

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA ATRAVÉS DO MÉTODO SIMPLIFICADO DA INI-C: ESTUDO DE CASO DO BLOCO CW DA UFCG**

**EMMANUELLA FLORA AMARAL BARBOSA DE OLIVEIRA**



CAU UFCG



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE ARQUITETURA E URBANISMO

EMMANUELLA FLORA AMARAL BARBOSA DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA ATRAVÉS DO  
MÉTODO SIMPLIFICADO DA INI-C: ESTUDO DE CASO DO BLOCO CW DA UFCG**

CAMPINA GRANDE - PB  
2024

EMMANUELLA FLORA AMARAL BARBOSA DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA ATRAVÉS DO  
MÉTODO SIMPLIFICADO DA INI-C: ESTUDO DE CASO DO BLOCO CW DA UFCG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Campina Grande, como requisito parcial para conclusão do referido curso.

Orientador: Raoni Venâncio dos Santos Lima  
Coorientadora: Lilianne de Queiroz Leal

CAMPINA GRANDE - PB  
2024



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
CNPJ nº 05.055.128/0001-76  
COORDENAÇÃO DE GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO  
Rua Aprígio Veloso, 882, - Bairro Universitário, Campina Grande/PB, CEP 58429-900  
Telefone: (83) 2101-1400  
Site: <http://ctrn.ufcg.edu.br> - E-mail: [ctrn@ufcg.edu.br](mailto:ctrn@ufcg.edu.br)

## DECLARAÇÃO

Processo nº 23096.064712/2024-16

O Trabalho de Conclusão de Curso “**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA ATRAVÉS DO MÉTODO SIMPLIFICADO DA INI-C: ESTUDO DE CASO DO BLOCO CW DA UFCG**”, foi defendido pela(o) aluna(o): **EMMANUELLA FLORA AMARAL BARBOSA DE OLIVEIRA**, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Arquitetura e Urbanismo outorgado pela Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Unidade Acadêmica de Engenharia Civil, Curso de Arquitetura e Urbanismo foi **APROVADO** em 31 de outubro de 2024.

### COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof.<sup>(a)</sup> Dr.<sup>(a)</sup> **RAONI VENÂNCIO DOS SANTOS** (Orientador(a))

Prof.<sup>(a)</sup> Dr.<sup>(a)</sup> **MIRIAM DE FARIAS PANET** (Examinador(a) Interna(o))

**ME JEAN CARLO FECHINE TAVARES** (Examinador(a) Externo (a))



Documento assinado eletronicamente por **RAONI VENANCIO DOS SANTOS LIMA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 31/10/2024, às 17:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **MIRIAM DE FARIAS PANET, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 31/10/2024, às 19:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **4950368** e o código CRC **2516AF01**.

Referência: Processo nº 23096.064712/2024-16

SEI nº 4950368

O48a Oliveira, Emmanuella Flora Amaral Barbosa de.  
Avaliação da eficiência energética da envoltória através do método simplificado da INI-C: estudo de caso do bloco CW da UFCG / Emmanuella Flora Amaral Barbosa de Oliveira. – Campina Grande, 2024. 90 f. : il. color.  
Monografia (Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2024.  
"Orientação: Prof. Dr. Raoni Venâncio dos Santos Lima, Profa. Dra. Lilianne de Queiroz Leal".  
Referências.  
1. Eficiência Energética da Envoltória. 2. Bloco de Aulas (CW) – Universidade Federal de Campina Grande. 3. Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). 4. Conforto Ambiental. I. Lima, Raoni Venâncio dos Santos. II. Leal, Lilianne de Queiroz. III. Título.

CDU 725:620.9(04)

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECÁRIA MEIRE EMANUELA DA SILVA MELO CRB-15/568

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, que sempre me incentivou, apoiou e torceu por mim. Em especial, à minha mãe, Magnólia Amaral, e à minha irmã, Emmanuelle Flora, por todos os conselhos e conversas durante a minha trajetória acadêmica.

