Máxima (ex: ≥ 48,42%)

  Classe B: Redução Máxima > RedCIL ≥ (Redução Máxima - i) (ex: 48,42% > RedCIL ≥ 32,28%)

  Classe C: (Redução Máxima - i) > RedCIL ≥ (Redução Máxima - 2i) (ex: 32,28% > RedCIL ≥ 16,14%)

  Classe D: (Redução Máxima - 2i) > RedCIL ≥ 0% (ex: 16,14% > RedCIL ≥ 0%)

  Classe E: RedCIL < 0%

- ✓ **Classificação:** Compara-se o RedCIL com os limites das classes.

  Blocos A, B, C: RedCIL = 63,22%. Como 63,22% > 48,08% ≥ 32,28%, a classificação é A.

- ✓ **Avaliação do Sistema de Iluminação segundo os Requisitos para Elegibilidade à Classe A (Item 7.2 da INI-C):** Se a edificação atingir a Classe A no passo anterior, é **obrigatório** conferir requisitos adicionais para confirmar essa classificação. Caso não cumpra algum deles, a classificação máxima será B. Os requisitos (conforme item 7.2 da INI-C) são:
  - **Contribuição da luz natural (item 7.2.1):** Existência de acionamento independente de iluminação artificial em áreas próximas às aberturas (zonas primárias de iluminação natural). No caso dos blocos estudados, existem acionamentos individualizados para diversas áreas das salas de aula, inclusive para as proximidades das aberturas de iluminação natural, portanto, essa condição é satisfeita.
  - **Controle local interno (item 7.2.2):** Todo ambiente deve possuir pelo menos um dispositivo de controle manual, variando conforme a área. No caso dos blocos estudados, essa condição é atendida.
  - **Desligamento automático (item 7.2.3):** Sistema de iluminação em ambientes com área superior a 250 m² deve ter desligamento automático. No caso dos blocos estudados, não foram evidenciados, em nenhum

ambiente, sistemas de desligamento automático da iluminação, desta forma, esse item, não é atendido.

Ao final desses passos, obtém-se a classe de eficiência energética para o sistema de iluminação da edificação, que no caso do objeto de estudo, deverá ser considerada como **B**, em virtude do item 7.2.3 que não foi satisfeito.

De acordo com a potência instalada da iluminação, e através do método do PBE Edifica que compara o consumo real com um consumo referência D, a classificação poderia ser A, mas devido ao pré-requisito mostrado no Quadro 7, onde para ter essa classificação, o sistema deve ter dispositivos de desligamento automático, então, a classificação fica realmente, como já mostrado nos tópicos anteriores sobre iluminação, na classe B.

Quadro 7 - Pré-requisitos para classificação A em iluminação

SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	
Condição	**Verificação**
Contribuição da luz natural (7.2.1)	Atende
Controle local (7.2.2)	Atende
Desligamento automático do sistema de iluminação (7.2.3)	Não Atende
O Sistema de Iluminação é elegível para classificação A?	**Não**

Fonte – PBE Edifica – INI-C

Após a realização da classificação energética da iluminação através da planilha INI-C do programa PBE Edifica com os parâmetros originais da instalação, obtendo-se a classificação B, foi feito um estudo utilizando o método dos lúmens para se ter um primeiro parâmetro de comparação, e os resultados são mostrados a seguir.

4.2 Redimensionamento da Iluminação pelo Método dos Lúmens

Com o objetivo de sintetizar o procedimento de dimensionamento adotado, o Quadro 8 apresenta os principais dados de entrada, parâmetros luminotécnicos e resultados obtidos para a sala de aula A35 do Bloco A, utilizada como ambiente representativo para exemplificação da aplicação do Método dos Lúmens.

Quadro 8 - Síntese do dimensionamento luminotécnico da sala A35 pelo Método dos Lúmens

Parâmetro / resultado	Símbolo	Valor adotado ou calculado
Características do ambiente		
Área do ambiente	*A*	69,07 m²
Comprimento	*C*	10,00 m
Largura	*l*	6,90 m
Pé-direito	*pd*	3,00 m
Distância entre as luminárias e o piso	*pd − hl*	2,85 m
Altura entre o plano de trabalho e as luminárias	*hu*	2,10 m
Parâmetros luminotécnicos		
Iluminância requerida	*E*	300 lux
Refletância do teto	*ρt*	70%
Refletância das paredes	*ρp*	50%
Refletância do piso	*ρpi*	20%
Fator de utilização	*u*	0,61
Fator de depreciação	*d*	0,88
Fluxo luminoso por lâmpada	*φlâmpada*	1.850 lm
Número de lâmpadas por luminária	—	2
Fluxo luminoso por luminária	*φluminária*	3.700 lm
Resultados do dimensionamento		
Fluxo luminoso total requerido	*Φ*	≈ 38.600 lm
Número calculado de luminárias	*n*	10,4
Número de luminárias adotado	*n*	11
Espaçamento máximo entre luminárias	*eL*	3,30 m
Iluminância média calculada	*Em*	≈ 318 lux
Número de luminárias existentes	—	12
Número de luminárias propostas	—	11
Redução do número de luminárias	—	1 luminária (≈ 8,3%)
Atendimento à iluminância mínima	—	Sim (≥ 300 lux)

Fonte: Elaborador pelo autor (2025).

Os resultados demonstram que, para a sala A35, o Método dos Lúmens indicou a necessidade de 10,4 luminárias, valor arredondado para 11 unidades, de modo a assegurar o atendimento à iluminância mínima requerida de 300 lux. Considerando que o ambiente possui atualmente 12 luminárias, o dimensionamento evidencia a possibilidade de redução de uma unidade, mantendo-se o atendimento ao requisito de iluminância estabelecido para o plano de trabalho.

Os cálculos completos realizados em todos os ambientes dos três blocos objetos de estudo (Blocos A, B e C), encontram-se no Apêndice e os dados utilizados estão nas seis planilhas das Figuras A.1, A.2, B.1, B.2, C.1 e C.2.

A seguir, a Tabela 2 mostra o resultado da comparação entre o número real de luminárias dos Blocos A, B e C, e o número calculado pelo método dos lúmens.

Tabela 2 - Comparação entre o número de luminárias real e o calculado

	Quantidade Real de Luminárias	Quantidade Calculada de Luminárias	Diferença	Porcentagem
Bloco A	500	435	-65	-13,0%
Bloco B	439	414	-25	-5,7%
Bloco C	561	460	-101	-18,0%
TOTAL	**1500**	**1309**	**-191**	**-12,7%**

Fonte - Elaborado pelo próprio autor (2025)

Verifica-se que, levando em conta o método dos lúmens, o número de luminárias pode ser reduzido em cerca de 12,7%, o que poderia trazer uma redução significativa, tanto na implantação quanto no consumo energético. É preciso ponderar que os cálculos foram feitos conforme a Norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, que foi elaborada pelo Comitê Brasileiro de Eletricidade e pela Comissão de Estudos de Aplicações Luminotécnicas e Medições Fotométricas, e que traz o mais atual em termos de estudo de luminotécnica, baseando-se nos equipamentos e recursos atuais, os quais se alteraram muito no decorrer dos últimos anos, com as melhorias significativas dos equipamentos de iluminação. E certamente, os projetos e dimensionamentos realizados nos edifícios objetos de estudos, foram baseados em normas anteriores como as ABNT NBR 5382:1985 e ABNT NBR 5413:1992, e com isso, mudam alguns parâmetros de dimensionamento e critérios adotados.

Pode ser vista a importância de se ter um processo de verificação do desempenho da luminotécnica, assim como, ter um comparativo do projeto das edificações com um método atual, quando se tem todos os parâmetros, que podem ser alterados para que seja obtido um resultado ainda melhor, como por exemplo, alterar um tipo de luminária, para se ter um fator de utilização maior, e com isso, ter um ganho da eficiência energética utilizando uma quantidade menor de luminárias, ou considerando um fator de depreciação melhor em relação ao considerado neste estudo, com possibilidade de se ter uma quantidade menor de potência instalada, com a alteração desse fator, para um com manutenções periódicas com uma menor periodicidade.

Como exemplo do que pode ser testado com o projeto no método dos lúmens, abaixo na Tabela 3, segue o resultado de quanto poderia ser a redução da quantidade de luminárias, caso seja considerado um fator de depreciação mais favorável, que é

0,95, levando em consideração que nos cálculos anteriores o fator de depreciação considerado foi mais conservador (d = 0,88).

Tabela 3 - Redução de luminárias com Fator de Depreciação: d = 0,95

	Quantidade Real de Luminárias	Quantidade Calculada de Luminárias	Diferença	Porcentagem
Bloco A	500	403	-97	-19,4%
Bloco B	439	383	-56	-12,8%
Bloco C	561	426	-135	-24,1%
TOTAL	**1500**	**1212**	**-288**	**-19,2%**

Fonte - Elaborado pelo próprio autor (2025)

Seguindo com os resultados e passando para os estudos relacionados à climatização, a primeira etapa foi a classificação no INI-C do programa PBE Edifica, conforme está disposto a seguir.

4.3 Resultado da Classificação da INI-C para Climatização

Pelo método simplificado, o primeiro passo consiste em definir a carga térmica da envoltória, que pode ser feita pela forma simplificada, ou por simulação. Inicialmente, a análise foi realizada pelo processo simplificado. Com base nessa análise, obtém-se a carga térmica do edifício.

O edifício objeto de estudo possui três blocos, e cada bloco tem três pavimentos. Para a análise de carga térmica, deve-se considerar a diferença entre o piso inferior que está no solo, o piso intermediário, e o piso superior, sendo que este último terá os efeitos diretos da cobertura. Esses andares serão referidos como A-T, B-T e C-T, Blocos A B C, pavimentos térreo, A-1, B-1 e C-1, Blocos A B C, primeiros andares e A-2, B-2 e C-2, Blocos A B C, pavimentos do segundo andar.

Em sequência, obteve-se a divisão das zonas térmicas nos andares dos três blocos, e são representadas as plantas dos três pavimentos do Bloco A, e como as dos outros dois blocos são similares, considera-se que as plantas são iguais em cada pavimento para os três blocos.

As zonas térmicas dos três pavimentos são mostradas nas Figuras D.1, D.2 e D.3 do Apêndice D. Elas foram divididas com base nos níveis de incidência solar, sendo as zonas 1, 4 e 5 denominadas zonas periféricas, que mais recebem a

incidência solar, e por considerar-se que uma das faces de cada edifício tem uma influência menor do sol, não foram adotadas as quatro faces como periféricas, mas sim, essas três, e as zonas 2 e 3, são as partes dos edifícios, consideradas como internas, sofrendo menor influência solar.

De acordo com as diretrizes de divisão de zonas térmicas estabelecidas no Anexo I da Portaria nº 309 do Inmetro (Brasil, 2022):

> b) Delimitação de zonas térmicas perimetrais e internas: as zonas térmicas devem ser separadas considerando zonas perimetrais (aquelas que recebem a influência do ambiente externo) e zonas internas, conforme exemplifica a Figura B.I.1.
>
> c) As zonas térmicas perimetrais devem incluir toda a área que se encontra a 4,50 m de profundidade em relação à face interna da parede voltada ao exterior. Nota 2: Pode-se adotar uma tolerância de até 1,0 m, totalizando 5,5 m de profundidade, sempre que o restante do espaço analisado for pequeno demais para ser tornar uma nova zona térmica.
>
> d) Quando a largura ou o comprimento do espaço analisado for inferior a 9,00 m, tem-se apenas zonas perimetrais, como no exemplo da Figura B.I.2, no qual o comprimento do ambiente analisado é igual a 8,00 m e a largura 16,00 m. (Brasil, 2022, p. 86).

Na divisão das zonas térmicas não são consideradas as partes que não têm climatização, denominadas APT (Área de Permanência Temporária).

Após a determinação das zonas térmicas dos edifícios, foi realizado o mapeamento dos sistemas de ar-condicionado que atendem a essas partes dos prédios, e por meio de uma interface web do PBE Edifica (INMETRO, 2020), foram contabilizados os dados de potência e capacidades de resfriamento dos sistemas.

Ressalta-se que todas as zonas térmicas possuem o mesmo tipo de climatização, ou seja, os sistemas VRF.

Além da utilização da planilha do PBE Edifica, dentro desse programa há um outro template para o cálculo do grau de eficiência energética do sistema de ar-condicionado, através do índice SPLV (System Integrated Part Load Value), que é um Coeficiente de Eficiência Energética do Sistema de Ar-condicionado, calculado como uma média ponderada da eficiência energética de todo sistema operando com cargas parciais ao longo do ano, em uma instalação real. Para o cálculo desse índice, é utilizada uma outra planilha, onde são computados os parâmetros que correspondem aos dados reais do edifício, levando-se em conta a zona climática e a influência da envoltória.

Seguindo com a análise do sistema de condicionamento de ar, o próximo passo foi o cálculo do coeficiente de eficiência energética do sistema, sendo que, para os sistemas centrais como no caso do objeto de estudo, deve ser seguido o item B.II.4.2 da norma. Para obtenção dos valores do metamodelo a serem inseridos nesta planilha do PBE Edifica, através do site do programa (INMETRO, 2020), deve ser inserida a planilha de dados completamente preenchida, e o site gera os dados do metamodelo para serem atualizados na planilha de cálculos.

Para os cálculos de carga total de referência e carga total real, é utilizada a INI-C_INPUT-INTERFACE, disponibilizada pelo PBE Edifica, para ser determinada a carga térmica da envoltória, conforme pode ser verificado nas Figuras E.1, E.2 e E.3 (Bloco A), Figuras E.4, E.5 e E.6 (Bloco B) e Figuras E.7, E.8 e E.9 (Bloco C) do Apêndice E, as quais trazem os prints da planilha do INI-C, com todos os dados relativos à envoltória dos edifícios, que têm influência na carga térmica.

Para determinação do consumo energético da climatização, tem-se a planilha a seguir, onde a Figura 11 relaciona o tipo de equipamento de climatização com cada zona térmica, que nos edifícios objeto de estudo, todos ambientes, são atendidos por sistema central do tipo VRF.

Figura 11 - Listagem das Zonas Térmicas

Zona Térmica	Esta zona térmica é condicionada pelos sistemas da edificação?				
A T_Z01	Sistemas centrais	B T_Z01	Sistemas centrais	C T_Z01	Sistemas centrais
A T_Z02	Sistemas centrais	B T_Z02	Sistemas centrais	C T_Z02	Sistemas centrais
A T_Z03	Sistemas centrais	B T_Z03	Sistemas centrais	C T_Z03	Sistemas centrais
A T_Z04	Sistemas centrais	B T_Z04	Sistemas centrais	C T_Z04	Sistemas centrais
A T_Z05	Sistemas centrais	B T_Z05	Sistemas centrais	C T_Z05	Sistemas centrais
A 1_Z01	Sistemas centrais	B 1_Z01	Sistemas centrais	C 1_Z01	Sistemas centrais
A 1_Z02	Sistemas centrais	B 1_Z02	Sistemas centrais	C 1_Z02	Sistemas centrais
A 1_Z03	Sistemas centrais	B 1_Z03	Sistemas centrais	C 1_Z03	Sistemas centrais
A 1_Z04	Sistemas centrais	B 1_Z04	Sistemas centrais	C 1_Z04	Sistemas centrais
A 1_Z05	Sistemas centrais	B 1_Z05	Sistemas centrais	C 1_Z05	Sistemas centrais
A 2_Z01	Sistemas centrais	B 2_Z01	Sistemas centrais	C 2_Z01	Sistemas centrais
A 2_Z02	Sistemas centrais	B 2_Z02	Sistemas centrais	C 2_Z02	Sistemas centrais
A 2_Z03	Sistemas centrais	B 2_Z03	Sistemas centrais	C 2_Z03	Sistemas centrais
A 2_Z04	Sistemas centrais	B 2_Z04	Sistemas centrais	C 2_Z04	Sistemas centrais
A 2_Z05	Sistemas centrais	B 2_Z05	Sistemas centrais	C 2_Z05	Sistemas centrais

Fonte – PBE Edifica – INI-C

A Figura 12 mostra a planilha INI-C, com os parâmetros dos sistemas de climatização existente nos edifícios, exibindo diversos dados levantados, como a potência em BTU de cada sistema, o SPVL já citado anteriormente, a potência do sistema de renovação de ar e se o sistema atende aos critérios de Classificação A.

Figura 12 - Especificação do sistema de climatização dos Blocos A, B e C

Equipamentos de Ar-Condicionado									
Nome do Equipamento	Quantidade	Tipo de Sistema	Capacidade unitária de Resfriamento (kW)	Capacidade de Resfriamento total por tipo de equipamento (kW)	Tipo de Iee	Valor do Iee (CEE/SAZ/SPLV/K)	Potência Total dos equipamentos de Renovação de ar (W) associados a este equipamento	Tipo de equipamento	Atende Elegibilidade para Classificação A?
REFERÊNCIA	1	Sistema Central		0,00			4.400,00		Não se aplica
CONDENSADORA HITACHI 345600 BTU	2	Sistema Central	101,22	202,44	SPLV	3,32	800	Multi-split VRF a ar (sem ciclo reverso)	Atende
CONDENSADORA HITACHI 153600 BTU	1	Sistema Central	44,90	44,9	SPLV	3,32	400	Multi-split VRF a ar (sem ciclo reverso)	Atende
CONDENSADORA HITACHI 384000 BTU	5	Sistema Central	112,47	562,35	SPLV	3,32	800	Multi-split VRF a ar (sem ciclo reverso)	Atende
CONDENSADORA HITACHI 268800 BTU	3	Sistema Central	78,73	236,19	SPLV	3,32	400	Multi-split VRF a ar (sem ciclo reverso)	Atende
CONDENSADORA HITACHI 230400 BTU	2	Sistema Central	67,48	134,96	SPLV	3,32	800	Multi-split VRF a ar (sem ciclo reverso)	Atende
CONDENSADORA HITACHI 364000 BTU	4	Sistema Central	106,6	426,4	SPLV	3,32	400	Multi-split VRF a ar (sem ciclo reverso)	Atende
CONDENSADORA HITACHI 326400 BTU	2	Sistema Central	95,6	191,2	SPLV	3,32	800	Multi-split VRF a ar (sem ciclo reverso)	Atende

Fonte – PBE Edifica – INI-C

Após o preenchimento da planilha do INI-C com os dados da envoltória e dos equipamentos de climatização, o INI-C apresenta um resumo das potências instaladas, assim como mostra qual a potência de referência (Classificação D), conforme a Figura 13.

Figura 13 - Carga térmica de referência e real dos sistemas de climatização

Sistema de referência	
Carga térmica Referência (kWh/ano):	1.809.854,89
Potência do equipamento de renovação de ar na condição de Referência (Wvent, em W):	8.400,00
Horas de operação por dia:	8,00
Dias de operação por ano:	200,00
CEER de Referência:	3,24
Consumo de refrigeração da edificação em sua condição de referência (CR,refD, kWh/ano):	**572.037,19**

Sistema composto por equipamentos centrais	
Carga térmica atendida por centrais (kWh/ano):	1.564.959,41
Capacidade superior a 17,6 kW (60.000 BTU/h)	1.798,44
coeficiente de eficiência energética ponderado dos sistemas centrais (CEER,Sist.Centrais):	3,90
Consumo de refrigeração por sistemas centrais da edificação real (kWh/ano):	**401.271,64**

Fonte – PBE Edifica – INI-C

Na Figura 13, destaca-se a carga térmica referência e a carga térmica atendida por centrais:

$$\mathbf{CgTT_{ref} = 1.809.854,89\ KWh\ /\ ano}$$

$$\mathbf{CgTTreal = 1.564.959,41\ KWh\ /\ ano}$$

Para realização do cálculo da redução da carga térmica da envoltória, utiliza-se a seguinte equação, com base no item B.I.1 da INI-C:

$$\mathbf{Red}CgTT = ((CgTT_{ref} - CgTT_{real}) / CgTT_{ref}) * 100$$

$$\mathbf{RedCgTT = 13,53\%}$$

Após se determinar a carga térmica da envoltória, deve-se verificar o CEE (Coeficiente de Eficiência Energética) do sistema. Para fazer essa constatação, deve ser utilizada planilha WEB disponibilizada pelo programa PBE Edifica (INMETRO, 2020).