Ao meu orientador, Raoni Venâncio, e à minha coorientadora, Lilianne Leal, pela disponibilidade e contribuição para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Aos docentes do curso, por compartilharem seus conhecimentos durante a graduação. Em especial, aos professores do grupo de pesquisa e extensão ESTÚDIA, Fúlvio Teixeira, Marcus Vinicius e Miriam Panet, por me darem a oportunidade de contribuir no projeto de extensão que foi base para o desenvolvimento deste trabalho.

A Áxel Medeiros pelo apoio, incentivo, conversas e paciência para compreender minhas ausências em períodos difíceis do curso.

Aos meus amigos, Kátia Moura, João Alexandre e Nadisna Morais, que mesmo longe sempre se fizeram presentes, e aos meus amigos do curso, que tornaram mais leve a rotina longe de casa, Ana Lydia, Catarina da Silveira, Daniel Oliveira, David Melo, Gabriela Cabral, José Dantas, Maria Eduarda, Marina Zimmermann, Matteus Guedes, Mirelly Marques, Paula Rodrigues, Quézia Franklin e Rávina Beatriz.

## RESUMO

Com os crescentes impactos das mudanças climáticas e acelerado consumo energético das edificações, houve um aumento nos estudos da eficiência energética. Nas edificações públicas brasileiras cresceu o consumo de energia por metro quadrado, sendo as universidades públicas responsáveis por 21% das despesas com energia elétrica. Para avaliar a eficiência energética, foi criado, em 2009, o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Em 2018, o Inmetro publicou a Instrução Normativa Inmetro para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), com intuito de substituir o RTQ-C. O objetivo deste trabalho foi avaliar e classificar o desempenho energético da envoltória do bloco de aulas (CW), do curso de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal de Campina Grande, utilizando o método simplificado da INI-C. Para aplicar o método, foram levantados parâmetros para serem inseridos em metamodelos de análise. O resultado da aplicação do método para obtenção desempenho energético, revelou um percentual de redução no consumo de energia primária de 29%, que classificou a envoltória do bloco CW como nível A. Para compreender o resultado foram comparadas as condições reais da edificação com as condições de referência equivalentes ao nível D, sendo observada grande influência da cobertura e dos elementos de sombreamento do edifício na classificação obtida. Quanto ao método utilizado, para edificações condicionadas artificialmente é uma boa ferramenta de análise, enquanto para as edificações híbridas, é uma forma muito simplificada, que não analisa elementos importantes do edifício, como os cobogós. Assim, conclui-se que é importante avaliar o desempenho energético da edificação, buscando compreender o resultado para possíveis melhorias no próprio edifício e em edifícios com características semelhantes, para disseminar o estudo de eficiência energética em edificações.

Palavras-chave: Eficiência energética da envoltória. INI-C. Conforto Ambiental.

## ABSTRACT

With the growing impacts of climate change and the accelerated energy consumption of buildings, there has been an increase in studies on energy efficiency. In Brazilian public buildings, energy consumption per square meter has risen, with public universities accounting for 21% of electricity expenses. To assess energy efficiency, the Technical Regulation on the Quality of Energy Efficiency Levels for Commercial, Service, and Public Buildings (RTQ-C) was created in 2009. In 2018, Inmetro published the Inmetro Normative Instruction for the Energy Efficiency Level of Commercial, Service, and Public Buildings (INI-C), aiming to replace the RTQ-C. The objective of this work was to evaluate and classify the energy performance of the envelope of the lecture Bloco (CW) of the Architecture and Urbanism course at the Universidade Federal de Campina Grande, using the simplified method of INI-C. To apply the method, parameters were collected to be inserted into analysis metamodels. The result of applying the method to obtain energy performance revealed a 29% reduction in primary energy consumption, classifying the Bloco CW envelope as level A. To understand the result, the actual conditions of the building were compared with reference conditions equivalent to level D, showing a significant influence of the building's roof and shading elements on the classification obtained. As for the method used, it is a good analysis tool for artificially conditioned buildings, while for hybrid buildings, it is a very simplified method that does not analyze important elements of the building, such as cobogós. Thus, it is concluded that it is important to evaluate the energy performance of the building, seeking to understand the result for possible improvements in the building itself and in buildings with similar characteristics, to disseminate the study of energy efficiency in buildings.

Keywords: Envelope Energy Efficiency. INI-C. Environmental Comfort.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fachada norte do Anexo FAUrb.....	39
Figura 2 - Planta baixa do térreo, segundo e terceiro pavimento do Anexo FAUrb..	40
Figura 3 - Fachadas do Anexo FAUrb.....	41
Figura 4 - Planta de cobertura.....	42
Figura 5 - Corte CC, com detalhe da laje terraço técnico.....	42
Figura 6 - Vista superior da cobertura com módulos fotovoltaicos.....	43
Figura 7 - Modelo do Anexo FAUrb para simulação.....	44
Figura 8 - Departamento de Engenharia Civil da UFSC.....	45
Figura 9 - Planta baixa do 4º pavimento do bloco A.....	46
Figura 10 - Planta baixa do 4º pavimento do bloco de ligação e do bloco B.....	46
Figura 11 - Fachadas do bloco A.....	47
Figura 12 - Fachadas Leste e Oeste.....	48
Figura 13 - Detalhamento de brises de concreto.....	49
Figura 14 - Localização da cidade de Campina Grande - PB.....	55
Figura 15 - Umidade relativa da cidade de Campina Grande - PB.....	56
Figura 16 - Variação de temperatura da cidade de Campina Grande - PB.....	56
Figura 17 - Rosa dos ventos: frequência de ocorrência e velocidades predominantes.....	57
Figura 18 - Carta psicrométrica anual da cidade de Campina Grande - PB.....	58
Figura 19 - Localização da UFCG, com destaque do Bloco CW, em vermelho.....	59
Figura 20 - Bloco CW.....	60
Figura 21 - Planta baixa dos pavimentos 1, 2 e 3.....	61
Figura 22 - Volumetria do Bloco CW.....	63
Figura 23 - Orientação solar do Bloco CW.....	63
Figura 24 - Fachadas da edificação do Bloco CW.....	64
Figura 25 - Layout de distribuição dos módulos fotovoltaicos.....	65
Figura 26 - Sistema solar fotovoltaico do bloco CW.....	66
Figura 27 - Absortância das paredes, com destaque para as cores encontradas na fachada do Bloco CW.....	66
Figura 28 - Absortância das telhas termoacústicas, com destaque para a cor da telha.....	67
Figura 29 - Absortância dos painéis solares.....	67
Figura 30 - Propriedades térmicas das paredes, vidros e cobertura.....	68
Figura 31 - Planilha de cálculo para obtenção de transmitância e capacidade térmica da laje de piso.....	68
Figura 32 - Divisão do bloco CW, com destaque em verde para a área analisada pelo método simplificado.....	69
Figura 33 - Inserção dos parâmetros na plataforma Natural Comfort.....	71
Figura 34 - Zonas térmicas dos pavimentos 1, 2 e 3.....	75

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Linha do tempo das Políticas de Eficiência Energética.....	29
Gráfico 2 - Fluxograma do procedimento adotado para determinação de eficiência da envoltória.....	51
Gráfico 3 - Passo a passo da divisão de zonas térmicas.....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Combinações possíveis entre sistemas individuais em cada método de avaliação da INI-C.....	31
Tabela 2 - Limites dos parâmetros de avaliação da envoltória para edificações condicionadas artificialmente.....	33
Tabela 3 - Limites dos parâmetros de avaliação da envoltória para o aproveitamento da ventilação natural.....	34
Tabela 4 - Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética da envoltória.....	37
Tabela 5 - Limites dos parâmetros de avaliação da envoltória e resultados encontrados no Bloco CW.....	70
Tabela 6 - Valores de referência para edificações educacionais.....	72
Tabela 7 - Limites dos parâmetros de avaliação em três zonas térmicas.....	74
Tabela 8 - Parâmetros de entrada do bloco CW.....	77
Tabela 9 - Carga térmica de refrigeração total anual.....	79
Tabela 10 - Coeficiente de redução da carga térmica anual da classificação D para a A: edifício educacional.....	80
Tabela 11 - Classificação nível A da envoltória do bloco CW.....	81
Tabela 12 - Classificação nível D da envoltória considerando apenas o condicionamento artificial.....	81
Tabela 13 - Comparação dos parâmetros por zona térmica para as condições real, em branco, e de referência, em cinza.....	83