Com base nos dados levantados dos sistemas de climatização dos edifícios objeto de estudo, obtém-se:

CEE = 3,90

A próxima etapa consiste na determinação do consumo da refrigeração em condição real, através de:

$CgTT_{real}$ = 401.271,64 KWh/ano

CEE = 3,90

$$C_{R,\,real} = \frac{CgTT_{real}}{CEE}$$

$C_{R,real}$ = 102.890, 16 KWh/ano

Sabe-se que o Consumo de Refrigeração de Referência, dado pelo PBE Edifica, é:

$CgTT_{ref}$ = 572.037,19 KWh/ano

CEE = 3,90

$$C_{RRef} = \frac{CgTT_{ref}}{CEE}$$

C_{RRef} = 146.676,20 KWh/ano

Em seguida, calcula-se o percentual de redução de consumo, conforme segue:

$C_{R,real}$ = 102.890,16 KWh/ano

C_{RRef} = 146.676,20 KWh/ano

$$\mathbf{Red}C_R = ((C_{RRef} - C_{R,\,real}) / C_{RRef}) * 100$$

$RedC_R$ = 29,85%

Para determinar a Classificação Energética dos sistemas de ar-condicionado dos edifícios objeto de estudo, é necessário obter o Coeficiente de Redução de Consumo da Classificação D para a Classificação A utilizando a Tabela 8.20 norma INI-C, conforme mostrado no Quadro 9.

Quadro 9 - Classificação dos sistemas de climatização

Classificação climática	$RedC_R$ (%)				
	Classif. A	Classif. B	Classif. C	Classif. D	Classif. E
Zonas bioclimáticas 1, 2 e 3	$RedC_R > 51$	$51 \geq RedC_R > 34$	$34 \geq RedC_R > 17$	$17 \geq RedC_R \geq 0$	$RedC_R < 0$
Zonas bioclimáticas 4, 5 e 6	$RedC_R > 48$	$48 \geq RedC_R > 32$	$32 \geq RedC_R > 16$	$16 \geq RedC_R \geq 0$	$RedC_R < 0$
Zonas bioclimáticas 7 e 8	$RedC_R > 43$	$43 \geq RedC_R > 29$	$29 \geq RedC_R > 14$	$14 \geq RedC_R \geq 0$	$RedC_R < 0$

Fonte – PBE Edifica – INI-C

Portanto, considerando a Zona Bioclimática 3, com um $RedC_R$ = 29,85%, a classificação dos sistemas de condicionamento de ar é **C**.

Adicionalmente, devem ser verificados os pré-requisitos para que o sistema possa ser considerado Classe A, para que em caso de um upgrade, o sistema esteja elegível para essa alteração. Os pré-requisitos são:

Sistemas Centrais:

- Controle de temperatura por zona (7.1.2.2.2);
- Faixa de temperatura de controle (7.1.2.2.3);
- Evitar aquecimento e refrigeração simultâneo (7.1.2.2.5);
- Sistema de desligamento automático (7.1.2.2.6);
- Agrupamento de zonas (7.1.2.2.7);
- Sistema de vazão de líquido variável;
- Isolamento térmico de tubulações com fluxo de fluidos (7.1.2.2.14);

De acordo com a planilha INI-C, o resultado do estudo de consumo e eficiência dos sistemas de ar-condicionado e iluminação, levando-se em conta os dados da envoltória, dos edifícios objeto de estudo, e considerando a usina fotovoltaica de geração distribuída, ficaram conforme mostra o Quadro 10.

Quadro 10 - Resultado da classificação pelo PBE Edifica

Sistema	Condição de Referência (kWh/ano)	Condição Real (kWh/ano)	% de Redução	Classificação
Valores de Carga Térmica de Resfriamento				
Envoltória	1.809.855	1.564.959	13,5%	B
Valores de Consumo de Energia, em Energia Primária				
Condicionamento de ar	915.260	642.035	29,9%	C
Iluminação	325.123	115.753	64,4%	B
Aquecimento de água	0	0		
Equipamentos	332.037	332.037	-	-
Geração de energia	0	-760.000	-	-
Classificação Geral da Edificação (com Geração)	**1.240.382**	**-2.212**	**100,2%**	**A**
Classificação Geral da Edificação (sem Geração)	**1.240.382**	**757.788**	**38,9%**	**B**

Fonte – PBE Edifica – INI-C

Nesta próxima etapa, foi realizada a simulação computacional do projeto original no software HAP, para se obter parâmetros de comparação com a classificação da INI-C e por meio desse software, também foram realizadas as simulações de melhorias propostas para verificação dos ganhos energéticos das modificações propostas.

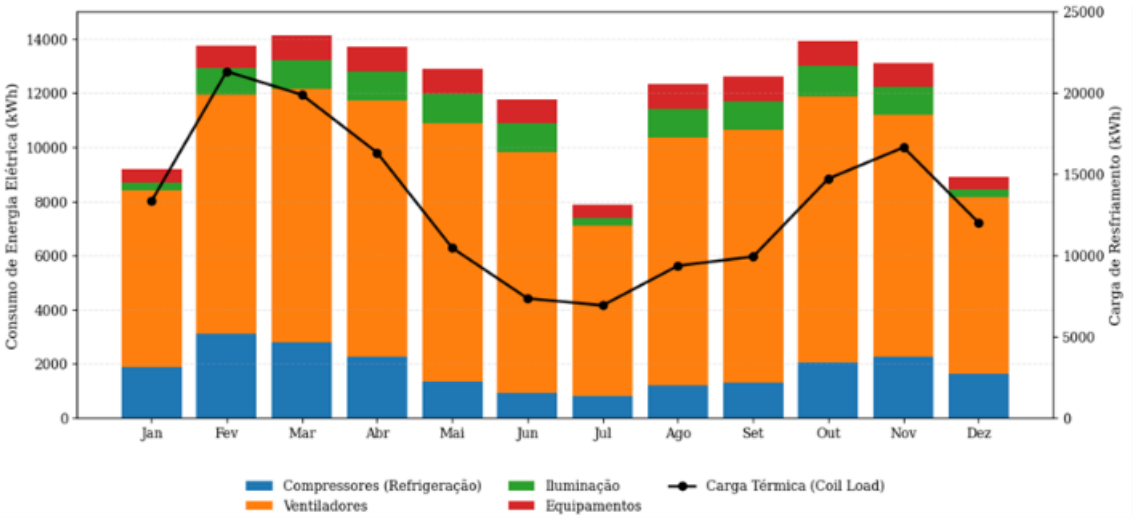
4.4 Resultado da Simulação Computacional da Climatização

4.4.1 Resultado da Simulação 1: Estabelecimento do Cenário de Referência (Baseline)

A primeira etapa da fase experimental consistiu no estabelecimento de um cenário de referência (Baseline), fundamentado nas especificações técnicas fornecidas pelo departamento de engenharia da PUC-Campinas. Utilizando o projeto original dos sistemas de climatização dos Blocos A, B e C do Campus II, procedeu-se à modelagem no software HAP (Hourly Analysis Program) da Carrier, replicando com fidedignidade as variáveis de projeto, tais como as potências instaladas dos motores-ventiladores individuais em salas de aula e laboratórios. O objetivo primordial desta simulação foi validar o comportamento da carga térmica real frente aos parâmetros de projeto, enfrentando as complexidades inerentes à renovação de ar em ambientes com alta densidade ocupacional. A análise contemplou o impacto térmico da

introdução do ar externo às condições ambientais internas ao longo de um ciclo anual de 8.460 horas, considerando rigorosamente os perfis de utilização (schedules) e as oscilações climáticas sazonais, o que permitiu mensurar a influência direta da ventilação mecânica no balanço energético total da edificação. É de suma importância salientar que a análise mostrada na Figura 14 considera que os ventiladores de renovação de ar ficam ligados durante o período de aula quando ocorre a ocupação plena das salas, o que seria o procedimento correto para manter o nível de CO_2 e outros poluentes dentro dos padrões exigidos pela vigilância sanitária através da normativa vigente, e de acordo com o gráfico do rendimento energético gerado pelo HAP, pode-se verificar o que foi gasto com a ventilação e a carga térmica mais elevada que as simulações seguintes.

Figura 14 - Simulação 1 – Operação Normativa – Projeto Original



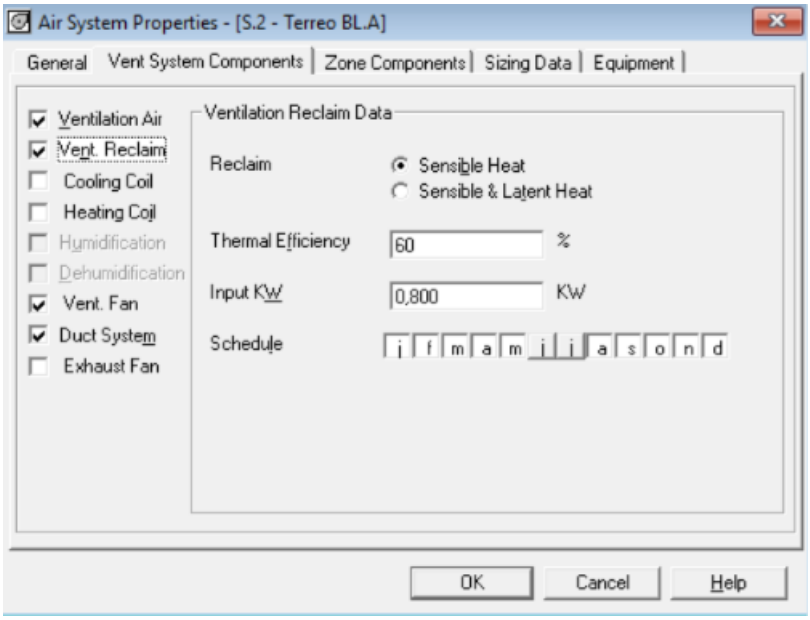
Fonte – Adaptado do Hourly Analysis Program – HAP

4.4.2 Resultado da Simulação 2: Implementação de Sistemas de Recuperação Entálpica

A partir da validação da Simulação 1 — cujos resultados de potência instalada e consumo guardaram estreita correlação com o projeto executivo, ratificando a classificação energética "**C**" pelo PBE Edifica —, propôs-se uma intervenção tecnológica no sistema de renovação de ar. Nesta segunda interação, mantendo-se inalteradas as configurações espaciais e os perfis de carga interna, substituiu-se o modelo de exaustão e insuflamento convencional por um sistema dotado de troca entálpica (recuperadores de energia), conforme configuração mostrada na Figura 15. Esta modificação visou quantificar o potencial de aproveitamento térmico entre o ar

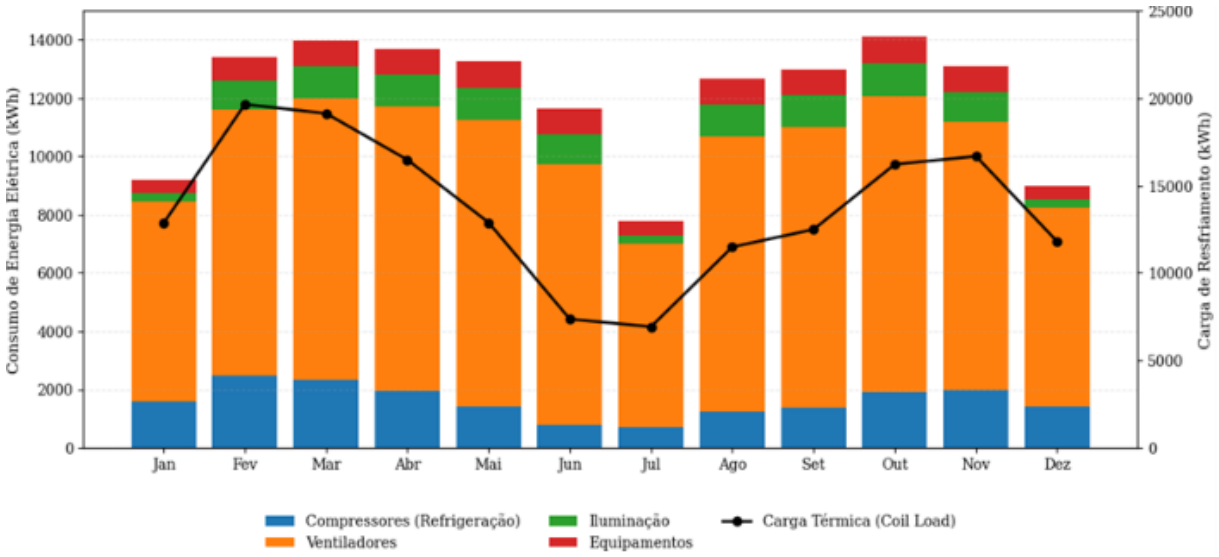
de exaustão e o ar externo, otimizando o pré-condicionamento do ar de renovação. Os dados obtidos indicaram uma redução expressiva de aproximadamente 5% no consumo energético global, permitindo, adicionalmente, um redimensionamento mais eficiente dos equipamentos de expansão direta, conforme detalhado nos indicadores de desempenho apresentados na Tabela 4. Na Figura 16, está representado o comportamento dessa configuração na simulação através do software HAP, com a renovação de ar por entalpia e com o agendamento idêntico ao da simulação número 1, onde os ventiladores ficam ligados durante a ocupação das salas de aula.

Figura 15 – Configuração da renovação de ar por entalpia (Vent Reclaim)



Fonte – Hourly Analysis Program – HAP

Figura 16 – Simulação 2 – Recuperador Entálpico

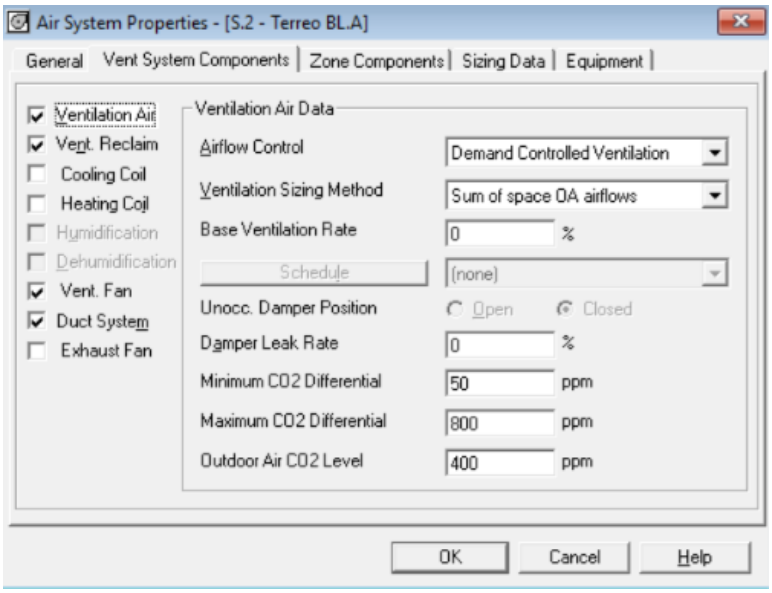


Fonte – Adaptado do Hourly Analysis Program – HAP

4.4.3 Resultado da Simulação 3: Controle de Ventilação por Demanda (DCV) via Sensores de CO_2

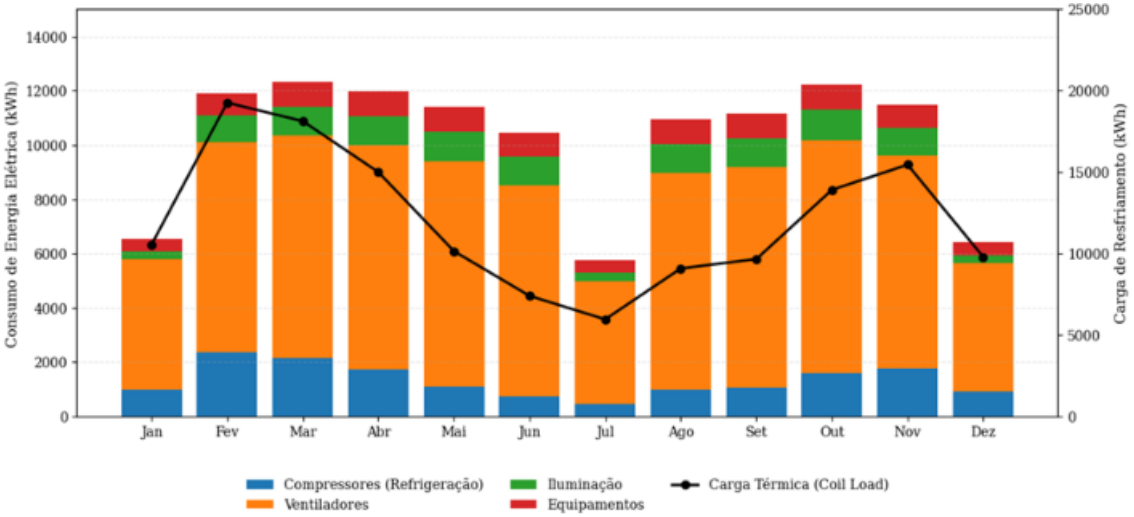
Na terceira etapa da simulação, o foco recaiu sobre a otimização operacional do sistema de ventilação, removendo-se o trocador entálpico para isolar os efeitos do sistema de Ventilação por Demanda (Demand Controlled Ventilation – DCV). Configurou-se, no ambiente HAP conforme mostra a Figura 17, a modulação do fluxo de ar externo baseada na concentração de dióxido de carbono (CO_2), monitorada por sensores virtuais que garantem a manutenção dos níveis de QAI dentro dos limites estipulados pela legislação vigente. Esta estratégia permite que a ventilação opere em regime pleno apenas quando a ocupação efetiva do recinto assim o exigir, mitigando o desperdício energético em períodos de subutilização das salas de aula. Os resultados demonstraram uma performance superior, com economia energética maior que 5% em comparação ao sistema original, reforçando que a adequação às normas sanitárias e o bem-estar dos ocupantes podem convergir com a eficiência operacional do sistema de climatização. Na Figura 18, pode-se verificar um desempenho energético ainda melhor, quando comparado ao sistema original.

Figura 17 - Configuração da ventilação por demanda (DCV)



Fonte – Hourly Analysis Program - HAP

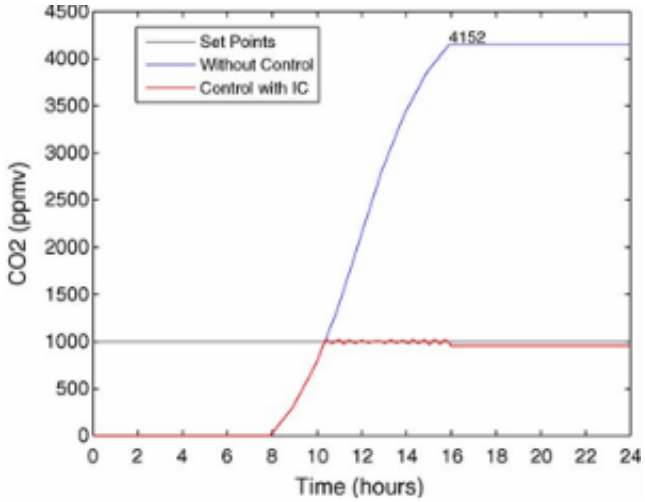
Figura 18 - Simulação 3 – Renovação de ar comandada por Sensor de CO2



Fonte – Adaptado do Hourly Analysis Program – HAP

Como complemento, no estudo de Dounis e Caraiscos (2009), são realizados comparativos entre o sistema de ventilação convencional, e o sistema controlado por demanda DCV, com sensores de CO_2 interligados a Inteligência Computacional, que pode ser um BMS, e o resultado é mostrado na Figura 19, onde pode ser verificado que o nível de CO_2 sem o controle por demanda, alcançou um nível bastante elevado (traço azul no gráfico), já com o DCV, a concentração de CO_2 fica dentro do limite estabelecido pelo setpoint (traço vermelho).

Figura 19 - Curva de controle de nível de CO_2



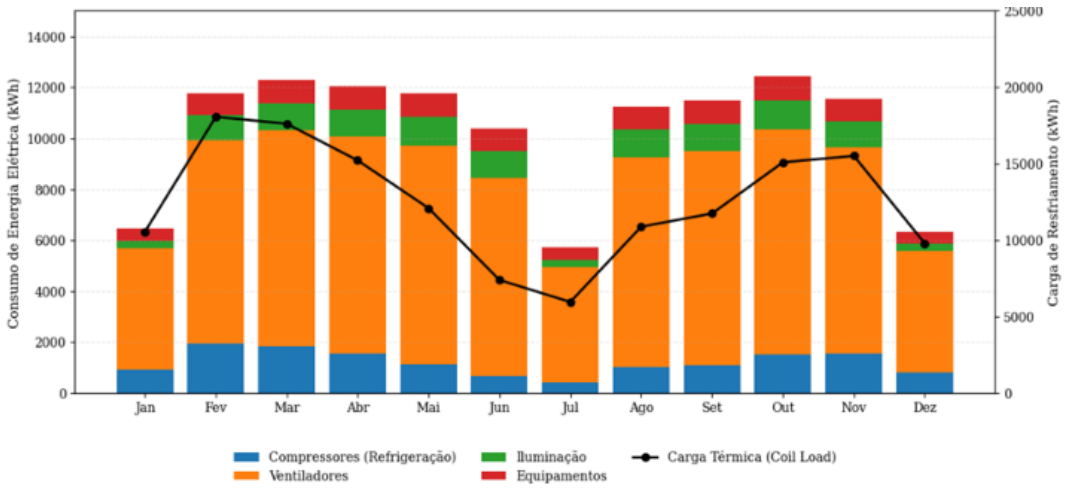
Fonte – Dounis e Caraiscos (2009, p. 1257)

4.4.4 Resultado da Simulação 4: Integração Sistêmica e o "Estado da Arte" em Eficiência Energética

A simulação final consolidou as principais oportunidades de melhoria identificadas na revisão bibliográfica, buscando atingir o "estado da arte" para sistemas de condicionamento de ar em Instituições de Ensino Superior (IES). Este cenário contemplou a convergência das duas tecnologias anteriores: a recuperação entálpica associada ao sistema DCV com sensores de CO_2. Ao combinar a eficiência termodinâmica da troca de energia com a inteligência do controle por demanda, o modelo demonstrou total conformidade com os requisitos rigorosos da ABNT NBR 17037. Esta abordagem holística resultou em uma redução de potência na ordem de 21% em relação ao sistema de referência (Simulação 1), conforme evidenciado na Tabela 4. Além da expressiva economia operacional, esta configuração permitiu que a edificação alcançasse o nível de classificação energética "**B**" no PBE Edifica, estabelecendo um novo paradigma de sustentabilidade e desempenho para o parque edificado do campus.

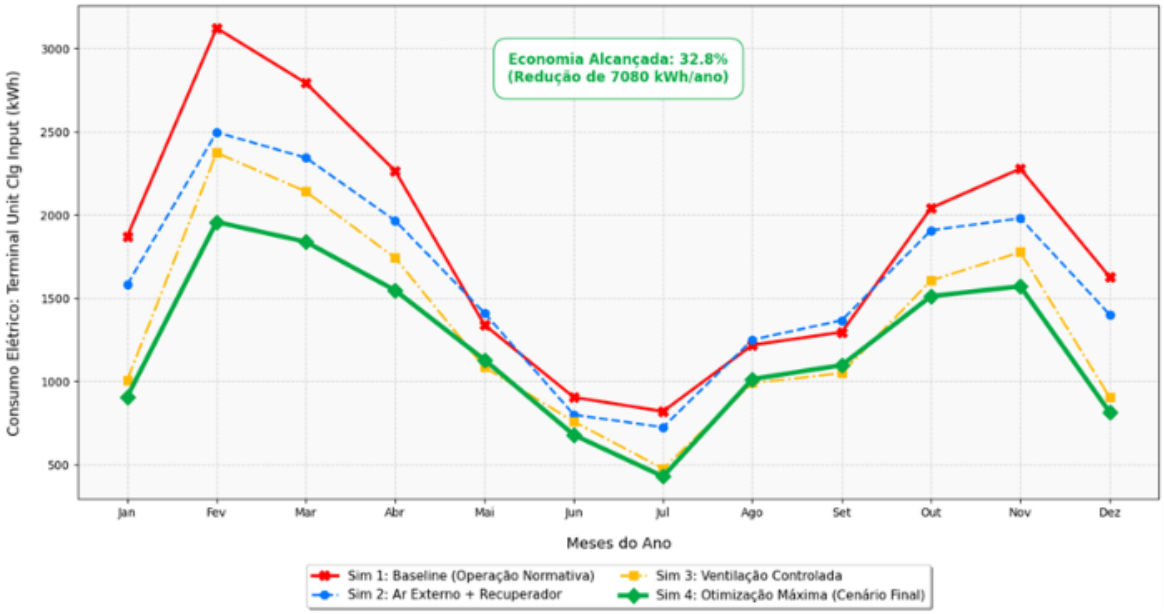
Após a realização das simulações, pode-se obter os gráficos de desempenho energético dos sistemas através dos dados obtidos, que podem ser verificados nas Figuras 20 e 21, sendo que a primeira, traz o resultado da simulação 4, com todas as melhorias propostas no sistema de renovação de ar, e a segunda mostra as curvas de potência consumida do compressor, comparadas nas quatro simulações, onde pode ser observado de forma evidente, a redução do consumo energético de refrigeração, em decorrência da menor carga térmica obtida graças à otimização da renovação de ar.

Figura 20 - Simulação 4 – Entalpia + Controle por Sensor de CO_2



Fonte - Adaptado do Hourly Analysis Program – HAP

Figura 21 - Curva de consumo de refrigeração durante o ano



Fonte – Adaptado do Hourly Analysis Program – HAP

Tabela 4 - Resultados das simulações energéticas no HAP

Sistemas VRF	Andar	Potência Original	Potência Original Simulada	Simulação com Renovação de ar por entalpia		Simulação com Sensor de CO_2		Simulação com Renovação de ar por entalpia + Sensor de CO_2	
			Potência em BTU	Potência em BTU	Redução	Potência em BTU	Redução	Potência em BTU	Redução
Sistema 1	T	371800	374653	347697	-7,8%	349403	-7,2%	301292	-24,3%
Sistema 2	T	185660	188350	179137	-5,1%	177773	-6,0%	146040	-29,0%
Sistema 3	1º	445300	459274	437095	-5,1%	434366	-5,7%	392737	-16,9%
Sistema 4	1º	447500	461663	430953	-7,1%	411163	-12,3%	368170	-25,4%
Sistema 5	2º	479800	472582	451768	-4,6%	444261	-6,4%	406386	-16,3%
Sistema 6	2º	414200	417987	390008	-7,2%	405704	-3,0%	321083	-30,2%
TOTAL		**2344260**	**2374509**	**2236659**	**-4,811%**	**2222669**	**-5,470%**	**1935708**	**-21,106%**

Fonte – Autoria própria, 2025.

4.5 Resultado da Reavaliação do Desempenho Energético conforme a INI-C com as Melhorias Identificadas

Após a análise das medidas de eficiência energética propostas e simuladas no software HAP, os novos parâmetros de desempenho foram inseridos na planilha da Instrução Normativa Inmetro para Edificações Comerciais (INI-C), visando quantificar o impacto das otimizações no nível de eficiência do edifício.

No sistema de iluminação, embora a densidade de potência instalada (DPI) tenha se mostrado adequada na classificação inicial, a ausência de estratégias de controle limitava o potencial de economia, resultando em um nível de eficiência **"B"**. Com a simulação da implementação de um sistema de automação predial (*Building*

Management System - BMS), prevendo a dimerização e o desligamento automático por sensores de presença e luz natural, observou-se uma evolução no enquadramento do subsistema. Conforme detalhado no Quadro 11, essa intervenção elevou a classificação da iluminação para o nível "**A**" nos blocos analisados.

Quadro 11 - Resultado da reclassificação do PBE Edifica com as melhorias

Sistema	Condição de Referência (kWh/ano)	Condição Real (kWh/ano)	% de Redução	Classificação
Valores de Carga Térmica de Resfriamento				
Envoltória	1.809.855	1.564.959	13,5%	B
Valores de Consumo de Energia, em Energia Primária				
Condicionamento de ar	919.356	596.175	35,2%	B
Iluminação	325.123	115.753	64,4%	A
Aquecimento de água	0	0		
Equipamentos	332.037	332.037	-	-
Geração de energia	0	-760.000	-	-
Classificação Geral da Edificação (com Geração)	**1.244.478**	**-48.072**	**103,9%**	**A**
Classificação Geral da Edificação (sem Geração)	**1.244.478**	**711.928**	**42,8%**	**B**

Fonte – PBE Edifica – INI-C

Quanto ao sistema de climatização, as melhorias foram fundamentadas na otimização da renovação de ar, conforme sugerido por análises técnicas e simulações térmicas. A adoção de sistemas de recuperação entálpica, associada ao controle de demanda de ventilação por sensores de CO_2, permitiu uma redução de aproximadamente 21% na carga térmica de resfriamento em relação ao projeto original. Ao transpor esses resultados para a metodologia da INI-C, o subsistema de condicionamento de ar evoluiu do nível "**C**" (Quadro 8) para o nível "**B**" (Quadro 10). Tais resultados evidenciam que a modernização dos sistemas térmicos em instituições de ensino superior não apenas assegura a conformidade normativa, mas também reduz significativamente a intensidade energética operacional e a respectiva pegada de carbono da edificação.

Embora a classificação geral do edifício (sem o aporte da geração fotovoltaica) tenha permanecido no nível "**B**", observou-se uma maior aproximação do índice de desempenho ao limite superior da faixa de eficiência. Com a integração da geração fotovoltaica (Geração Distribuída), o edifício atingiu o nível máximo de eficiência ("**A**"), demonstrando que a sinergia entre a redução da demanda interna e a geração local é a estratégia mais eficaz para a obtenção de edifícios de alta performance.

Um ponto relevante a ser comentado, é que de acordo com a planilha INI-C do PBE Edifica, a análise das emissões de CO_2 equivalente revelou que o sistema de condicionamento de ar é o maior contribuinte para a pegada de carbono operacional

da edificação (excluindo a geração). No cenário base, o sistema VRF já apresentava um desempenho 30,2% superior ao edifício de referência (de classificação energética "**D**"). Com a implementação da estratégia de redução da potência de refrigeração para os Blocos objetos de estudo, obteve-se uma redução adicional de 7,14% nas emissões específicas do setor de climatização (passando de 57.783 para 53.656 $KgCO_2eq$/ano).

Este resultado é significativo para a gestão ambiental do campus, pois demonstra que a eficiência energética no lado da demanda (redução de carga e potência) potencializa o caráter 'Net Zero' da edificação. Embora a geração distribuída de energia já compense integralmente as emissões da envolvente, a otimização do sistema de climatização permitiu uma economia de 4.127 $KgCO_2eq$, que deixa de ser demandada da rede elétrica nacional, contribuindo para a resiliência energética da instituição.

Nos Quadros 12 e 13, estão os resultados extraídos da planilha INI-C do PBE Edifica que demonstram a redução da emissão de CO_2.

Quadro 12 - Resultado de CO_2 do PBE Edifica anterior à redução

Emissão de CO_2 equivalente

Sistema	Condição de Referência ($kgCO_2eq$)	Condição Real ($kgCO_2eq$)	% de Redução
Envoltória	-	-	-
Condicionamento de ar	82.742	57.783	30,2%
Iluminação	29.261	10.418	64,4%
Aquecimento de água	0	0	
Equipamentos	29.883	29.883	-
Geração de energia	-	-572.280	-
Total (com geração)	**0**	**0**	
Total (sem geração)	**0**	**0**	

Fonte – PBE Edifica – INI-C

Quadro 13 - Resultado de CO_2 do PBE Edifica após a redução

Emissão de CO_2 equivalente

Sistema	Condição de Referência ($kgCO_2eq$)	Condição Real ($kgCO_2eq$)	% de Redução
Envoltória	-	-	-
Condicionamento de ar	82.742	53.656	35,2%
Iluminação	29.261	10.418	64,4%
Aquecimento de água	0	0	
Equipamentos	29.883	29.883	-
Geração de energia	-	-572.280	-
Total (com geração)	**0**	**0**	
Total (sem geração)	**0**	**0**	

Fonte – PBE Edifica – INI-C

A análise dos Blocos A, B e C revela que a busca pela eficiência energética não pode ocorrer sem levar em conta a saúde ambiental. A NBR 17037, ao substituir as diretrizes da RE 09, impõe um rigor técnico que justifica o desafio de obter classificações elevadas no PEB Edifica para sistemas de climatização em edifícios educacionais (ABNT, 2022; Brasil, 2003). No entanto, é justamente na ligação entre a renovação de ar obrigatória e o uso de tecnologias de recuperação de energia que reside a oportunidade de transformar o atual Nível C em um desempenho superior, garantindo sustentabilidade e bem-estar.

No estudo de caso da PUC, o sistema adotado consiste na instalação de ventiladores individuais de renovação posicionados sobre o forro de cada sala de aula. Embora os equipamentos sejam comercializados como modelos de "baixo ruído", a realidade operacional revela um problema notório no conforto acústico. A proximidade do motor com a área de ensino gera uma poluição sonora que motiva reclamações recorrentes por parte do corpo docente.

Como consequência direta, nas visitas realizadas com o objetivo de fazer os levantamentos necessários para pesquisa, observou-se uma distorção no uso do sistema, pois os ventiladores de renovação têm sido ligados prioritariamente durante os intervalos, permanecendo desligados durante as aulas para evitar o incômodo

sonoro. Esta conduta não é a mais indicada para o propósito do sistema, uma vez que o pico de concentração de contaminantes e CO_2 ocorre justamente quando as salas estão em sua ocupação máxima. Portanto, o sistema pode falhar em prover a QAI quando ela é mais necessária.

Além do problema acústico, a configuração de ventiladores individuais impõe um desafio logístico à equipe de manutenção. Com um total de 71 ventiladores espalhados por três blocos, e considerando que cada unidade possui dois filtros que exigem inspeção e troca com periodicidade definida conforme as diretrizes do Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC), a carga de trabalho torna-se descentralizada e ineficiente.

Uma alternativa técnica mais robusta, que este estudo propõe, é a centralização da renovação por setores ou pavimentos. Ao agrupar, por exemplo, cinco salas de aula sob a responsabilidade de um único ventilador de maior porte instalado em uma área técnica ou no corredor, obtêm-se vantagens imediatas, como atenuação acústica, devido ao afastamento da fonte de ruído em relação aos alunos e professor, melhora da logística de manutenção, pois com a redução de 71 pontos de manutenção para um número significativamente menor, haverá maior facilidade para o controle de trocas de filtros e motores, e além de todos esses benefícios, a centralização proporciona uma estabilidade de fluxo, melhorando o controle das pressões de insuflamento.

E ao se realizar a análise detalhada do consumo energético em diferentes áreas do edifício, foram identificadas as áreas com maior potencial de redução, direcionando os esforços para intervenções mais eficazes. E com a coleta de dados climáticos, como temperatura, umidade e insolação, foi avaliada a influência do clima no consumo energético do edifício com a utilização da simulação computacional, identificando padrões de consumo e estabelecendo estratégias para otimizar o desempenho energético em diferentes condições climáticas.

Em posse da análise dos dados coletados, identificou-se tecnologias e medidas mais adequadas para a redução do consumo energético, considerando aspectos como integração de sistemas de energia renovável, otimização de iluminação e climatização, renovação de ar, automação predial e práticas de gestão energética. E a partir da análise dos dados e da identificação das tecnologias e medidas viáveis, foram propostos cenários de intervenção, combinando diferentes soluções para a otimização da eficiência energética.

No que concerne ao sistema de iluminação, a aplicação do Método dos Lúmens demonstrou que a readequação do projeto permite uma redução de 12% na potência instalada em relação ao cenário de referência. Verificou-se, ainda, a sensibilidade do sistema quanto ao fator de manutenção: ao intensificar a periodicidade de limpeza das luminárias, a redução na potência de iluminação pode ser otimizada para até 19%, evidenciando a influência direta dos planos de manutenção no desempenho energético.

Através da aplicação das intervenções propostas, baseadas na análise detalhada dos dados e na simulação com o *software* HAP, quantificou-se a redução esperada do consumo energético, com estimativas precisas para diferentes cenários.

Quanto aos sistemas de refrigeração, as simulações realizadas no *software* HAP indicaram um potencial de economia significativo. A substituição do sistema de renovação de ar convencional por um sistema de Ventilação por Demanda (DCV), controlado por sensores de CO_2 e integrado a um trocador de calor entálpico, resultou em uma redução de 21% na potência instalada do sistema de climatização.

E em decorrência, a redução do consumo energético resulta em uma diminuição significativa dos custos operacionais, especialmente com a energia elétrica, impactando positivamente o orçamento do edifício, pois como já explanado anteriormente nas discussões, mesmo com a geração fotovoltaica atendendo relativamente bem o consumo dos edifícios, com a redução da potência utilizada, pode se ter ótimo ganhos, como a redução da contratação de demanda, a alocação da sobregeração fotovoltaica para outras unidades da universidade, e além destas vantagens, diminui também a necessidade de investimentos em novas infraestruturas elétricas em caso de ampliação da universidade.

A implementação de medidas de eficiência energética contribui para a redução da emissão de gases de efeito estufa, promovendo a sustentabilidade ambiental e minimizando o impacto do edifício no meio ambiente.

Os resultados da análise e as propostas de intervenção foram sintetizados em um conjunto de recomendações práticas para ações futuras de melhoria da eficiência energética, orientando a tomada de decisão e garantindo a otimização contínua do desempenho energético do edifício, e recomendações essas que podem ser implementadas em outras unidades da universidade e em novos projetos. A metodologia proposta realizou o monitoramento contínuo do desempenho energético do edifício após a implementação das intervenções, utilizando o *software* HAP e a

coleta sistemática de dados, para avaliar a efetividade das medidas adotadas e identificar novas oportunidades de otimização. Os resultados esperados da análise da eficiência energética do edifício, além de fornecer um diagnóstico preciso e detalhado, permitirão a implementação de ações eficazes para reduzir o consumo energético, os custos operacionais e a emissão de gases de efeito estufa, promovendo a sustentabilidade e a otimização do desempenho energético do edifício.

Assim, com o desenvolvimento desse projeto de pesquisa obteve-se resultados práticos, quantificáveis e direcionados à otimização do consumo energético, promovendo a sustentabilidade e a eficiência energética do edifício.

5 DISCUSSÃO

Com o objetivo de consolidar os principais resultados obtidos ao longo da pesquisa e facilitar a comparação entre as condições anterior e posterior à aplicação das estratégias de melhoria, o Quadro 14 apresenta uma síntese das classificações energéticas obtidas pelo PBE Edifica para os sistemas de iluminação, envoltória e climatização, bem como para a classificação geral das edificações.