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$\alpha_{cob}$	Absortância solar da cobertura	FF	Fator de forma
$\alpha_{par}$	Absortância solar da parede	FH <sub>desc</sub>	Fração de horas de desconforto por calor
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas	FS	Fator solar
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie	GT Edificações	Grupo Técnico para Eficientização de Energia em Edificações
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica	INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
AHS	Ângulo Horizontal de Sombreamento	INI-C	Instrução Normativa Inmetro para a Eficiência Energética das Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas e Residenciais
AOV	Ângulo de Obstrução Vizinha	Labcon	Laboratório de Conforto Ambiental
APP	Área de Permanência Prolongada	LINSE	Laboratório de Inspeção de Eficiência Energética em Edificações
AVS	Ângulo Vertical de Sombreamento	NZEB	Near Zero Energy Building
CB3E	Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações	OEE	Office of Energy Efficiency
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores e de Níveis de Eficiência Energética	PAF	Percentual de área de abertura da fachada
CgTT	Carga térmica total anual	PAR	Plano de Aplicação de Recursos
CgTR	Carga térmica de refrigeração total anual	PAZ	Percentual de abertura zenital
CONPET	Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural	PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
CT <sub>cob</sub>	Capacidade térmica da cobertura	PD	Pé-direito
CT <sub>par</sub>	Capacidade térmica da parede externa	PHOCT	Percentual de horas ocupadas em conforto térmico
CUB	Custo Unitário Básico	PEE	Programa de Eficiência Energética
DCgTR	Densidade de carga térmica para refrigeração	PES	Projeto Esplanada Sustentável
DPE	Densidade de potência de equipamentos	PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
DPI	Densidade de potência de iluminação	PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
EAS	Estabelecimentos Assistenciais de Saúde	RAC	Requisitos de Avaliação da Conformidade
ECCJ	Centro de Conservação de Energia	RedCAA	Redução do consumo estimado de aquecimento de água
EERE	Office of Energy Efficiency and Renewable Energy	RedCEP	Redução do consumo estimado de energia primária
EHF <sub>hot</sub>	Percentual de horas ocupadas em desconforto térmico por calor	RedCgTT	Redução do consumo da carga térmica total anual
ENBPar	Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear	RedCIL	Redução do consumo do sistema de iluminação
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia	RedCR	Redução de consumo para refrigeração
EPA	Agência de Proteção Ambiental	RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
EPE	Empresa de Pesquisa Energética	RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
EST	Energy Saving Trust	U <sub>cob</sub>	Transmitância térmica da cobertura
FAUrb	Faculdade de Arquitetura e Urbanismo		

UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UFPEl	Universidade Federal de Pelotas
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
$U_{par}$	Transmitância térmica da parede externa
$U_{vid}$	Transmitância térmica do vidro

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>21</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>24</b>
2.1 Objetivo geral.....	24
2.2 Objetivos específicos.....	24
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>25</b>
3.1 Panorama mundial da Eficiência Energética.....	25
3.2 Histórico da legislação de Eficiência Energética no Brasil.....	26
3.3 PBE Edifica: Procel Edifica e Programa Brasileiro de Etiquetagem.....	27
3.4 INI-C.....	31
3.4.1 Avaliação de eficiência energética da envoltória.....	32
3.4.1.1 Edificações condicionadas artificialmente.....	32
3.4.1.2 Edificações ventiladas naturalmente ou híbridas.....	34
3.4.2 Determinação da carga térmica total anual da edificação.....	36
3.4.3 Determinação do percentual de redução da carga térmica total anual.....	36
3.4.4 Classificação de eficiência energética da envoltória.....	37
3.5 Pesquisas em edifícios públicos educacionais.....	38
<b>4 EDIFÍCIOS PÚBLICOS ETIQUETADOS.....</b>	<b>39</b>
4.1 Anexo da FAUrb da Universidade Federal de Pelotas.....	39
4.2 Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.....	45
<b>5 METODOLOGIA.....</b>	<b>50</b>
5.1 Caracterização do estudo .....	50
5.2 Levantamento de dados.....	50
5.3 Determinação da eficiência energética da envoltória.....	50
5.3.1 Avaliação pelo método simplificado de ventilação híbrida.....	50
5.3.2 Avaliação pelo método simplificado de condicionamento artificial.....	52
5.4 Análise dos resultados.....	54
<b>6 CONTEXTO E CAMPO DA PESQUISA.....</b>	<b>55</b>
6.1 Características climáticas da cidade de Campina Grande.....	55
6.2 Diretrizes construtivas e estratégias bioclimáticas.....	57

6.3 Contexto histórico do campus sede da UFCG.....	58
6.4 A construção do Bloco CW.....	59
6.4.1 Características projetuais.....	63
6.4.2 Composição física do edifício.....	65
6.4.3 Propriedades térmicas dos elementos construtivos da envoltória.....	66
<b>7 RESULTADOS.....</b>	<b>69</b>
7.1 Método simplificado para edificação de ventilação híbrida.....	69
7.1.1 Condições de aplicabilidade do método simplificado para edificações híbridas.....	69
7.1.2 Percentual de horas ocupadas em conforto térmico.....	71
7.2 Método simplificado para edificação condicionada artificialmente.....	72
7.2.1 Divisão de zonas térmicas.....	73
7.2.2 Condições de aplicabilidade do método simplificado para edificações condicionadas artificialmente.....	73
7.2.3 Levantamento dos parâmetros de entrada.....	74
7.2.4 Carga térmica e percentual de redução da carga térmica total anual.....	79
7.3 Classificação da envoltória.....	80
<b>8 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>81</b>
<b>9 CONCLUSÃO.....</b>	<b>86</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>87</b>

## 1 INTRODUÇÃO

São visíveis em todo o mundo os impactos crescentes das mudanças climáticas e suas consequências para seus edifícios e seus ocupantes. O setor da construção civil é responsável por cerca de 21% das emissões globais de gases de efeito estufa, contribuindo significativamente para as mudanças climáticas globais. Ao longo do tempo, as mudanças e os eventos climáticos extremos afetarão substancialmente o desempenho dos edifícios e o consumo de energia (UNEP, 2024).

Dada às questões ambientais, o estudo de eficiência energética em edificações tem se tornado um assunto de grande interesse, principalmente no Brasil, uma vez que o país é o sexto maior consumidor de energia elétrica do mundo. A geração de energia elétrica em centrais de serviço público e autoprodutores atingiu 677,1 terawatts-hora (TWh) em 2022, resultando em um aumento de 3,2% comparado a 2021. Entre os países que ocupam as primeiras posições em consumo de energia, tem-se: China - 8.882 TWh, aumento de 5,1%; Estados Unidos - 4.292 TWh, aumento de 3,2%; Índia - 1.760 TWh, aumento de 7,2%; Rússia - 1.138 TWh, redução de 0,8%; e Japão - 991 TWh, aumento de 0,7% (EPE, 2024).

Nas edificações comerciais e públicas brasileiras, entre o período de 2006 a 2014, houve um crescimento no consumo de energia por metro quadrado, principalmente pelo aumento da posse e uso de equipamentos elétricos. Na administração pública federal, o perfil de despesa com energia elétrica, no acumulado de 2016 a 2022, mostra que 60% da despesa se concentra em três segmentos: Universidades (21%), Fundo Nacional (21%) e Administração Direta (18%) (EPE, 2023).