Quadro 14 - Síntese comparativa da classificação energética pelo PBE Edifica antes e após as melhorias

Sistema / classificação	Antes das melhorias	Após as melhorias	Evolução
Iluminação	B (64,4%)	A (64,4%)	**B → A**
Envoltória	B (13,5%)	B (13,5%)	Mantida
Climatização	C (29,9%)	B (35,2%)	**C → B**
Geral – sem geração distribuída	B (38,9%)	B (42,8%)	Mantida, com maior redução
Geral – com geração distribuída	A (100,2%)	A (103,9%)	Mantida

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados do PBE Edifica – INI-C (2026).

A análise comparativa evidencia a evolução do desempenho energético dos sistemas avaliados. A iluminação apresentou alteração da Classe B para a Classe A, enquanto o sistema de climatização evoluiu da Classe C para a Classe B. A envoltória permaneceu na Classe B, uma vez que suas características construtivas foram mantidas nos cenários avaliados. Na classificação geral sem geração distribuída, as edificações permaneceram na Classe B, embora tenha ocorrido aumento do percentual de redução do consumo em relação à condição de referência. Considerando a geração distribuída, a classificação geral permaneceu na Classe A.

Conforme proposto, foi realizado todo o levantamento do consumo energético dos itens mais representativos das edificações objeto de estudo, obtendo-se os valores reais e utilizando-se de métodos e estratégias para compará-los com padrões de eficiência energética, onde no caso da iluminação artificial, foram utilizados, primeiramente, os cálculos previstos no manual simplificado do INI-C do PBE Edifica,

em seguida, foi utilizado o método dos lúmens para elaboração do projeto de luminotécnica, e finalmente, foi utilizada a planilha INI-C – INPUT-INTERFACE, onde houve a constatação e confirmação dos cálculos utilizados no primeiro método, obtendo-se parâmetros muito similares. E com todos esses dados pode-se chegar à conclusão de que, mesmo a universidade tendo feito inúmeras ações em direção à melhoria no consumo energético dos sistemas de iluminação, como a adoção, já há alguns anos, de luminárias com lâmpadas LED, foi possível identificar oportunidades de melhorias, como, por exemplo, uma revisão no projeto e adoção de novas tecnologias de luminárias mais eficientes, pois apenas com a revisão, já haveria a possibilidade de redução da quantidade de luminárias e consequentemente do custo de instalação e de consumo mensal.

Ainda sobre iluminação, pode-se verificar que os sistemas destas edificações alcançaram apenas a classificação "**B**" do programa PBE Edifica, e isso decorre exclusivamente da ausência de sistemas de automação das luminárias, sendo que esse sistema poderia trazer diversas vantagens e melhorias, com relação à eficiência energética, como, por exemplo, o sensoriamento garantir que a iluminação fosse totalmente desligada, caso as salas de aula ou os laboratórios estejam vazios. E além do desligamento, pode-se investir em sistemas de automação, com inteligência computacional, como lógica Fuzzy, por exemplo, interligados a um sistema *Building Management System* (BMS), que além de garantir que não existem pessoas no interior daquele determinado ambiente e desligar as luzes, esses sistemas poderiam também, ter um melhor aproveitamento da iluminação natural, dimerizando a iluminação artificial e com isso, melhorando em muito a eficiência energética nos circuitos de iluminação dos edifícios.

Na sequência, em atendimento aos objetivos da pesquisa, para a análise dos sistemas de climatização, a envoltória foi incluída no estudo e passou por análise para que os parâmetros obtidos através da planilha INI-C-input-interface, de acordo com as características da envoltória, como o fechamento das paredes, aberturas (fenestrações) e o material da cobertura, e apresentou um resultado de carga térmica classificado como "**B**" pela planilha. Para a realização de toda essa análise, da mesma maneira que foram desenvolvidos os cálculos de iluminação com a utilização do manual e da planilha, para climatização e envoltória, também foram realizados cálculos baseados na planilha INI-C do programa PBE Edifica. E para se obter parâmetros de comparação, e, de posse de todas as plantas e cargas térmicas

mapeadas dos três blocos objetos de estudo, foi utilizado o software Hourly Analysis Program (HAP), do fabricante Carrier, para cálculo da carga térmica necessária para suprir os edifícios, e com o conceito de melhoria de eficiência energética, que como principal item de mudança com relação ao projeto existente, foi a simulação com a adoção de caixas misturadoras de renovação de ar, juntamente com o controle de ventilação por demanda (DCV), para desta forma, simular a diminuição do efeito da renovação de ar com ar externo e sem resfriamento, no sistema de climatização, o que proporcionou redução significativa do consumo energético e melhoria do sistema de renovação de ar, que é de grande importância para ambientes de ensino superior.

E novamente, através da comparação entre esses dois processos, foi possível se chegar na conclusão de que podem ser realizados projetos que priorizem a eficiência energética, que possam ter o custo inicial um pouco mais elevado que os projetos convencionais, mas que trarão uma economia significativa no custo operacional, proporcionando retorno financeiro e também contribuirá com uma menor agressão ao meio ambiente, já que como pode ser verificado em uma inspeção aos novos equipamentos de climatização instalados, a universidade realiza um alto investimento na instalação de sistemas modernos e eficientes de climatização, e que se verifica a grande e iminente necessidade desses investimentos para a melhoria do conforto térmico, e de acordo com os parâmetros para atender a carga térmica da envoltória, e mesmo sendo um sistema de alto desempenho, ainda assim, obteve a classificação **“C”** de eficiência energética.

Destaca-se que os sistemas já possuem atualmente automação; entretanto, trata-se apenas de uma programação que pode ligar e desligar os equipamentos em determinados horários programados, e verificou-se que a programação está sendo realizada para ligar todos os equipamentos de climatização às 6:30h e desligar às 22:35h nos dias úteis de aula, e que os sistemas não preveem se uma sala está vazia com o aparelho de ar-condicionado evaporador ligado, podendo prejudicar a eficiência energética do sistema. Com isso, deve ser proposto um aprimoramento desta automação, com outros recursos, como sensores de presença que possam desligar ou regular as evaporadoras do sistema, quando não houver usuários, ou quando a temperatura estiver muito baixa, e da mesma forma que em outros sistemas dos edifícios, utilizar-se de inteligência computacional, com lógicas que possam priorizar a eficiência energética, zelando pelo conforto dos usuários, como a lógica Fuzzy, e

redes neurais que possam atuar em conjunto nos sistemas de climatização e iluminação, de acordo com a envoltória.

A Lógica Fuzzy permite aos sistemas de controle gerirem variáveis de alto nível que definem o conforto, como o índice PMV (*Predicted Mean Vote*), incorporando o raciocínio humano aproximado. Em vez de dependerem de limiares rígidos, os controladores Fuzzy operam com regras linguísticas (ex: "SE a temperatura está ligeiramente fria ENTÃO aumentar ligeiramente o aquecimento"), o que os torna mais intuitivos e adaptáveis. Para otimizar estes controladores, foram aplicados Algoritmos Genéticos (do inglês Genetic Algorithms - GAs), que procuram a melhor combinação de parâmetros para maximizar simultaneamente a eficiência energética e o conforto dos ocupantes.

Com base nos estudos realizados, deve-se seguir com uma lista de opções que poderão fazer parte de um plano de melhoria da eficiência energética nestes edifícios objeto de estudo, ou em outros edifícios da Universidade que possam ter maior prioridade, como por exemplo, aqueles que não têm GD fotovoltaica, e que em razão disto e de outras características, possam ter uma EE muito aquém do necessário para o cenário atual. Para locais sem GD, a eficiência energética deixa de ser uma medida paliativa para se tornar a "primeira fonte" de energia, a mais barata e sustentável, capaz de reduzir a necessidade de expansão da oferta e mitigar os impactos ambientais associados à geração. Para o setor comercial, a adoção de práticas eficientes reflete diretamente na redução de custos operacionais e no incremento do conforto térmico e lumínico, fatores críticos para a produtividade e competitividade do setor, conforme citado anteriormente, as edificações no Brasil respondem por 49,97% do consumo nacional (Brasil, 2024), e dentro deste montante, o segmento comercial, de serviços e edifícios públicos responde por 21% do consumo total (Brasil, 2024). Projeções para o Plano Decenal de Energia (PDE) 2034 apontam que a demanda elétrica em edificações deve crescer à taxa de 4% ao ano na próxima década.

A respeito da diminuição do consumo energético, mesmo a viabilidade da implementação de sistemas de Geração Distribuída (GD) fotovoltaica em consumidores de grande porte, classificados no Grupo A (Alta Tensão), não substitui a necessidade estratégica de medidas de eficiência energética, em virtude da estrutura tarifária binômia a que estão submetidos, na qual são cobrados a demanda e o consumo de energia. Enquanto a geração fotovoltaica atua predominantemente na mitigação do consumo de energia ativa (kWh), ela apresenta limitações na redução

da demanda contratada (kW), visto que o pico de geração solar pode não coincidir com a curva de carga máxima da instituição, frequentemente deslocada para o final do período vespertino ou noturno em ambientes educacionais. Nesse contexto, a redução de 21% na potência instalada por meio da otimização de subsistemas da climatização (renovação de ar) e lumínicos não apenas diminui a dependência da rede, mas promove o arrefecimento da carga máxima simultânea. Tal redução de carga possibilita a repactuação dos contratos de demanda junto à concessionária, transformando a eficiência energética em uma ferramenta de redução de custos fixos e de liberação de capacidade instalada na infraestrutura elétrica (transformadores e cabines primárias), permitindo a expansão das atividades acadêmicas sem a necessidade de investimentos imediatos em reforços de rede.

Adicionalmente aos ganhos em demanda contratada, a sinergia entre a redução do consumo e a microgeração distribuída potencializa a viabilidade econômica por meio da otimização do autoconsumo remoto. Nos termos da Lei nº 14.300/2022, que estabelece o novo marco legal da Geração Distribuída (GD), a compensação de créditos de energia passou a ser onerada pela incidência escalonada dos custos de uso do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE). Nesse cenário, a "energia conservada" por meio da eficiência energética torna-se economicamente superior à "energia gerada e compensada", uma vez que a redução direta do consumo evita integralmente os encargos de rede. O superávit de créditos resultante da economia no campus principal pode ser redirecionado para unidades consumidoras satélites sob a mesma titularidade jurídica, como clínicas, bibliotecas externas ou centros administrativos, otimizando o portfólio energético da instituição.

Sob a ótica da engenharia de manutenção e gestão de infraestrutura, a eficiência energética atua no adiamento de investimentos em bens de capital (CAPEX). Em instituições de ensino superior com perfil de crescimento constante, a liberação de 21% da capacidade do sistema elétrico existente posterga a necessidade de ampliações em subestações, transformadores e cabines primárias para o atendimento de novas cargas, como laboratórios e centros de processamento de dados. Somado a isso, considerando que os edifícios já dispõem de sistemas de climatização com fluxo de refrigerante variável (VRF), a substituição de componentes menos eficientes por tecnologias de maior desempenho pode impactar diretamente os custos de operação e manutenção (O&M). Equipamentos modernos, ao operarem

em regimes de carga parcial e com menor frequência de ciclos de partida, apresentam maior confiabilidade e vida útil estendida, reduzindo as despesas com manutenções corretivas e substituição prematura de componentes.

No âmbito da gestão comercial, a redução do perfil de carga e a estabilidade de consumo proporcionada pela eficiência energética tornam a instituição mais resiliente e apta à transição para o Ambiente de Contratação Livre (ACL). A previsibilidade de consumo é um fator determinante na negociação de contratos de compra de energia junto às comercializadoras, permitindo a obtenção de preços mais competitivos. Paralelamente, o alinhamento com as diretrizes ESG (Environmental, Social, and Governance) reforça o valor de marca institucional. A participação em rankings globais de sustentabilidade, a melhoria do posicionamento institucional e a possibilidade de emissão de Certificados de Energia Renovável (I-RECs) e créditos de carbono podem consolidar a imagem da universidade como um centro de excelência em gestão de recursos, com a possibilidade de facilitar o acesso a linhas de crédito "verdes" e parcerias internacionais de pesquisa.

Em última análise, os resultados demonstram que a geração fotovoltaica e a eficiência energética operam em dimensões distintas e complementares dentro do planejamento energético predial. Enquanto a fotovoltaica se consolida como uma estratégia de suprimento de baixo carbono, a eficiência energética estabelece-se como uma disciplina de gestão de demanda. A convergência de ambas as abordagens permite atingir um ponto ótimo financeiro e operacional, superando as limitações técnicas de sistemas baseados exclusivamente na expansão da oferta energética e garantindo a sustentabilidade econômica da instituição frente às volatilidades do mercado elétrico nacional.

Além da redução direta no consumo energético e da liberação de capacidade da planta fotovoltaica para outras unidades da instituição, a modernização dos sistemas de renovação de ar apresenta ganhos significativos sob a ótica da manutenção e da gestão predial.

A transição de sistemas de ventilação descentralizados para uma configuração centralizada de renovação de ar não apenas otimiza o desempenho termodinâmico, mas promove uma melhora substancial na operabilidade. A centralização permite a redução do inventário de motores e ventiladores, resultando em menos pontos de intervenção para trocas de filtros e limpezas periódicas. Essa simplificação logística

reduz o custo de manutenção preventiva e diminui o tempo de indisponibilidade dos sistemas, garantindo que a QAI seja mantida com menor esforço operacional.

Concomitantemente à melhoria física da infraestrutura, a implementação de estratégias de automação avançada consolida os edifícios como uma estrutura inteligente e responsiva. A utilização de sensores multiparamétricos de alta precisão, como os da linha Schneider SpaceLogic, exemplifica a convergência entre conforto e eficiência. Esses dispositivos, quando integrados ao BMS, permitem o monitoramento, em tempo real, dos níveis de dióxido de carbono (CO_2), por meio do sensor apresentado na Figura 22, e da ocupação efetiva dos ambientes, por meio do sensor apresentado na Figura 23.

Figura 22 - Exemplo de sensor dos sistemas de ar-condicionado e iluminação



Fonte – Adaptado do site do fabricante Schneider (2026)

Figura 23 - Exemplo de sensor de presença que pode ser integrado



Fonte – Adaptado do site do fabricante Schneider (2026)

A inteligência do sistema reside na interoperabilidade entre diferentes fabricantes e protocolos. A integração dos dados obtidos pelos sensores da Schneider com a automação do sistema de climatização (ex.: Hitachi) viabiliza o controle por demanda. Em cenários de baixa ocupação, o sistema pode atuar de forma autônoma para desligar os ventiladores de renovação, ajustar o funcionamento das evaporadoras, desligar unidades em salas vazias, elevar estrategicamente o setpoint de temperatura e gerenciar a iluminação, desativando circuitos em áreas sem presença detectada.

Para maior clareza, o Quadro 15 sintetiza as principais estratégias de melhoria da eficiência energética identificadas nesta pesquisa para as edificações objeto de estudo e para outras instituições de ensino com características construtivas, de utilização e de operação semelhantes.

Quadro 15 - Síntese das estratégias de melhoria da eficiência energética

Eixo de intervenção	**Principais ações propostas**	**Resultado esperado**
Eficiência dos sistemas	Revisão luminotécnica; luminárias mais eficientes; DCV com sensoriamento de CO_2; trocadores por entalpia; centralização da renovação de ar;	Redução do consumo e da potência instalada
Automação e inteligência	Sensores de presença, ocupação e CO_2; BMS; dimerização; controle por demanda; lógica Fuzzy; Algoritmos Genéticos	Operação adaptativa, redução do desperdício e manutenção do conforto
Gestão energética e infraestrutura	Redução da demanda; redirecionamento da GD fotovoltaica para outras unidades; repactuação da demanda; postergação de CAPEX	Redução de custos, liberação de capacidade elétrica e maior sustentabilidade
Manutenção e operação	Centralização da ventilação; redução de pontos de intervenção; manutenção preventiva; monitoramento contínuo	Redução de O&M, maior confiabilidade e vida útil dos equipamentos
Sustentabilidade institucional	Integração entre EE, GD, ESG, BMS e gestão energética	Redução de emissões e fortalecimento da gestão sustentável

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2026).

Nota: As estratégias apresentadas constituem propostas de melhoria aplicáveis aos edifícios objetos de estudo, devendo a priorização individual ser definida a partir dos resultados quantitativos e da viabilidade técnico-econômica.

Essa abordagem holística transforma a iluminação, a ventilação e o condicionamento de ar de consumidores passivos em sistemas dinâmicos. Portanto, a discussão demonstra que a eficiência energética não é um fim em si mesma, mas o resultado de um projeto que integra a conservação de energia com a facilidade de manutenção e a automação de ponta, permitindo que a geração fotovoltaica seja aproveitada de forma muito mais estratégica e sustentável pela instituição.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho consolidou uma avaliação crítica sobre os procedimentos normativos de classificação de eficiência energética em edificações existentes, tomando como objeto de estudo os Blocos A, B e C do Campus II da PUC-Campinas. O trabalho evidenciou que, mesmo em estruturas que já passaram por processos de modernização tecnológica, com a adoção de iluminação LED e sistemas de climatização do tipo VRF (*Variable Refrigerant Flow*), subsistem oportunidades significativas de otimização que podem ser identificadas por meio do confronto entre métodos simplificados (INI-C), cálculos (Método dos Lúmens) e simulações computacionais de alta fidelidade (HAP).

No que tange à iluminação artificial, a aplicação inicial dos critérios do PBE Edifica conferiu aos edifícios a classificação "B". Embora a carga instalada fosse condizente com tecnologias modernas, a ausência de sistemas de controle automatizado e de integração com a luz natural revelou-se o principal gargalo para o atingimento do nível "A". Por meio do Método dos Lúmens, demonstrou-se que um redimensionamento técnico assertivo permitiria uma redução imediata de 12,7% na potência instalada. Ao considerar a adoção de luminárias de última geração com fatores de utilização otimizados e a implementação de sensores de presença e dimerização via sistemas BMS (*Building Management System*), o potencial de redução será ainda maior. Adicionalmente, verificou-se que a gestão da manutenção (limpeza periódica) pode elevar o rendimento do sistema, proporcionando uma redução de até 19%, provando que a eficiência luminotécnica é uma variável dependente tanto do projeto quanto da operação.

Quanto aos sistemas de climatização, o estudo revelou um desafio intrínseco às Instituições de Ensino Superior: o equilíbrio entre o conforto térmico e a renovação de ar exigida pela NBR 17037. O cenário base apresentou uma classificação nível "C" na INI-C, penalizado pela carga térmica latente injetada pelo sistema de renovação de ar convencional. Contudo, as simulações no software HAP permitiram projetar o "Estado da Arte" para o subsistema: a integração de trocadores de calor entálpicos com a Ventilação Controlada por Demanda (DCV) via sensores de CO_2. Esta sinergia demonstrou ser capaz de reduzir o consumo energético de refrigeração em expressivos 32,8% e a potência instalada dos equipamentos em 21%. Tais resultados

são fundamentais para a reclassificação do subsistema para o nível "B", aproximando a edificação dos padrões de alta performance.

A pesquisa também trouxe contribuições sobre a infraestrutura e gestão predial. A proposta de centralização da renovação de ar por pavimento, em substituição às 71 unidades individuais descentralizadas, resolve simultaneamente problemas de conforto acústico (poluição sonora em sala de aula) e complexidade logística. Esta mudança simplifica o Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC), reduzindo pontos de falha e custos operacionais, além de garantir que a Qualidade do Ar Interior (QAI) seja mantida de forma estável e eficiente.