A envoltória, os equipamentos e sistemas e o uso são as interfaces que interferem no consumo de energia elétrica. A adoção de medidas simples pode contribuir significativamente para a redução desse consumo em edificações públicas. Entretanto, para garantir a melhor solução, é necessário avaliar as peculiaridades de cada edifício com estudo específico. Na envoltória, os elementos construtivos, quando especificados e dimensionados erroneamente para a região na qual se encontra, podem permitir um ganho excessivo de calor. Desta forma, é fundamental que os projetos que visem reduzir o consumo de energia considerem variáveis e princípios, demonstrando devida preocupação com o isolamento térmico dos componentes da envoltória (paredes externas, coberturas e vidros), a inércia térmica, a proteção à insolação direta nos locais mais quentes e o aproveitamento da luz natural difusa (MMA, 2014).

Como meio de avaliar o desempenho energético, foi criado, em 2009, o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Este documento, associado aos Requisitos de Avaliação de Conformidade (RAC), reúne um conjunto de procedimentos necessários para a obtenção, geral ou parcial, da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), do Programa Brasileiro de Etiquetagem para Edificações (PBE Edifica), e classifica as edificações através de sistemas individuais (envoltória, iluminação e condicionamento de ar) que variam do nível A (mais eficiente) até o E (menos eficiente) (INMETRO, 2010).

Em busca de desenvolver ações que melhorem o método de avaliação do nível de eficiência energética de edificações, em 2021, o RTQ-C foi revisado e substituído pela Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). Este documento tem como base o consumo de energia primária e compara a condição real com a condição de referência da edificação, onde as características de referência adotadas equivalem ao nível D (PBE Edifica, 2024a).

A etiquetagem do PBE Edifica tem caráter voluntário de aplicação. Entretanto, de acordo com Instrução Normativa SLTI/MPOG nº 2, de 5 de junho de 2014, é obrigatório que as obras de *retrofit* e projetos de edificações públicas federais novas, construídas com recursos públicos federais, sejam etiquetadas, visando a obtenção da etiqueta de nível A. Estão dispensadas as edificações com área construída com até 500m<sup>2</sup> ou que possuam o valor da obra inferior ao Custo Unitário Básico da Construção Civil - CUB Médio Brasil aplicado a uma edificação de 500m<sup>2</sup>.

A Portaria Interministerial nº 244, de 6 de junho de 2012, com a finalidade de integrar ações que visam à melhoria da eficiência no uso racional dos recursos públicos e à inserção da variável socioambiental no ambiente de trabalho, instituiu o Projeto Esplanada Sustentável (PES), que englobou e ampliou os objetivos previstos no Projeto Eficiência e Sustentabilidade na Esplanada dos Ministérios, concebido em 2009. O Bloco B da Esplanada dos Ministérios, que abriga os Ministérios do Meio Ambiente e da Cultura, atendendo as diretrizes do PES, passou por *retrofit*, em 2015, e obteve a etiqueta classe A de projeto (MMA, 2015). Deste modo, além de aumentar a adesão ao programa, mostra a coerência do governo entre o discurso e a ação na busca da eficiência energética nas edificações públicas, tendo papel fundamental tanto como efeito demonstrativo quanto como indutor do mercado (MME, 2011).

Com a missão de promover e estimular o debate e a busca de soluções para as

problemáticas ambientais e energéticas, a aplicação da metodologia de etiquetagem nas instituições de ensino superior é fundamental para a obtenção de indicadores da situação atual de eficiência energética. Esta aplicação resulta em diretrizes e recomendações de melhoria da eficiência energética e indica caminhos e perspectivas de curto, médio e longo prazo (Amorim, 2011). Entre as universidades que estão investindo na melhoria de eficiência energética e adotaram o método de etiquetagem, estão a Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e o departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). A escola mineira adotou o método prescritivo do RTQ-C e obteve, em 2012, classificação C para envoltória e B para iluminação. Já em Santa Catarina a envoltória foi analisada pelo método prescritivo e atingiu o selo nível A, em 2016, enquanto o projeto de ampliação do mesmo departamento alcançou o nível A nos três sistemas - envoltória, iluminação e condicionamento de ar (INMETRO, 2024).

O Bloco CW, objeto de pesquisa deste trabalho, está localizado na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), campus sede. Com área total de 796,64 m<sup>2</sup>, foi construído por volta da década de 1970, com base em um projeto padrão, reproduzido em outros edifícios da instituição, que seguia os preceitos da arquitetura moderna difundida na época. Diante da necessidade de alocar as atividades do curso de Arquitetura e Urbanismo, entre 2009 e 2012, o bloco recebeu dois projetos de ampliação (Sousa *et. al*, 2022).

Este trabalho é fundamentado nas pesquisas realizadas, durante os anos de 2022 e 2023, pelo projeto de extensão ESTÚDIO: Arquitetura de obras públicas, do grupo de pesquisa ESTÚDIA - Estudos Integrados em Arquitetura. Através de um questionário aplicado aos usuários do bloco CW, constataram-se problemas relacionados ao conforto ambiental das salas de aula do edifício, principalmente concernentes ao conforto térmico.

Deste modo, para dar continuidade aos estudos iniciados no projeto de extensão, aliado a obrigatoriedade da etiquetagem em edifícios públicos federais, este trabalho buscou contribuir com a construção da eficiência energética no campus sede da UFCG, através da avaliação, utilizando o método simplificado da INI-C.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Avaliar e classificar o desempenho energético da envoltória do bloco de aulas (CW), do curso de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal de Campina Grande, utilizando o método simplificado da INI-C.

### 2.2 Objetivos específicos

- Realizar levantamento de dados concernentes ao local de implantação e dos sistemas construtivos da edificação;
- Analisar e atualizar os projetos de arquitetura existentes do Bloco CW;
- Classificar a eficiência energética da envoltória, com base nos critérios do método simplificado da INI-C;
- Compreender a classificação obtida, analisando como os elementos construtivos alteram o desempenho energético.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Panorama mundial da Eficiência Energética

A preocupação com a eficiência energética ganhou destaque nas décadas de 70 e 80, em um cenário de crise do petróleo em 1973 e 1979, que gerou uma forte crise energética para todos os países, que tinham suas economias baseadas no consumo de derivados desse produto. Com a crise, o preço do barril de petróleo aumentou significativamente e trouxe a percepção de escassez do recurso energético, que resultou no início das discussões sobre o uso mais eficiente e diversificado das fontes de energia e incentivou medidas destinadas à maior eficiência (Souza; Guerra; Kruger, 2011).

Na década de 80, a preocupação relacionada à segurança do suprimento de energia diminuiu com a estabilização do preço do petróleo, sendo retomada quando o impacto da queima de combustíveis fósseis na variação climática global se tornou uma questão mundial, no final da década de 80. Como consequência, em 1977, foi criado o protocolo de Kyoto, um acordo internacional que definiu metas de redução de emissões de CO<sup>2</sup> para os países considerados responsáveis históricos pela mudança atual do clima. Para alcançar as metas estabelecidas, tornou-se indispensável o aumento da eficiência em toda a cadeia energética (Haddad, 2004).

Para promover a eficiência energética, vários países adotaram como método a criação de instituições, com programas voltados para a conscientização das vantagens do uso eficiente da energia e atribuição de incentivos financeiros para produtos com maior eficiência energética. Deste modo, a eficiência energética teve os primeiros investimentos na pesquisa e no desenvolvimento de sistemas de energias renováveis e na criação e propagação de equipamentos mais modernos e eficientes (Nascimento, 2022).

O Reino Unido criou a organização independente *Energy Saving Trust* (EST). Na França, a *Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie* (ADEME) era a responsável por realizar estudos na área e atuar nas campanhas de conscientização e de difusão das informações. No Japão, as normas de eficiência energética estabelecidas para a construção civil e os esforços de gerenciamento pelo lado da demanda foram de responsabilidade do Centro de Conservação de Energia (ECCJ), criado em 1978. No Canadá, o governo criou o *Office of Energy Efficiency* (OEE), em 1998, que tem implementado normas para construção civil, padrões mínimos de eficiência para aparelhos

eletrodomésticos, iluminação, entre outros. Nos Estados Unidos, foi criado em 1981 o *Office of Energy Efficiency and Renewable Energy* (EERE), que com apoio da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – EPA, tinha a finalidade de promover oportunidades para aumentar a competitividade do país através do desenvolvimento de tecnologias eficientes e fontes renováveis de energia (Haddad, 2004).