Sob a ótica da sustentabilidade ambiental, a otimização dos sistemas de demanda (iluminação e ar-condicionado) resultou em uma economia direta de 4.127 $KgCO_2eq$ por ano. Este dado é vital para consolidar o caráter 'Net Zero' da edificação; embora a geração fotovoltaica local compense as emissões remanescentes, é a redução na fonte que garante a resiliência energética da instituição frente às oscilações da rede elétrica nacional.

Em suma, conclui-se que a metodologia aplicada cumpriu o objetivo de estabelecer diretrizes estratégicas para a eficiência energética. No contexto atual de 2026, com a entrada em vigor dos Índices Mínimos de Eficiência Energética (MEPS), este trabalho demonstra que a eficiência não deve ser encarada como uma medida paliativa, mas como a "primeira fonte" de energia, a mais barata, limpa e sustentável. A transição para o Ambiente de Contratação Livre (ACL) e o alinhamento com as diretrizes ESG institucionais exigem que edificações educacionais e comerciais abandonem o papel de consumidores passivos e se tornem estruturas inteligentes, responsivas e economicamente competitivas, servindo de exemplo para a descarbonização da infraestrutura urbana.

Como sugestão para pesquisas futuras, identifica-se a necessidade de investigar a viabilidade financeira de projetos voltados ao padrão *Net Zero Energy Buildings* (NZEB), superando a barreira do custo de capital incremental. Um detalhamento rigoroso do retorno sobre o investimento (ROI) e da redução das despesas operacionais é essencial para instrumentalizar tomadores de decisão. Essa continuidade permitirá alinhar a eficiência técnica às demandas econômicas do mercado, promovendo uma disseminação mais robusta de edificações energeticamente eficientes.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413**: iluminância de interiores. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17037**: Qualidade do ar interior em ambientes edificados — Ventilação para controle de contaminantes. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1**: iluminação de ambientes de trabalho: parte 1: interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

AGÊNCIA GOV. **Novas políticas públicas para eficiência energética industrial podem gerar economia de R$ 10 bi e a redução de cerca de 4,5 MtCO₂, até 2050.** Brasília, DF: Agência Gov, 2023. Disponível em: https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202311/novas-politicas-publicas-para-eficiencia-energetica-industrial-podem-gerar-economia-de-r-10-bi-e-a-reducao-de-cerca-de-4-5-mtco2e-ate-2050. Acesso em: 5 out. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Programa de Eficiência Energética**: resultados. Brasília: Aneel, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/programa-de-eficiencia-energetica. Acesso em: 5 out. 2025.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **2020 ASHRAE Handbook**: HVAC systems and equipment. Atlanta: ASHRAE, 2020. Cap. 18.

ASHRAE. **ASHRAE Handbook — Fundamentals**. SI Edition. Atlanta: ASHRAE, 2021. cap. 16, p. 16.11-16.12.

ASHTARI, B. *et al*. A Conceptual Review of the Potential of Cool Roofs as an Effective Passive Solar Technique: Elaboration of Benefits and Drawbacks. **Front. Energy Res.** 9:738182. DOI: https://doi.org/10.3389/fenrg.2021. Acesso em: 05 out. 2025.

AYNUR, T. N. Variable refrigerant flow systems: A review, **Energy and Buildings**, Volume 42, Issue 7, 2010, Pages 1106-1112, ISSN 0378-7788, DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.01.024.

BEZERRA, Alan Marcley. **Avaliação do consumo de energia elétrica em prédios universitários**: estudo de caso da UFPA. 2008. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, PA: 2008.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RE nº 9, de 16 de janeiro de 2003**. Aprova a Orientação Técnica sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo. Brasília, DF: ANVISA, 2003.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Políticas de eficiência energética no Brasil**: apresentações da ABESCO à Comissão de Minas e Energia. Brasília: Câmara dos Deputados, 2023. Disponível em: https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-permanentes/cme/apresentacoes-em-eventos/apresentacoes-de-convidados-em-2023/27-06-2023-politicas-de-eficiencia-energetica-no-brasil/9_ABESCO.pdf. Acesso em: 5 out. 2025.

BRASIL. Decreto de 18 de julho de 1991. Institui o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural - CONPET e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 19 jul. 1991.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Portaria nº 42, de 24 de fevereiro de 2021**: aprova a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). Brasília, DF: Diário Oficial da União, Seção 1, n. 45, p. 44, 9 mar. 2021.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro). **Portaria nº 309, de 6 de setembro de 2022**: aprova as Instruções Normativas e os Requisitos de Avaliação da Conformidade para a Eficiência Energética das Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas e Residenciais – Consolidado. Brasília, DF: Inmetro, 2022. Disponível em: https://pbeedifica.com.br/sites/default/files/INI/Portaria/Port_309_2022_Edificacoes_Retificada%2003_com%20marca%C3%A7%C3%B5es.pdf. Acesso em: 24 maio 2025.

BRASIL. **Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993**. Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 8269, 22 jun. 1993. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8666cons.htm. Acesso em: 22 maio 2025.

BRASIL. **Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2001. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10295.htm . Acesso em: 26 jan. 2026.

BRASIL. **Lei nº 13.874, de 20 de setembro de 2019**. Institui a Declaração de Direitos de Liberdade Econômica; estabelece garantias de livre mercado; altera leis e decretos-leis; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2019. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/lei/l13874.htm. Acesso em: 26 jan. 2026.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Edificações. In: BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional 2024**: ano base 2023. Rio de Janeiro: EPE, 2024. Seção 07.03.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia**. Índices mínimos de eficiência energética**. Brasília, DF: MME, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/ee/indices-minimos-de-ee. Acesso em: 5 out. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Manual de aplicação**: eficiência energética em edifícios públicos. Brasília, DF: MME, 2003. p. 118.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **PNE 2030**: Plano Nacional de Energia 2030. Brasília, DF: EPE, 2007.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Programa PotencializEE**: investimentos transformadores em eficiência energética na indústria. Brasília, DF: MME, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br. Acesso em: 5 out. 2025.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Guia de compras públicas sustentáveis**: uso do poder de compra do governo federal para a promoção do desenvolvimento sustentável. Brasília, DF: MP, 2010.

CAETANO, D. S.; KALZ, D. E.; LOMARDO, L. L. B.; ROSA, L. P. **Evaluation of thermal comfort and occupant satisfaction in office buildings in hot and humid climate regions by means of field surveys.** Energy Procedia, v. 115, p. 183–194, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.017.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Guia Selo Azul da Caixa**. Brasília: Caixa Econômica Federal, 2020. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/Downloads/selo_casa_azul/guia-selo-casa-azul-caixa.pdf . Acesso em: 05 out. 2025.

CARRIER DO BRASIL. **Hourly Analysis Program (HAP)**. Disponível em: https://carrierdobrasil.com.br/hourly-analysis-program/. Acesso em: 15 abr. 2026.

CATUZZO, E. F. J., **Empresa Space Clima**. Comunicação pessoal em 24 mar. 2026.

CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Sobre o CB3E**. Florianópolis: UFSC, 2024. Disponível em: http://cb3e.ufsc.br. Acesso em: 14 dez. 2025.

CREDER, H. **Instalações Elétricas**. 17. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

DOUNIS, A. I.; CARAISCOS, C. Advanced control systems engineering for energy and comfort management in buildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 6-7, p. 1246-1261, 2009.

ELETROBRAS. **Manual Procel Edifica**. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2021. Disponível em: https://smartseloprocel.procelinfo.com.br/selo-procel. Acesso em: 13 jun. 2026.

EMPRESA BRASILEIRA DE PARTICIPAÇÕES EM ENERGIA NUCLEAR E BINACIONAL. **Eficiência energética gerou 4,3% da energia consumida no Brasil em 2022**. Brasília: ENBPar, 2023. Disponível em: https://enbpar.gov.br/eficiencia-energetica-gerou-43-da-energia-consumida-no-brasil-em-2022/. Acesso em: 5 out. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Atlas de Eficiência Energética**: Brasil 2023. Brasília: EPE, 2023. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-de-eficiencia-energetica-brasil-2023. Acesso em: 5 out. 2025.

ENERGIA MEGAWHAT. **Brasil teve 82% de ganhos de eficiência energética de 2005 a 2022, diz EPE**. São Paulo: MegaWhat, 2023. Disponível em: https://megawhat.energy/inovacao/brasil-teve-82-de-ganhos-de-eficiencia-energetica-de-2005-a-2022-diz-epe/. Acesso em: 5 out. 2025.

ENGENHARIA E ARQUITETURA. **Aspectos relacionados à eficiência energética e QAI em recuperadores de energia**. 2023. Disponível em: https://www.engenhariaearquitetura.com.br/2023/06/aspectos-relacionados-a-eficiencia-energetica-e-qai-em-recuperadores-de-energia. Acesso em: 06 jul. 2026.

ESTADOS UNIDOS. Energy Information Administration (EIA). **2024 U.S. Total Energy**. Washington, DC: EIA, 2024. Disponível em: https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/. Acesso em: 2 nov. 2025.

FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI. **AQUA-HQE**: certificação de alta qualidade ambiental. São Paulo: Fundação Vanzolini, 2023. Disponível em: https://vanzolini.org.br/organizacoes/certificacoes/aqua-hqe/. Acesso em: 5 out. 2025.

GOETZLER, William. Variable Refrigerant Flow Systems. **ASHRAE Journal**, Atlanta, v. 49, n. 4, p. 24-31, abr. 2007.

GOETZLER, W. *et al*. Variable Refrigerant Flow Systems. **ASHRAE Journal**, v. 56, n. 4, p. 24-31, 2014.

GREEN BUSINESS CERTIFICATION INC. (GBCI). **Brazil ranks among the Top 10 in the 2024 global LEED green building ranking**. Washington, DC: GBCI, 2025. Disponível em: https://www.gbci.org/brazil-ranks-among-top-10-2024-global-leed-green-building-ranking. Acesso em: 5 out. 2025.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. **Certificação LEED**: GBC Brasil. São Paulo: GBC Brasil, 2024. Disponível em: https://www.gbcbrasil.org.br/certificacao/certificacao-leed/. Acesso em: 5 out. 2025.

IBRAHIM, N. I.; VERING, C.; GIANNETTI, N.; KIM, M.; SHOLAHUDIN; STOREK, T.; MÜLLER, D.; SAITO, K. **State-of-the-art of the digital twin concept in HVAC+R systems for thermal management of buildings.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, [s. l.], v. 229, n. 116601, p. 1-27, 2026. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116601. Acesso em: 31 jul. 2026.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **40 anos do Programa Brasileiro de Etiquetagem:** eficiente por natureza. Brasília: Inmetro, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/inmetro/pt-br/centrais-de-conteudo/noticias/inmetro-celebra-40-anos-do-pbe-com-homenagens-e-discussoes-sobre-o-futuro-da-eficiencia-energetica-no-brasil. Acesso em: 14 dez. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA**. Manual para a aplicação do RTQ-C**. Rio de Janeiro: Inmetro: Eletrobras: Procel, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Planilha PBE Edifica**: SPLV-AC. Rio de Janeiro: Inmetro, 2020. 1 planilha eletrônica. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/PBE-Edifica-SPLV-AC-20201026.xlsm. Acesso em: 5 out. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **The energy crisis has marked a turning point for residential gas demand in Europe**: Buildings. Paris: IEA, 2023. Disponível em: https://www.iea.org/energy-system/buildings/heating. Acesso em: 14 dez. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **The Future of Cooling**: opportunities for energy-efficient air conditioning. Paris: IEA, 2018. Disponível em: https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling. Acesso em: 14 dez. 2025.

LAMBERTS, R. *et al*. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2014.

LI, Y. *et al*. Modeling and energy simulation of the variable refrigerant flow air conditioning system with water-cooled condenser under cooling conditions. **Energy and Buildings**, v.41, p. 949-957. 2009.

KONIGAMI, Jussara de Souza. **Análise do consumo de energia elétrica em edifícios públicos federais**. 2003. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá, 2003.

KRÜGER, E. L. **Análise da eficiência energética da envoltória de um projeto-padrão de agência bancária**, 2012. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ac/a/8Vq9xYPFbbKRfzgDh6vtmkc/. Acesso em: 05 out. 2025.

MACEDO, F. G. **Faculdade SENAI Oscar Rodrigues Alves**. Comunicação pessoal em 12 jun. 2026.

MAIA, A. C. B. *et al*. **Implementação de Índices Mínimos de Eficiência Energética aplicado às Edificações**: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (SNPTEE), 28., 2025. [S. l.]. Anais [...]. 2025. p. 1-10.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações Elétricas Industriais**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MELO, T. C. **Eficiência energética e conforto térmico em edificações em Recife utilizando o Energyplus.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE. 2018.

NEXORA DESIGN. **How to Calculate Cooling Load for Commercial Buildings**. [S. l.], [s.d.]. Disponível em: https://www.nexoradesign.net/post/how-to-calculate-cooling-load-for-commercial-buildings. Acesso em: 07 jul. 2026.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Relatório da Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável**: Joanesburgo, África do Sul, 26 de agosto a 4 de setembro de 2002. Nova York: Nações Unidas, 2002.

PBE EDIFICA. **INI-C**: indicador de eficiência energética. Rio de Janeiro: Inmetro, 2020. Disponível em: https://pbeedifica.com.br/inic. Acesso em: 15 maio 2026.

PÉREZ-LOMBARD, L. *et al.* A review on buildings energy consumption information. **Energy and Buildings**, [*S. l.*], v. 40, n. 3, p. 394-398, 2008. Acesso em: 11 jun. 2026.

PWC BRASIL. **A evolução energética do Brasil**: transição, desafios e oportunidades. São Paulo: PWC, 2024. Disponível em: https://www.pwc.com.br/pt/estudos/setores-atividade/energia/2024/evolucao-energetica-do-brasil.html. Acesso em: 5 out. 2025.

REIS, M. A. F. *et al.* **Sustentabilidade em cinco edificações residenciais utilizando o Selo Casa Azul.** Interações, Campo Grande, v. 24, p. 703–715, 2023. https://DOI.org/10.20435/inter.v24i2.3560. 2023.

REZAIE, M-M.; BOZORGI-AMIRI, A.; ARANI, M.; TAHERI, M. A fuzzy robust multi-objective optimization model for building energy retrofit considering utility function. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 241, n. 110933, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110933.

RIBEIRO FILHO, A. C. S. **Eficiência Energética em Instituições da Rede Federal de Educação Profissional e Tecnológica:** o caso do IFMA. Dissertação (Mestrado em Energia e Ambiente). Universidade Federal do Maranhão, São Luís, MA. 2014. https://tedebc.ufma.br/jspui/handle/tede/688. Acesso em: 05 out. 2025.

ROTH, K. W. *et al*. **Energy Consumption by Office and Telecommunications Equipment in Commercial Buildings. Washington, DC:** U.S. Department of Energy, 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267196540_Energy_Consumption_by_Office_and_Telecommunications_Equipment_in_Commercial_Buildings_Volume_I_Energy_Consumption_Baseline_Prepared_by. Acesso em: 11 jun. 2026.

SCOLARO, T. P. et al. **Effectiveness of Cool and Green Roofs Inside and Outside Buildings in the Brazilian Context.** Sustainability (MDPI), 2024. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/16/18/8104 . Acesso em: 05 out. 2025.

SILVA, R. F.; SOUSA, L. P. Eficiência energética no Brasil: panorama e desafios atuais. **Revista Videre, Dourados: UFGD**, v. 15, n. 2, p. 45-64, 2024. DOI: https://doi.org/10.30612/videre.v11i22.10178. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/videre/article/view/10178. Acesso em: 5 out. 2025.

SOUZA, M. L. **Eficiência energética em edifícios públicos federais**: um estudo de caso. 2005. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá, 2005.

TOLMASQUIM, M. T. As origens da crise energética brasileira. **Ambiente & Sociedade, Campinas**, n. 6, p. 179-183, 2000/2001. DOI: https://doi.org/10.1590/S1414-753X2000000100012. Disponível em: https://www.scielo.br/j/asoc/a/47YNhcdZ9PXxNfHg7kDgdsy/?lang=pt. Acesso em: 11 jun. 2026.

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL. **LEED rating system**. Washington, DC: USGBC, [s. d.]. Disponível em: https://www.usgbc.org/leed. Acesso em: 5 out. 2025.

YERGIN, D. **O Petróleo: Uma História Mundial de Conquistas, Poder e Dinheiro.** São Paulo: Paz e Terra, 2010.

8 APÊNDICES

APÊNDICE A – DADOS DOS CÁLCULOS DE LUMINOTÉCNICA DO BLOCO A

Figura 24 (A.1) - Dados dos cálculos de luminotécnica do Bloco A

Bloco	Ambiente	Tipo Amb.	A	C	l	Nº Lumin.	Potência (W)	Pé Direito	h	hu	E	d	u	φl	Lamp p Lumin.	φ	IRP	IRT	IRPI	K	Φ	n	Em	Comparação
A T	A13	Lab	139,66	10,7	13	36	1296	3	2,85	2,1	500	0,88	0,71	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,806108097	111763,76	30	500	-17%
A T	A14	Lab	20,35	5,35	3,8	6	216	3	2,85	2,1	500	0,88	0,51	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,059068436	22671,57	6	500	2%
A T	A15	Lab	20,35	5,35	3,8	6	216	3	2,85	2,1	500	0,88	0,51	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,059068436	22671,57	6	500	2%
A T	A17	Lab	125,60	10,7	11,7	24	864	3	2,85	2,1	500	0,88	0,71	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,670068027	100512,16	27	500	13%
A T	Est Anat	Lab	36,09	8,5	4,24	6	216	3	2,85	2,1	500	0,88	0,57	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,348957165	35974,88	10	500	61%
A T	Arm Alu	Conviv	34,85	8	4,35	6	216	3	2,85	2,1	200	0,88	0,57	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,343743975	13895,53	4	200	-38%
A T	Sl Prof	Conviv	27,05	6,21	4,35	6	216	3	2,85	2,1	200	0,88	0,51	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,219787157	12054,37	3	200	-46%
A T	Arm Alu	Conviv	27,05	6,21	4,35	6	216	3	2,85	2,1	200	0,88	0,51	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,219787157	12054,37	3	200	-46%
A T	Corredor	Conviv	127,00	32,98	3,85	18	648	3	2,85	2,1	150	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,642036125	35488,08	10	150	-47%
A T	Neo Ped	Lab	28,46	6	4,74	6	216	3	2,85	2,1	500	0,88	0,57	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,261860424	28369,22	8	500	27%
A T	Proc Cirur	Lab	30,14	6,35	4,74	6	216	3	2,85	2,1	500	0,88	0,57	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,294173215	30043,86	8	500	35%
A T	Cab 1	Adm	9,70	5	1,94	4	144	3	2,95	2,2	200	0,88	0,38	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,635315693	5801,44	2	200	-61%
A T	Proc Mult	Lab	27,93	5,5	5,07	6	216	3	2,85	2,1	500	0,88	0,57	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,258278146	27840,91	7	500	25%
A T	Cab 2	Adm	10,92	2,15	5,07	4	144	3	2,95	2,2	200	0,88	0,38	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,687484261	6531,10	2	200	-56%
A T	Corredor	Conviv	23,65	11	2,15	6	216	3	2,85	2,1	150	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,856418613	8958,33	2	150	-60%
A T	Cab 3	Adm	28,34	4,72	6	6	216	3	2,95	2,2	200	0,88	0,51	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,201662144	12629,23	3	200	-43%
A T	A13	Lab	63,36	10	6,33	12	432	3	2,85	2,1	500	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,847607383	59016,39	16	500	32%
A 1	Prep	Adm	20,35	4,72	4,07	6	216	3	2,95	2,2	200	0,88	0,51	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,052332196	9068,63	2	200	-59%
A 1	Adm	Adm	35,02	7	5	8	288	3	2,95	2,2	200	0,88	0,57	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,326515152	13963,32	4	200	-53%
A 1	Mat Eqto	Adm	20,09	4,01	5	4	144	3	2,95	2,2	200	0,88	0,51	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,013520331	8952,76	2	200	-40%
A 1	A34	Sl Aula	83,2	10	8,32	12	432	3	2,95	2,2	300	0,88	0,67	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,064311235	42333,79	11	300	-5%
A 1	A35	Sl Aula	69,07	10	6,9	12	432	3	2,95	2,2	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,857719204	38600,97	10	300	-14%
A 1	A35A	Sl Aula	69,19	10	6,91	12	432	3	2,95	2,2	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,859846245	38668,03	10	300	-13%
A 1	A36A	Sl Aula	69,07	10	6,9	12	432	3	2,95	2,2	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,857719204	38600,97	10	300	-14%
A 1	Arq 1	Adm	22,54	8	2,81	4	144	3	2,95	2,2	200	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,947775629	11383,84	3	200	-23%
A 1	Arq 2	Adm	22,54	8	2,81	4	144	3	2,95	2,2	200	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,947775629	11383,84	3	200	-23%
A 1	Arq 3	Adm	22,04	8	2,75	4	144	3	2,95	2,2	200	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,93192389	11131,31	3	200	-25%

Fonte – Elaborado pelo próprio autor (2025)

Figura 25 (A.2) - Dados dos cálculos de luminotécnica do Bloco A (Cont.)

Bloco	Ambiente	Tipo Amb.	A	C	l	Nº Lumin.	Potência (W)	Pé Direito	h	hu	E	d	u	ϕl	Lamp p Lumin.	ϕ	IRP	IRT	IRPI	K	Φ	n	Em	Comparação
A 1	Corredor	Conviv	20,08	2,4	8,37	2	72	3	2,85	2,1	150	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,88782774	7606,06	2	150	2%
A 1	Corredor	Conviv	127,00	32,98	3,85	18	648	3	2,85	2,1	150	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,642036125	35488,08	10	150	-47%
A 1	A27	Sl Aula	83,2	10	8,32	12	432	3	2,95	2,2	300	0,88	0,67	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,064311235	42333,79	11	300	-5%
A 1	A28	Sl Aula	69,07	10	6,9	12	432	3	2,95	2,2	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,857719204	38600,97	10	300	-14%
A 1	A31	Sl Aula	69,19	10	6,19	12	432	3	2,95	2,2	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,942557134	38668,03	10	300	-13%
A 1	A32A	Sl Aula	69,07	10	6,9	12	432	3	2,95	2,2	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,857719204	38600,97	10	300	-14%
A 1	A32B	Sl Aula	83,2	10	8,32	12	432	3	2,95	2,2	300	0,88	0,67	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,064311235	42333,79	11	300	-5%
A 1	A21	Sl Aula	83,2	10	8,32	12	432	3	2,95	2,2	300	0,88	0,67	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,064311235	42333,79	11	300	-5%
A 1	A22	Sl Aula	69,07	10	6,9	12	432	3	2,95	2,2	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,857719204	38600,97	10	300	-14%
A 1	A23	Sl Aula	69,19	10	6,19	12	432	3	2,95	2,2	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,942557134	38668,03	10	300	-13%
A 1	A24A	Sl Aula	69,07	10	6,9	12	432	3	2,95	2,2	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,857719204	38600,97	10	300	-14%
A 1	A25	Sl Aula	83,2	10	8,32	12	432	3	2,95	2,2	300	0,88	0,67	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,064311235	42333,79	11	300	-5%
A 2	Fisic Bio f	Lab	111,54	13,9	8	24	864	3	2,85	2,1	500	0,88	0,67	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,42530985	94589,55	25	500	6%
A 2	A33	Adm	17,93	4,48	4	2	72	3	2,95	2,2	200	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,961084906	9055,56	2	200	22%
A 2	A40	Adm	17,65	4,41	4	2	72	3	2,95	2,2	200	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,953950924	8914,14	2	200	20%
A 2	A46	Adm	17,93	4,48	4	2	72	3	2,95	2,2	200	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,961084906	9055,56	2	200	22%
A 2	A39	Adm	17,65	4,41	4	2	72	3	2,95	2,2	200	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,953950924	8914,14	2	200	20%
A 2	A41	Sl Aula	83,2	10	8,32	12	432	3	2,95	2,2	300	0,88	0,67	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,064311235	42333,79	11	300	-5%
A 2	A42	Sl Aula	69,07	10	6,9	12	432	3	2,95	2,2	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,857719204	38600,97	10	300	-14%
A 2	A43A	Sl Aula	69,19	10	6,19	12	432	3	2,95	2,2	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,942557134	38668,03	10	300	-13%
A 2	A43B	Sl Aula	69,07	10	6,9	12	432	3	2,95	2,2	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,857719204	38600,97	10	300	-14%
A 2	A45	Sl Aula	83,2	10	8,32	12	432	3	2,95	2,2	300	0,88	0,67	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,064311235	42333,79	11	300	-5%
A 2	A33	Adm	17,93	4,48	4	2	72	3	2,95	2,2	200	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,961084906	9055,56	2	200	22%
A 2	A40	Adm	17,65	4,41	4	2	72	3	2,95	2,2	200	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,953950924	8914,14	2	200	20%
A 2	A46	Adm	17,93	4,48	4	2	72	3	2,95	2,2	200	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,961084906	9055,56	2	200	22%
A 2	A39	Adm	17,65	4,41	4	2	72	3	2,95	2,2	200	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,953950924	8914,14	2	200	20%
A 2	Corredor	Conviv	127,00	32,98	3,85	18	648	3	2,85	2,1	150	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,642036125	35488,08	10	150	-47%

Fonte - Elaborado pelo próprio autor (2025)

APÊNDICE B – DADOS DOS CÁLCULOS DE LUMINOTÉCNICA DO BLOCO B

Figura 26 (B.1) - Dados dos cálculos de luminotécnica do Bloco B

Bloco	Ambiente	Tipo Amb.	A	C	l	Nº Lumin.	Potência (W)	Pé Direito	h	hu	E	d	u	ϕl	Lamp p Lumin.	ϕ	IRP	IRT	IRPI	K	Φ	n	Em	Comparação
B T	Sl 05	Adm	14,53	3,63	4	2	72	3	2,95	2,2	200	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,865602288	7338,38	2	200	-1%
B T	Almox	Adm	12,33	4,11	3	2	72	3	2,95	2,2	200	0,88	0,38	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,788262371	7374,40	2	200	-1%
B T	Secret	Adm	6,5	1,89	3	1	36	3	2,95	2,2	200	0,88	0,38	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,604201524	3887,56	1	200	5%
B T	T. O. 1	Lab	55,41	6,15	9	12	432	3	2,85	2,1	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,741631306	30966,84	8	300	-31%
B T	T. O. 2	Lab	49,5	5,5	9	8	288	3	2,85	2,1	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,625615764	27663,93	7	300	-7%
B T	Teatro	Lab	55,41	6,15	9	8	288	3	2,85	2,1	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,741631306	30966,84	8	300	4%
B T	B04	Lab	20,35	4,52	4,5	8	144	3	2,85	2,1	300	0,88	0,51	1860	1	1860	0,5	0,7	0,2	1,074332172	13602,94	7	300	-9%
B T	Camarin	Lab	20,35	4,52	4,5	8	144	3	2,85	2,1	300	0,88	0,51	1860	1	1860	0,5	0,7	0,2	1,074332172	13602,94	7	300	-9%
B T	B07	Lab	76,38	8,48	9	16	288	3	2,85	2,1	300	0,88	0,67	1860	1	1860	0,5	0,7	0,2	2,080745342	38863,64	21	300	31%
B T	B07C	Lab	45,63	5,07	9	12	432	3	2,85	2,1	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,54431922	25501,12	7	300	-43%
B T	B07B	Lab	45,48	5,05	9	9	324	3	2,85	2,1	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,541433655	25417,29	7	300	-24%
B T	B09	Lab	36,23	5,05	7,17	4	144	3	2,85	2,1	200	0,88	0,57	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,411815135	14445,77	4	200	-3%
B T	B11A	Conviv	27,62	9,2	3	4	144	3	2,85	2,1	200	0,88	0,51	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,078064012	12308,38	3	200	-17%
B T	B11	Adm	13,02	4,34	3	2	72	3	2,95	2,2	200	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,806291801	6575,76	2	200	-12%
B T	Secret	Adm	8,94	2,98	3	2	72	3	2,95	2,2	200	0,88	0,38	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,679537853	5346,89	1	200	-28%
B T	Sl Prof	Adm	13,41	4,47	3	2	72	3	2,95	2,2	200	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,815991238	6772,73	2	200	-9%
B T	B14	Lab	13,55	4,51	3	2	72	3	2,85	2,1	200	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,859171898	6843,43	2	200	-8%
B T	B09	Lab	36,23	12	3	4	144	3	2,85	2,1	300	0,88	0,51	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,15015873	24217,91	7	300	63%
B T	B12B	Lab	22	4	5,5	6	216	3	2,85	2,1	300	0,88	0,51	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,102756892	14705,88	4	300	-34%
B T	B12A	Lab	30,14	5	6	6	216	3	2,85	2,1	300	0,88	0,57	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,304761905	18026,32	5	300	-19%
B T	B12	Lab	97,86	9	10,87	12	432	3	2,85	2,1	300	0,88	0,67	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,345244087	49793,08	13	300	12%
B T	B13	Lab	63,36	9	7,04	12	432	3	2,85	2,1	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,881011756	35409,84	10	300	-21%
B T	B16A	Lab	97,45	9	10,82	18	648	3	2,85	2,1	300	0,88	0,67	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,341309884	49584,46	13	300	-26%
B T	B16B	Lab	55,97	9	6,21	12	432	3	2,85	2,1	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,752293291	31279,81	8	300	-30%
B T	Corredor	Conviv	127	32,98	3,85	18	648	3	2,85	2,1	150	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,642036125	35488,08	10	150	-47%
B 1	B19	Sl Aula	97,55	9	10,83	12	432	3	2,95	2,2	300	0,88	0,67	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,236051896	49635,35	13	300	11%

Fonte - Elaborado pelo próprio autor (2025)

Figura 27 (B.2) - Dados dos cálculos de luminotécnica do Bloco B (Cont.)

Bloco	Ambiente	Tipo Amb.	A	C	l	Nº Lumin.	Potência (W)	Pé Direito	h	hu	E	d	u	ϕl	Lamp p Lumin.	ϕ	IRP	IRT	IRPI	K	Φ	n	Em	Comparação
B 1	B20B	Adm	27,3	9	3,03	4	144	3	2,95	2,2	300	0,88	0,51	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,031512129	18248,66	5	300	23%
B 1	B21	Sl Aula	125,62	9	13,95	16	576	3	2,95	2,2	300	0,88	0,67	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,488017429	63917,91	17	300	7%
B 1	B24	Sl Aula	125,62	9	13,95	12	432	3	2,95	2,2	300	0,88	0,67	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,488017429	63917,91	17	300	43%
B 1	B26A	Adm	13,84	4,61	3	2	72	3	2,95	2,2	200	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,826663481	6989,90	2	200	-6%
B 1	B28	Adm	6,5	2,24	2	1	36	3	2,95	2,2	200	0,88	0,38	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,696826758	3887,56	1	200	5%
B 1	B32	Sl Aula	31,2	10,4	3	4	144	3	2,95	2,2	300	0,88	0,51	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,05834464	20855,61	6	300	40%
B 1	B25	Adm	22,22	7,4	3	3	108	3	2,95	2,2	200	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,971153846	11222,22	3	200	1%
B 1	Arquivo	Adm	8,81	2,93	3	1	36	3	2,95	2,2	200	0,88	0,38	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,675302775	5269,14	1	200	42%
B 1	B26	Lab	101,55	11,28	9	16	576	3	2,85	2,1	300	0,88	0,67	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,3844745	51670,62	14	300	-13%
B 1	B27	Sl Aula	125,3	13,9	9	16	576	3	2,95	2,2	300	0,88	0,67	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,487098055	63755,09	17	300	7%
B 1	B31	Sl Aula	125,35	13,9	9	16	576	3	2,95	2,2	300	0,88	0,67	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,488090512	63780,53	17	300	7%
B 1	Corredor	Conviv	127	32,98	3,85	18	648	3	2,85	2,1	150	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,642036125	35488,08	10	150	-47%
B 2	B34	Sl Aula	125,35	13,9	9	16	576	3	2,95	2,2	300	0,88	0,67	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,488090512	63780,53	17	300	7%
B 2	B35	Sl Aula	125,35	13,9	9	16	576	3	2,95	2,2	300	0,88	0,67	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,488090512	63780,53	17	300	7%
B 2	B38	Sl Aula	125,35	13,9	9	16	576	3	2,95	2,2	300	0,88	0,67	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,488090512	63780,53	17	300	7%
B 2	B40A	Adm	8,9	2,96	3	1	36	3	2,95	2,2	200	0,88	0,38	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,678767541	5322,97	1	200	43%
B 2	B40	Adm	27,01	9	3	4	144	3	2,95	2,2	200	0,88	0,51	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,023106061	12036,54	3	200	-19%
B 2	B43	Adm	6,5	2,24	2	1	36	3	2,95	2,2	200	0,88	0,38	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,696826758	3887,56	1	200	5%
B 2	Corredor	Conviv	127	32,98	3,85	18	648	3	2,85	2,1	150	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,642036125	35488,08	10	150	-47%
B 2	B33	Adm	22,21	7,4	3	1	36	3	2,95	2,2	200	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,970716783	11217,17	3	200	202%
B 2	B33A	Adm	9,55	3,18	3	4	144	3	2,95	2,2	200	0,88	0,38	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,702412474	5711,72	2	200	-62%
B 2	Sl Estud	Sl Aula	31,71	10,57	3	3	108	3	2,95	2,2	300	0,88	0,51	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,062169224	21196,52	6	300	90%
B 2	B41	Sl Aula	125,35	13,9	9	16	576	3	2,95	2,2	300	0,88	0,67	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,488090512	63780,53	17	300	7%
B 2	B42	Sl Aula	125,35	13,9	9	16	576	3	2,95	2,2	300	0,88	0,67	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,488090512	63780,53	17	300	7%
B 2	B45	Sl aula	125,35	13,9	9	16	576	3	2,95	2,2	300	0,88	0,67	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,488090512	63780,53	17	300	7%

Fonte - Elaborado pelo próprio autor (2025)

APÊNDICE C – DADOS DOS CÁLCULOS DE LUMINOTÉCNICA DO BLOCO C

Figura 28 (C.1) - Dados dos cálculos de luminotécnica do Bloco C

Bloco	Ambiente	Tipo Amb.	A	C	l	Nº Lumin.	Potência (W)	Pé Direito	h	hu	E	d	u	ϕl	Lamp p Lumin.	ϕ	IRP	IRT	IRPI	K	Φ	n	Em	Comparação
C T	Est formol	Adm	21,19	2,35	9	5	180	3	2,95	2,2	300	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,848618342	16053,03	4	300	-14%
C T	C03B	Lab	35,87	3,98	9	16	288	3	2,85	2,1	300	0,88	0,57	1860	1	1860	0,5	0,7	0,2	1,315943943	21453,35	12	300	-28%
C T	C03	Lab	126,5	14,05	9	40	720	3	2,85	2,1	300	0,88	0,71	1860	1	1860	0,5	0,7	0,2	2,613366388	60739,44	33	300	-18%
C T	C03A	Lab	40,03	4,44	9	8	144	3	2,85	2,1	300	0,88	0,57	1860	1	1860	0,5	0,7	0,2	1,418296485	23941,39	13	300	61%
C T	C07A	Adm	27,34	9,11	3	6	216	3	2,95	2,2	200	0,88	0,51	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,026199234	12183,60	3	200	-45%
C T	C07B	Adm	9,21	3,07	3	2	72	3	2,95	2,2	200	0,88	0,38	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,689680994	5508,37	1	200	-26%
C T	C05	Lab	123,98	13,77	9	40	720	3	2,85	2,1	300	0,88	0,71	1860	1	1860	0,5	0,7	0,2	2,592801723	59529,45	32	300	-20%
C T	C05A	Lab	41,77	4,64	9	8	144	3	2,85	2,1	300	0,88	0,57	1860	1	1860	0,5	0,7	0,2	1,458246055	24982,06	13	300	68%
C T	C11F	Lab	13,3	4,43	3	2	72	3	2,85	2,1	300	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,852400179	10075,76	3	300	35%
C T	C11E	Lab	13,43	4,47	3	2	72	3	2,85	2,1	300	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,856122904	10174,24	3	300	37%
C T	C10	Adm	13,36	4,43	3	2	72	3	2,95	2,2	300	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,81732534	10121,21	3	300	36%
C T	C14	Adm	6,5	2,24	2	1	36	3	2,95	2,2	200	0,88	0,38	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,696826758	3887,56	1	200	5%
C T	Técnica	Adm	19,4	4,85	4	5	180	3	2,95	2,2	200	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,996404725	9797,98	3	200	-47%
C T	C02	Adm	26,48	8,82	3	5	180	3	2,95	2,2	200	0,88	0,51	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,018304876	11800,36	3	200	-37%
C T	C17C	Adm	13,43	4,47	3	4	144	3	2,95	2,2	200	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,817208227	6782,83	2	200	-54%
C T	C17B	Adm	8,69	2,89	3	2	72	3	2,95	2,2	200	0,88	0,38	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,670628183	5197,37	1	200	-30%
C T	C17A	Adm	13,3	4,43	3	2	72	3	2,95	2,2	200	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,813654717	6717,17	2	200	-10%
C T	C11B	Lab	27,74	9,24	3	3	108	3	2,85	2,1	300	0,88	0,51	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,079209462	18542,78	5	300	66%
C T	C11C	Lab	16,54	5,51	3	4	144	3	2,85	2,1	300	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,925521795	12530,30	3	300	-16%
C T	C11D	Lab	21,18	7,06	3	4	144	3	2,85	2,1	300	0,88	0,51	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,002556092	14157,75	4	300	-5%
C T	An Toxic	Lab	98,91	10,99	9	22	792	3	2,85	2,1	300	0,88	0,67	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,356178089	50327,34	14	300	-39%
C T	C12	Lab	20,25	4,5	4,5	4	144	3	2,85	2,1	300	0,88	0,51	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,071428571	13536,10	4	300	-9%
C T	C13	Lab	20,25	4,5	4,5	4	144	3	2,85	2,1	300	0,88	0,51	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,071428571	13536,10	4	300	-9%
C T	C15	Lab	126,4	14,04	9	42	1512	3	2,85	2,1	500	0,88	0,71	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,612433862	101152,37	27	500	-35%
C T	Corredor	Conviv	127	32,98	3,85	18	648	3	2,85	2,1	150	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,642036125	35488,08	10	150	-47%
C 1	Sl Orient	Adm	10,58	3,02	3,5	2	72	3	2,95	2,2	200	0,88	0,38	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,73759063	6327,75	2	200	-15%
C 1	Sl Orient	Adm	10,58	3,02	3,5	2	72	3	2,95	2,2	200	0,88	0,38	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,73759063	6327,75	2	200	-15%
C 1	C23A	Lab	56,01	7	8	9	324	3	2,85	2,1	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,778095238	31302,16	8	300	-7%
C 1	Sl Flex	Lab	55,2	4,6	12	7	252	3	2,85	2,1	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,583476764	30849,48	8	300	18%
C 1	Sl Flex Am	Lab	55,2	4,6	12	7	252	3	2,85	2,1	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,583476764	30849,48	8	300	18%
C 1	C24B	Lab	55,94	6,99	8	9	324	3	2,85	2,1	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,777057721	31263,04	8	300	-7%
C 1	C27	Lab	125,35	10,44	12	24	864	3	2,85	2,1	300	0,88	0,71	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,660003395	60187,26	16	300	-33%
C 1	C28	Adm	15,17	3,79	4	3	108	3	2,95	2,2	200	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,885167464	7661,62	2	200	-31%
C 1	C32	Adm	6,5	2,24	2	1	36	3	2,95	2,2	200	0,88	0,38	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,696826758	3887,56	1	200	5%

Fonte - Elaborado pelo próprio autor (2025)

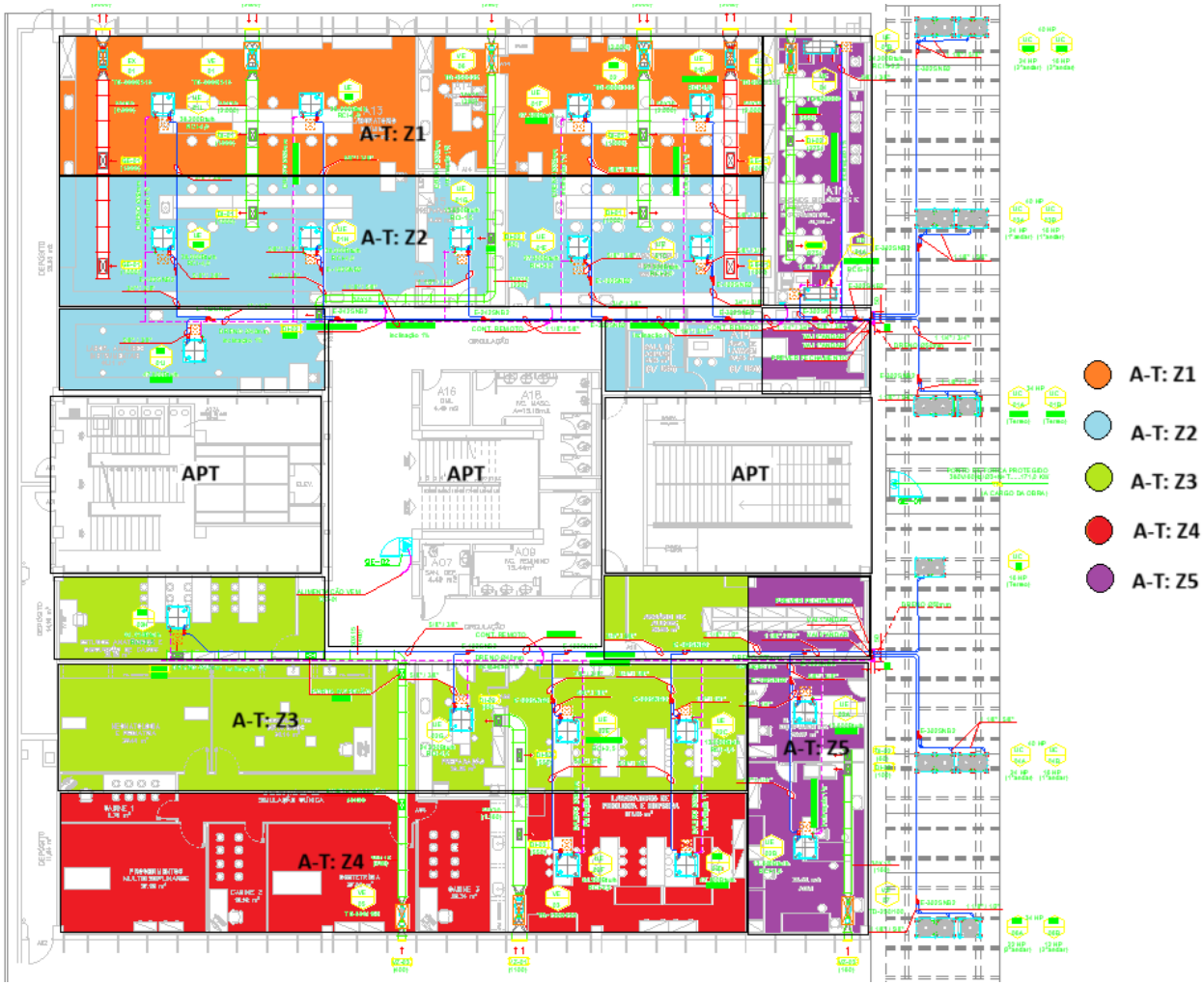
Figura 29 (C.2) - Dados dos cálculos de luminotécnica do Bloco C (Cont.)

C 1	C24C	Adm	6,5	2,24	2	1	36	3	2,95	2,2	200	0,88	0,38	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,696826758	3887,56	1	200	5%
C 1	C25	Adm	15,21	4,34	3,5	2	72	3	2,95	2,2	200	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,881841373	7681,82	2	200	3%
C 1	C35	Adm	36,09	9,02	3,5	6	216	3	2,95	2,2	200	0,88	0,57	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,310267209	14389,95	4	200	-36%
C 1	Recepção	Adm	11,4	3,8	3	2	72	3	2,95	2,2	200	0,88	0,38	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,762032086	6818,18	2	200	-8%
C 1	C27A	Lab	19,56	6,52	3	3	108	3	2,85	2,1	200	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,978391357	9878,79	3	200	-11%
C 1	C30A	Lab	13,12	3,28	4	2	72	3	2,85	2,1	300	0,88	0,45	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,85818943	9939,39	3	300	34%
C 1	C29	Lab	48,11	6,01	8	6	216	3	2,85	2,1	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,635226539	26887,11	7	300	20%
C 1	C29C	Lab	10,04	2,86	3,5	2	72	3	2,85	2,1	300	0,88	0,38	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,751722072	9007,18	2	300	21%
C 1	Prep Hist	Lab	40,34	3,66	11	5	90	3	2,85	2,1	300	0,88	0,57	1860	1	1860	0,5	0,7	0,2	1,310335867	24126,79	13	300	159%
C 1	Lab Hist	Lab	125,35	11,39	11	20	720	3	2,85	2,1	300	0,88	0,71	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,665943555	60187,26	16	300	-19%
C 1	C34	Lab	125,35	11,39	11	20	720	3	2,85	2,1	300	0,88	0,71	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	2,665943555	60187,26	16	300	-19%
C 1	Corredor	Conviv	127	32,98	3,85	18	648	3	2,85	2,1	150	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,642036125	35488,08	10	150	-47%
C 2	C37A	Sl aula	41,36	3,76	11	8	288	3	2,95	2,2	300	0,88	0,57	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,273712737	24736,84	7	300	-17%
C 2	C37B	Sl aula	34,04	4,25	8	9	324	3	2,95	2,2	300	0,88	0,57	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,263079777	20358,85	5	300	-39%
C 2	C37	Sl aula	33,76	4,22	8	9	324	3	2,95	2,2	300	0,88	0,57	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,255765511	20191,39	5	300	-40%
C 2	C38A	Sl aula	33,76	4,22	8	6	216	3	2,95	2,2	300	0,88	0,57	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,255765511	20191,39	5	300	-10%
C 2	C38B	Sl aula	34,04	4,25	8	8	288	3	2,95	2,2	300	0,88	0,57	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,263079777	20358,85	5	300	-32%
C 2	C38C	Sl aula	41,36	3,76	11	12	432	3	2,95	2,2	300	0,88	0,57	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,273712737	24736,84	7	300	-45%
C 2	C41	Lab	29,97	4,99	6	5	180	3	2,85	2,1	300	0,88	0,57	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,298583128	17924,64	5	300	-4%
C 2	C41A	Lab	30	6	5	3	108	3	2,85	2,1	300	0,88	0,57	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,298701299	17942,58	5	300	61%
C 2	C41B	Lab	17,93	4	4,48	2	72	3	2,85	2,1	300	0,88	0,51	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,006850854	11985,29	3	300	61%
C 2	C42	Lab	29,97	4,28	7	12	432	3	2,85	2,1	300	0,88	0,57	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,265197568	17924,64	5	300	-60%
C 2	Lab Inf	Lab	32,31	4,03	8	6	216	3	2,85	2,1	300	0,88	0,57	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,278945493	19324,16	5	300	-13%
C 2	Impressão	Adm	9,12	4,03	2,26	2	72	3	2,95	2,2	300	0,88	0,38	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,659054777	8181,82	2	300	10%
C 2	C46	Adm	6,5	1,98	2,26	1	36	3	2,95	2,2	200	0,88	0,38	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	0,696826758	3887,56	1	200	5%
C 2	C49	Adm	21,4	3,5	6	6	216	3	2,95	2,2	300	0,88	0,51	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,023923445	14304,81	4	300	-36%
C 2	Lab Inf	Lab	55,41	5,03	11	12	432	3	2,85	2,1	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,646020854	30966,84	8	300	-31%
C 2	44B	Lab	55,41	5,03	11	8	288	3	2,85	2,1	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,646020854	30966,84	8	300	4%
C 2	Lab inf	Lab	56,76	5,16	11	9	324	3	2,85	2,1	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,672560113	31721,31	9	300	-5%
C 2	Lab inf	Lab	56,61	5,14	11	9	324	3	2,85	2,1	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,670207116	31637,48	9	300	-6%
C 2	Lab inf	Lab	45,31	4,11	11	6	216	3	2,85	2,1	300	0,88	0,57	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,42794113	27099,28	7	300	21%
C 2	Lab inf	Lab	56,76	5,16	11	8	288	3	2,85	2,1	300	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,7	0,2	1,672560113	31721,31	9	300	7%
C 2	Corredor	Conviv	127	32,98	3,85	18	648	3	2,85	2,1	150	0,88	0,61	1860	2	3720	0,5	0,8	0,2	1,642036125	35488,08	10	150	-47%

Fonte - Elaborado pelo próprio autor (2025)

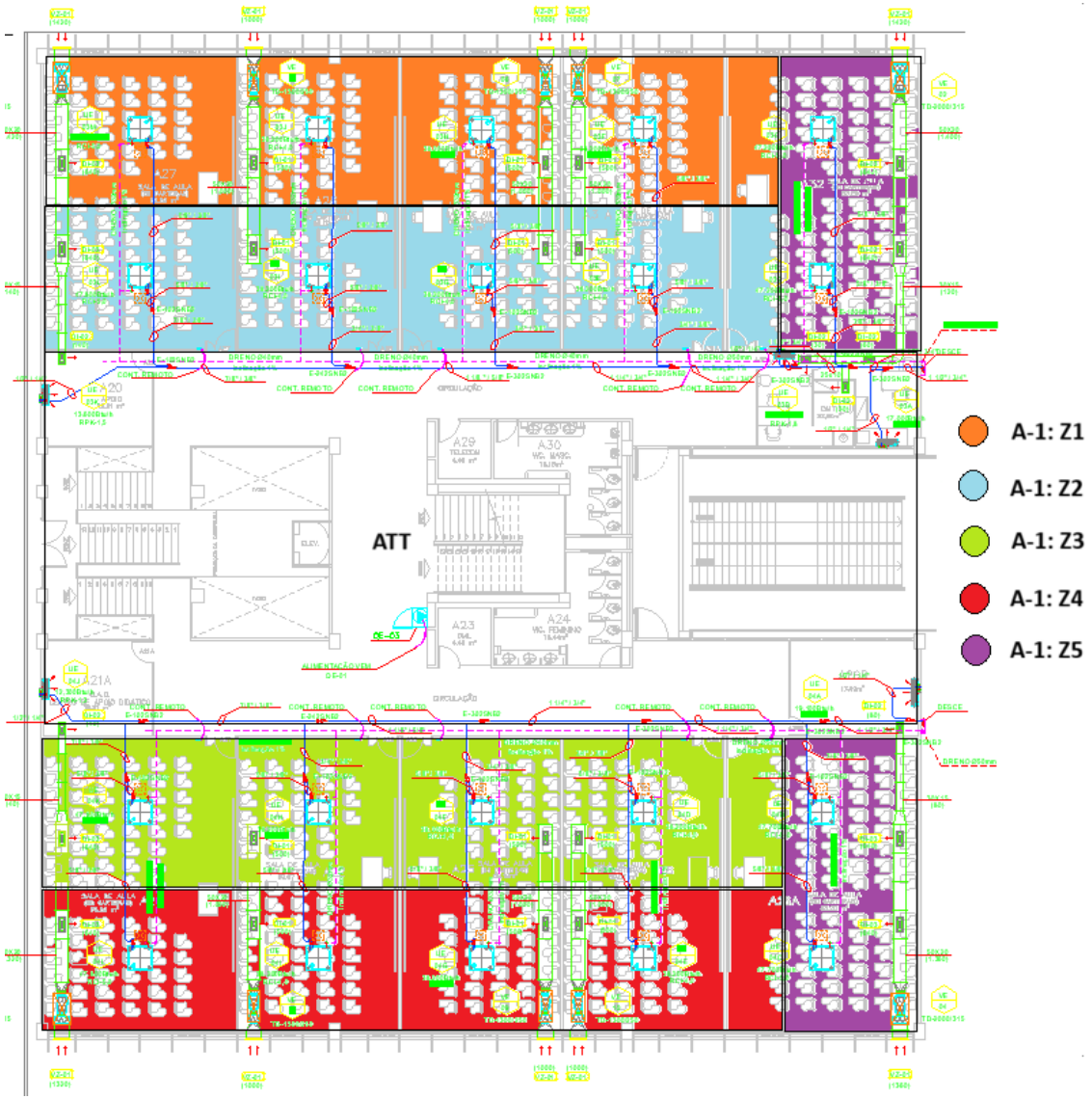
APÊNDICE D – DEFINIÇÃO DAS ZONAS TÉRMICAS DOS BLOCOS A, B E C

Figura 30 (D.1) - Zonas Térmicas do Térreo do Bloco A – Campus II – PUC-Campinas



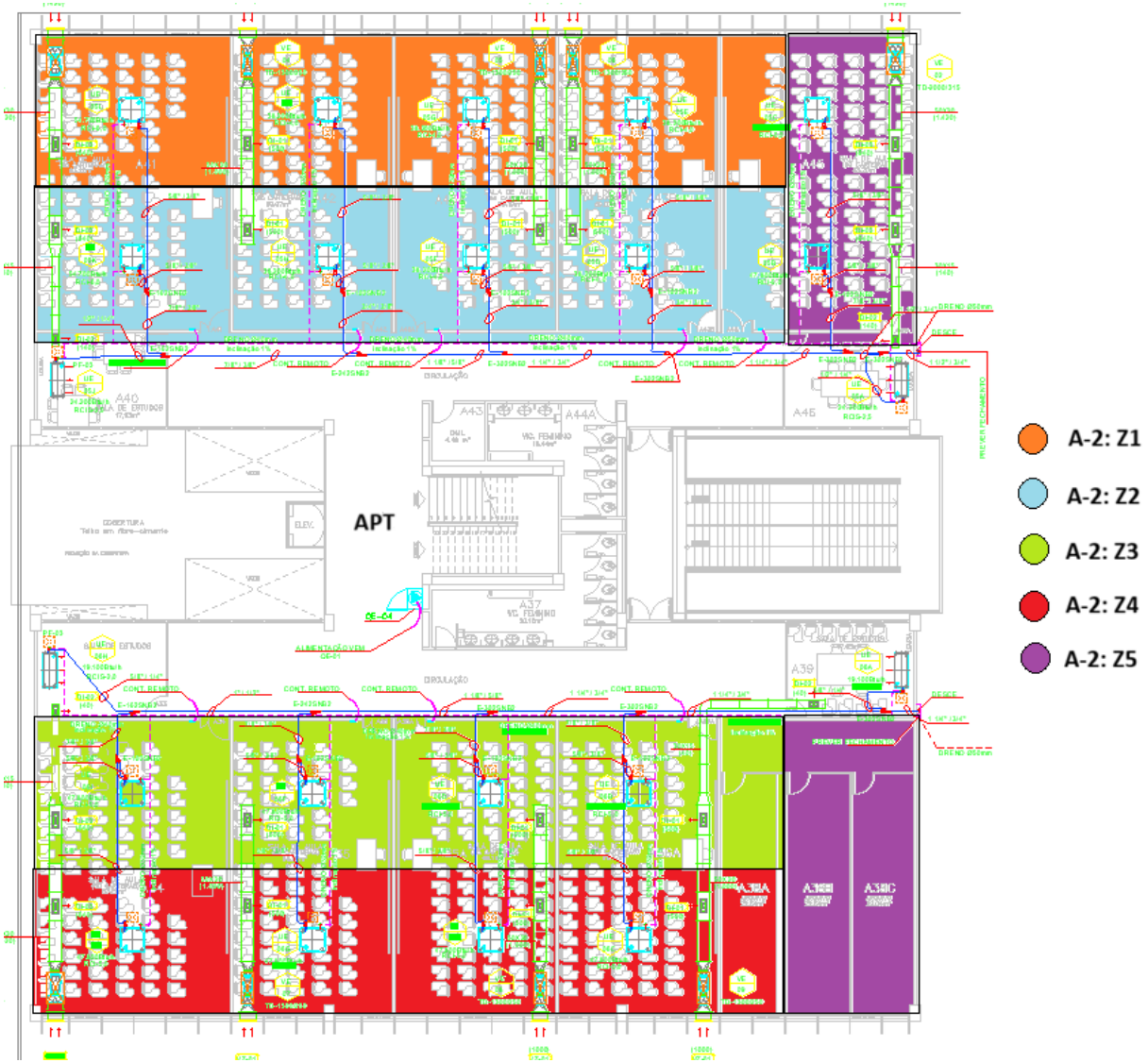
Fonte - Autoria própria baseada no projeto.

Figura 31 (D.2) - Zonas Térmicas do 1º Andar do Bloco A – Campus II – PUC-Campinas



Fonte - Autoria própria baseada no projeto.

Figura 32 (D.3) - Zonas Térmicas do 2º Andar do Bloco A – Campus II – PUC-Campinas



Fonte – Autoria própria baseada no projeto.

APÊNDICE E – PLANILHAS COM OS DADOS DAS CARGAS TÉRMICAS PARA DIMENSIONAMENTO DA ENVOLTÓRIA

Figura 33 (E.1) - Cálculo da influência térmica da envoltória – Bloco A (Parte 1)

Condição da Zona Térmica no pavimento	Zona Térmica	Área [m²]	Pé-direito [m]	Tipo de Zona Térmica	Orientação	Relação com Zonas Térmicas adjacentes	Uso	Componente da Parede externa	Componente da Parede interna
Térreo (com + pvtos acima)	A T_Z01	163,5	3	Perimetral	O	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	MinhaParede	Sem Parede Interna
Térreo (com + pvtos acima)	A T_Z02	169,6	3	Interna	Interna	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	Sem Parede externa	MinhaParedeInter
Térreo (com + pvtos acima)	A T_Z03	169,6	3	Interna	Interna	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	Sem Parede externa	MinhaParedeInter
Térreo (com + pvtos acima)	A T_Z04	163,5	3	Perimetral	L	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	MinhaParede	Sem Parede Interna
Térreo (com + pvtos acima)	A T_Z05	109,3	3	Perimetral	N	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	MinhaParede	Sem Parede Interna
Intermediário	A 1_Z01	163,5	3	Perimetral	O	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	MinhaParede	Sem Parede Interna
Intermediário	A 1_Z02	169,6	3	Interna	Interna	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	Sem Parede externa	MinhaParedeInter
Intermediário	A 1_Z03	169,6	3	Interna	Interna	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	Sem Parede externa	MinhaParedeInter
Intermediário	A 1_Z04	163,5	3	Perimetral	L	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	MinhaParede	Sem Parede Interna
Intermediário	A 1_Z05	109,3	3	Perimetral	N	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	MinhaParede	Sem Parede Interna
Cobertura	A 2_Z01	163,5	3	Perimetral	O	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	MinhaParede	Sem Parede Interna
Cobertura	A 2_Z02	169,6	3	Interna	Interna	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	Sem Parede externa	MinhaParedeInter
Cobertura	A 2_Z03	169,6	3	Interna	Interna	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	Sem Parede externa	MinhaParedeInter
Cobertura	A 2_Z04	163,5	3	Perimetral	L	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	MinhaParede	Sem Parede Interna
Cobertura	A 2_Z05	109,3	3	Perimetral	N	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	MinhaParede	Sem Parede Interna

Fonte – PBE Edifica – INI-C

Figura 34 (E.2) - Cálculo da influência térmica da envoltória – Bloco A (Parte 2)

Condição da Zona Térmica no pavimento	Zona Térmica	Componente da Cobertura	Componente do Piso	Componente da Abertura e Sombreamento	Percentual de Abertura da Fachada [%]	É a Fachada Principal? [Somente para tipologia de Varejo e Serviços]	Percentual de Abertura Zenital [%]	Componente da Abertura Zenital	DPI Real (W/m²)	DPE (W/m²)
Térreo (com + pvtos acima)	A T_Z01	Pvto interm.	Referência	Minha Abertura	50,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Térreo (com + pvtos acima)	A T_Z02	Pvto interm.	MeuPiso	Sem Aberturas	0,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Térreo (com + pvtos acima)	A T_Z03	Pvto interm.	MeuPiso	Sem Aberturas	0,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Térreo (com + pvtos acima)	A T_Z04	Pvto interm.	MeuPiso	Minha Abertura	50,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Térreo (com + pvtos acima)	A T_Z05	Pvto interm.	MeuPiso	Minha Abertura	50,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Intermediário	A 1_Z01	Pvto interm.	MeuPiso	Minha Abertura	50,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Intermediário	A 1_Z02	Pvto interm.	MeuPiso	Sem Aberturas	0,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Intermediário	A 1_Z03	Pvto interm.	MeuPiso	Sem Aberturas	0,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Intermediário	A 1_Z04	Pvto interm.	MeuPiso	Minha Abertura	50,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Intermediário	A 1_Z05	Pvto interm.	MeuPiso	Minha Abertura	50,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Cobertura	A 2_Z01	MinhaCobertura	MeuPiso	Minha Abertura	50,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Cobertura	A 2_Z02	MinhaCobertura	MeuPiso	Sem Aberturas	0,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Cobertura	A 2_Z03	MinhaCobertura	MeuPiso	Sem Aberturas	0,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Cobertura	A 2_Z04	MinhaCobertura	MeuPiso	Minha Abertura	50,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Cobertura	A 2_Z05	MinhaCobertura	MeuPiso	Minha Abertura	50,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00

Fonte – PBE Edifica – INI-C

Figura 35 (E.3) - Cálculo da influência térmica da envoltória – Bloco A (Parte 3)

Condição da Zona Térmica no pavimento	Zona Térmica	Ocupação (pessoa/m²)	Horas de ocupação	Output do metamodelo na condição Real [kWh/m²ano]	Output do metamodelo na condição de Referência [kWh/m²ano]	Carga térmica de resfriamento REAL, por ZT (kWh/ano)	Carga térmica de resfriamento REFERÊNCIA, por ZT (kWh/ano)	Carga térmica de resfriamento REAL TOTAL (kWh/ano)	Carga térmica de resfriamento REFERÊNCIA TOTAL (kWh/ano)
Térreo (com + pvtos acima)	A T_Z01	0,67	8	2,16E+02	2,47E+02	35.308	40.336	**35.308**	**40.336**
Térreo (com + pvtos acima)	A T_Z02	0,67	8	2,28E+02	2,51E+02	38.603	42.565	**38.603**	**42.565**
Térreo (com + pvtos acima)	A T_Z03	0,67	8	2,28E+02	2,51E+02	38.603	42.565	**38.603**	**42.565**
Térreo (com + pvtos acima)	A T_Z04	0,67	8	2,19E+02	2,53E+02	35.876	41.363	**35.876**	**41.363**
Térreo (com + pvtos acima)	A T_Z05	0,67	8	2,14E+02	2,47E+02	23.447	26.981	**23.447**	**26.981**
Intermediário	A 1_Z01	0,67	8	2,18E+02	2,47E+02	35.603	40.351	**35.603**	**40.351**
Intermediário	A 1_Z02	0,67	8	2,42E+02	2,63E+02	41.086	44.524	**41.086**	**44.524**
Intermediário	A 1_Z03	0,67	8	2,42E+02	2,63E+02	41.086	44.524	**41.086**	**44.524**
Intermediário	A 1_Z04	0,67	8	2,21E+02	2,53E+02	36.080	41.356	**36.080**	**41.356**
Intermediário	A 1_Z05	0,67	8	2,15E+02	2,45E+02	23.451	26.815	**23.451**	**26.815**
Cobertura	A 2_Z01	0,67	8	2,14E+02	2,74E+02	34.900	44.767	**34.900**	**44.767**
Cobertura	A 2_Z02	0,67	8	2,36E+02	2,74E+02	39.992	46.422	**39.992**	**46.422**
Cobertura	A 2_Z03	0,67	8	2,36E+02	2,74E+02	39.992	46.422	**39.992**	**46.422**
Cobertura	A 2_Z04	0,67	8	2,15E+02	2,79E+02	35.210	45.598	**35.210**	**45.598**
Cobertura	A 2_Z05	0,67	8	2,10E+02	2,72E+02	22.913	29.707	**22.913**	**29.707**

Fonte – PBE Edifica – INI-C

Figura 36 (E.4) - Cálculo da influência térmica da envoltória – Bloco B (Parte 1)

Condição da Zona Térmica no pavimento	Zona Térmica	Área [m²]	Pé-direito [m]	Tipo de Zona Térmica	Orientação	Relação com Zonas Térmicas adjacentes	Uso	Componente da Parede externa	Componente da Parede interna
Térreo (com + pvtos acima)	B T_Z01	163,5	3	Perimetral	O	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	MinhaParede	Sem Parede Interna
Térreo (com + pvtos acima)	B T_Z02	169,6	3	Interna	Interna	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	Sem Parede externa	MinhaParedeInter
Térreo (com + pvtos acima)	B T_Z03	169,6	3	Interna	Interna	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	Sem Parede externa	MinhaParedeInter
Térreo (com + pvtos acima)	B T_Z04	163,5	3	Perimetral	L	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	MinhaParede	Sem Parede Interna
Térreo (com + pvtos acima)	B T_Z05	109,3	3	Perimetral	N	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	MinhaParede	Sem Parede Interna
Intermediário	B 1_Z01	163,5	3	Perimetral	O	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	MinhaParede	Sem Parede Interna
Intermediário	B 1_Z02	169,6	3	Interna	Interna	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	Sem Parede externa	MinhaParedeInter
Intermediário	B 1_Z03	169,6	3	Interna	Interna	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	Sem Parede externa	MinhaParedeInter
Intermediário	B 1_Z04	163,5	3	Perimetral	L	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	MinhaParede	Sem Parede Interna
Intermediário	B 1_Z05	109,3	3	Perimetral	N	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	MinhaParede	Sem Parede Interna
Cobertura	B 2_Z01	163,5	3	Perimetral	O	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	MinhaParede	Sem Parede Interna
Cobertura	B 2_Z02	169,6	3	Interna	Interna	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	Sem Parede externa	MinhaParedeInter
Cobertura	B 2_Z03	169,6	3	Interna	Interna	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	Sem Parede externa	MinhaParedeInter
Cobertura	B 2_Z04	163,5	3	Perimetral	L	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	MinhaParede	Sem Parede Interna
Cobertura	B 2_Z05	109,3	3	Perimetral	N	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	MinhaParede	Sem Parede Interna

Fonte – PBE Edifica – INI-C

Figura 37 (E.5) - Cálculo da influência térmica da envoltória – Bloco B (Parte 2)

Condição da Zona Térmica no pavimento	Zona Térmica	Componente da Cobertura	Componente do Piso	Componente da Abertura e Sombreamento	Percentual de Abertura da Fachada [%]	É a Fachada Principal? [Somente para tipologia de Varejo e Serviços]	Percentual de Abertura Zenital [%]	Componente da Abertura Zenital	DPI Real (W/m²)	DPE (W/m²)
Térreo (com + pvtos acima)	B T_Z01	Pvto interm.	MeuPiso	Minha Abertura	50,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Térreo (com + pvtos acima)	B T_Z02	Pvto interm.	MeuPiso	Sem Aberturas	0,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Térreo (com + pvtos acima)	B T_Z03	Pvto interm.	MeuPiso	Sem Aberturas	0,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Térreo (com + pvtos acima)	B T_Z04	Pvto interm.	MeuPiso	Minha Abertura	50,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Térreo (com + pvtos acima)	B T_Z05	Pvto interm.	MeuPiso	Minha Abertura	50,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Intermediário	B 1_Z01	Pvto interm.	MeuPiso	Minha Abertura	50,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Intermediário	B 1_Z02	Pvto interm.	MeuPiso	Sem Aberturas	0,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Intermediário	B 1_Z03	Pvto interm.	MeuPiso	Sem Aberturas	0,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Intermediário	B 1_Z04	Pvto interm.	MeuPiso	Minha Abertura	50,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Intermediário	B 1_Z05	Pvto interm.	MeuPiso	Minha Abertura	50,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Cobertura	B 2_Z01	MinhaCobertura	MeuPiso	Minha Abertura	50,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Cobertura	B 2_Z02	MinhaCobertura	MeuPiso	Sem Aberturas	0,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Cobertura	B 2_Z03	MinhaCobertura	MeuPiso	Sem Aberturas	0,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Cobertura	B 2_Z04	MinhaCobertura	MeuPiso	Minha Abertura	50,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Cobertura	B 2_Z05	MinhaCobertura	MeuPiso	Minha Abertura	50,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00

Fonte – PBE Edifica – INI-C

Figura 38 (E.6) - Cálculo da influência térmica da envoltória – Bloco B (Parte 3)

Condição da Zona Térmica no pavimento	Zona Térmica	Ocupação (pessoa/m²)	Horas de ocupação	Output do metamodelo na condição Real [kWh/m²ano]	Output do metamodelo na condição de Referência [kWh/m²ano]	Carga térmica de resfriamento REAL, por ZT (kWh/ano)	Carga térmica de resfriamento REFERÊNCIA, por ZT (kWh/ano)	Carga térmica de resfriamento REAL TOTAL (kWh/ano)	Carga térmica de resfriamento REFERÊNCIA TOTAL (kWh/ano)
Térreo (com + pvtos acima)	B T_Z01	0,67	8	2,17E+02	2,47E+02	35.392	40.336	**35.392**	**40.336**
Térreo (com + pvtos acima)	B T_Z02	0,67	8	2,28E+02	2,51E+02	38.603	42.565	**38.603**	**42.565**
Térreo (com + pvtos acima)	B T_Z03	0,67	8	2,28E+02	2,51E+02	38.603	42.565	**38.603**	**42.565**
Térreo (com + pvtos acima)	B T_Z04	0,67	8	2,19E+02	2,53E+02	35.876	41.363	**35.876**	**41.363**
Térreo (com + pvtos acima)	B T_Z05	0,67	8	2,14E+02	2,47E+02	23.447	26.981	**23.447**	**26.981**
Intermediário	B 1_Z01	0,67	8	217,82	246,87	35.603	40.351	**35.603**	**40.351**
Intermediário	B 1_Z02	0,67	8	2,42E+02	2,63E+02	41.086	44.524	**41.086**	**44.524**
Intermediário	B 1_Z03	0,67	8	2,42E+02	2,63E+02	41.086	44.524	**41.086**	**44.524**
Intermediário	B 1_Z04	0,67	8	2,21E+02	2,53E+02	36.080	41.356	**36.080**	**41.356**
Intermediário	B 1_Z05	0,67	8	2,15E+02	2,45E+02	23.451	26.815	**23.451**	**26.815**
Cobertura	B 2_Z01	0,67	8	2,14E+02	2,74E+02	34.900	44.767	**34.900**	**44.767**
Cobertura	B 2_Z02	0,67	8	2,36E+02	2,74E+02	39.992	46.422	**39.992**	**46.422**
Cobertura	B 2_Z03	0,67	8	2,36E+02	2,74E+02	39.992	46.422	**39.992**	**46.422**
Cobertura	B 2_Z04	0,67	8	2,15E+02	2,79E+02	35.210	45.598	**35.210**	**45.598**
Cobertura	B 2_Z05	0,67	8	2,10E+02	2,72E+02	22.913	29.707	**22.913**	**29.707**

Fonte – PBE Edifica – INI-C

Figura 39 (E.7) - Cálculo da influência térmica da envoltória – Bloco C (Parte 1)

Condição da Zona Térmica no pavimento	Zona Térmica	Área [m²]	Pé-direito [m]	Tipo de Zona Térmica	Orientação	Relação com Zonas Térmicas adjacentes	Uso	Componente da Parede externa	Componente da Parede interna
Térreo (com + pvtos acima)	CT_Z01	163,5	3	Perimetral	L	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	MinhaParede	Sem Parede Interna
Térreo (com + pvtos acima)	CT_Z02	169,6	3	Interna	Interna	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	Sem Parede externa	MinhaParedeInter
Térreo (com + pvtos acima)	CT_Z03	169,6	3	Interna	Interna	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	Sem Parede externa	MinhaParedeInter
Térreo (com + pvtos acima)	CT_Z04	163,5	3	Perimetral	O	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	MinhaParede	Sem Parede Interna
Térreo (com + pvtos acima)	CT_Z05	109,3	3	Perimetral	S	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	MinhaParede	Sem Parede Interna
Intermediário	C 1_Z01	163,5	3	Perimetral	L	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	MinhaParede	Sem Parede Interna
Intermediário	C 1_Z02	169,6	3	Interna	Interna	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	Sem Parede externa	MinhaParedeInter
Intermediário	C 1_Z03	169,6	3	Interna	Interna	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	Sem Parede externa	MinhaParedeInter
Intermediário	C 1_Z04	163,5	3	Perimetral	O	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	MinhaParede	Sem Parede Interna
Intermediário	C 1_Z05	109,3	3	Perimetral	S	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	MinhaParede	Sem Parede Interna
Cobertura	C 2_Z01	163,5	3	Perimetral	L	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	MinhaParede	Sem Parede Interna
Cobertura	C 2_Z02	169,6	3	Interna	Interna	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	Sem Parede externa	MinhaParedeInter
Cobertura	C 2_Z03	169,6	3	Interna	Interna	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	Sem Parede externa	MinhaParedeInter
Cobertura	C 2_Z04	163,5	3	Perimetral	O	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	MinhaParede	Sem Parede Interna
Cobertura	C 2_Z05	109,3	3	Perimetral	S	Zona adjacente condicionada	Educacional - Ensino Superior	MinhaParede	Sem Parede Interna

Fonte – PBE Edifica – INI-C

Figura 40 (E.8) - Cálculo da influência térmica da envoltória – Bloco C (Parte 2)

Condição da Zona Térmica no pavimento	Zona Térmica	Componente da Cobertura	Componente do Piso	Componente da Abertura e Sombreamento	Percentual de Abertura da Fachada [%]	É a Fachada Principal? [Somente para tipologia de Varejo e Serviços]	Percentual de Abertura Zenital [%]	Componente da Abertura Zenital	DPI Real (W/m²)	DPE (W/m²)
Térreo (com + pvtos acima)	C T_Z01	Pvto interm.	MeuPiso	Minha Abertura	50,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Térreo (com + pvtos acima)	C T_Z02	Pvto interm.	MeuPiso	Sem Aberturas	0,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Térreo (com + pvtos acima)	C T_Z03	Pvto interm.	MeuPiso	Sem Aberturas	0,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Térreo (com + pvtos acima)	C T_Z04	Pvto interm.	MeuPiso	Minha Abertura	50,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Térreo (com + pvtos acima)	C T_Z05	Pvto interm.	MeuPiso	Minha Abertura	50,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Intermediário	C 1_Z01	Pvto interm.	MeuPiso	Minha Abertura	50,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Intermediário	C 1_Z02	Pvto interm.	MeuPiso	Sem Aberturas	0,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Intermediário	C 1_Z03	Pvto interm.	MeuPiso	Sem Aberturas	0,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Intermediário	C 1_Z04	Pvto interm.	MeuPiso	Minha Abertura	50,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Intermediário	C 1_Z05	Pvto interm.	MeuPiso	Minha Abertura	50,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Cobertura	C 2_Z01	MinhaCobertura	MeuPiso	Minha Abertura	50,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Cobertura	C 2_Z02	MinhaCobertura	MeuPiso	Sem Aberturas	0,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Cobertura	C 2_Z03	MinhaCobertura	MeuPiso	Sem Aberturas	0,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Cobertura	C 2_Z04	MinhaCobertura	MeuPiso	Minha Abertura	50,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00
Cobertura	C 2_Z05	MinhaCobertura	MeuPiso	Minha Abertura	50,0		0,0	Sem Aber. Zenital	5,87	15,00

Fonte – PBE Edifica – INI-C

Figura 41 (E.9) - Cálculo da influência térmica da envoltória – Bloco C (Parte 3)

Condição da Zona Térmica no pavimento	Zona Térmica	Ocupação (pessoa/m²)	Horas de ocupação	Output do metamodelo na condição Real [kWh/m²ano]	Output do metamodelo na condição de Referência [kWh/m²ano]	Carga térmica de resfriamento REAL, por ZT (kWh/ano)	Carga térmica de resfriamento REFERÊNCIA, por ZT (kWh/ano)	Carga térmica de resfriamento REAL TOTAL (kWh/ano)	Carga térmica de resfriamento REFERÊNCIA TOTAL (kWh/ano)
Térreo (com + pvtos acima)	C T_Z01	0,67	8	2,19E+02	2,53E+02	35.876	41.363	**35.876**	**41.363**
Térreo (com + pvtos acima)	C T_Z02	0,67	8	2,28E+02	2,51E+02	38.603	42.565	**38.603**	**42.565**
Térreo (com + pvtos acima)	C T_Z03	0,67	8	2,28E+02	2,51E+02	38.603	42.565	**38.603**	**42.565**
Térreo (com + pvtos acima)	C T_Z04	0,67	8	2,17E+02	2,47E+02	35.392	40.336	**35.392**	**40.336**
Térreo (com + pvtos acima)	C T_Z05	0,67	8	2,08E+02	2,36E+02	22.756	25.818	**22.756**	**25.818**
Intermediário	C 1_Z01	0,67	8	2,21E+02	2,53E+02	36.080	41.356	**36.080**	**41.356**
Intermediário	C 1_Z02	0,67	8	2,42E+02	2,63E+02	41.086	44.524	**41.086**	**44.524**
Intermediário	C 1_Z03	0,67	8	2,42E+02	2,63E+02	41.086	44.524	**41.086**	**44.524**
Intermediário	C 1_Z04	0,67	8	2,18E+02	2,47E+02	35.603	40.351	**35.603**	**40.351**
Intermediário	C 1_Z05	0,67	8	2,10E+02	2,36E+02	22.915	25.830	**22.915**	**25.830**
Cobertura	C 2_Z01	0,67	8	2,15E+02	2,79E+02	35.210	45.598	**35.210**	**45.598**
Cobertura	C 2_Z02	0,67	8	235,79	273,7	39.992	46.422	**39.992**	**46.422**
Cobertura	C 2_Z03	0,67	8	2,36E+02	2,74E+02	39.992	46.422	**39.992**	**46.422**
Cobertura	C 2_Z04	0,67	8	2,14E+02	2,74E+02	34.900	44.767	**34.900**	**44.767**
Cobertura	C 2_Z05	0,67	8	2,06E+02	2,64E+02	22.476	28.817	**22.476**	**28.817**

Fonte – PBE Edifica – INI-C