#### 3.2 Histórico da legislação de Eficiência Energética no Brasil

A preocupação mundial com a eficiência energética, nos anos 1970, gerada pela crise do petróleo, fez com que o Brasil buscasse com mais afinco uma forma para diversificar a matriz energética. O governo federal implementou políticas e programas voltados para a eficiência energética, a partir nos anos 1980. A primeira ação neste âmbito foi publicada em 1981, pela Portaria MIC/GM46, com o Programa Conserve que objetivava a promoção da eficiência energética na indústria (MME, 2019).

Quando o suprimento de energia elétrica passou a ser crítico, em 1984, o Instituto Brasileiro de Metrologia, Normalização e Qualidade (Inmetro) implementou o Programa de Conservação de Energia Elétrica em Eletrodomésticos, com objetivo de informar os consumidores sobre a eficiência dos equipamentos, de modo a promover a redução do consumo de energia. Em 1992, preservando suas atribuições iniciais, o programa foi renomeado para Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE (MME, 2011).

Em 1985, por meio da Portaria Interministerial nº 1.877, foi criado o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), gerenciado pela Eletrobras, com uma visão abrangente e coordenada, foi destinado a integrar ações que visavam à conservação de energia elétrica no país. Neste contexto, foi criado o selo Procel, resultado da associação de esforços do Procel e Inmetro (MME, 2019).

Revedo as competências do Procel e administrado pela Petrobras, com a finalidade de desenvolver e integrar ações para promover o consumo energético dos setores industriais e de transporte comercial, foi lançado, em 1991, o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural - CONPET (MME, 2011).

A Lei nº 9.991/2000, que dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, instituiu o Programa de Eficiência

Energética (PEE), coordenado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). No ano seguinte, durante a crise energética nacional, foi aprovada a Lei de Eficiência Energética, nº 10.295, regulamentada pelo Decreto nº 4.059, que instituiu o Comitê Gestor de Indicadores e de Níveis de Eficiência Energética – CGIEE e o Grupo Técnico para Eficientização de Energia em Edificações – GT Edificações.

A Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética – EPE e o Decreto nº 5.184/2004 cria a EPE, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, que atua no planejamento do setor energético nacional. Os documentos conduzem estudos e pesquisas que apoiam outras ações do governo, como o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), apresentado em 2011, com meta de redução de 10% no consumo de energia elétrica até 2030.

Neste contexto, com o objetivo de promover a eficiência energética no uso de energia elétrica, houve uma reformulação na governança do Procel. A Lei nº 13.280/2016 estabeleceu uma base de recursos por meio da criação do Plano de Aplicação de Recursos (PAR), que orienta a implementação do Programa. Essa iniciativa permite a execução de ações replicáveis em todo o país, tornando a atuação do Procel mais estratégica (MME, 2019).

Em 2021, o Decreto nº 10.791 criou, vinculado ao Ministério de Minas e Energia, a Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear (ENBPar). Em julho de 2023, a ENBPar assumiu a gestão do Procel, após a desestatização da Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobras), que foi responsável pela execução do programa por mais de 30 anos.

A implementação dessas políticas ao longo dos anos (Gráfico 1) promoveu um aumento da eficiência energética e seus efeitos foram observados progressivamente, com uma maior consciência da importância de hábitos adequados no uso de energia. Ao adotar essas políticas, o Brasil se equipara aos países desenvolvidos, que priorizam a eficiência energética (MME, 2019).

### **3.3 PBE Edifica: Procel Edifica e Programa Brasileiro de Etiquetagem**

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), criado em 1984 pelo Inmetro, implementou Programas de Avaliação de Conformidade, com objetivo de assegurar que um produto, processo, serviço ou profissional atende aos requisitos previstos em normas ou regulamentos, promovendo um adequado grau de confiança. Entre os diversos mecanismos

de Avaliação de Conformidade, a etiquetagem avalia questões de desempenho, principalmente em relação à eficiência energética (MME, 2011).

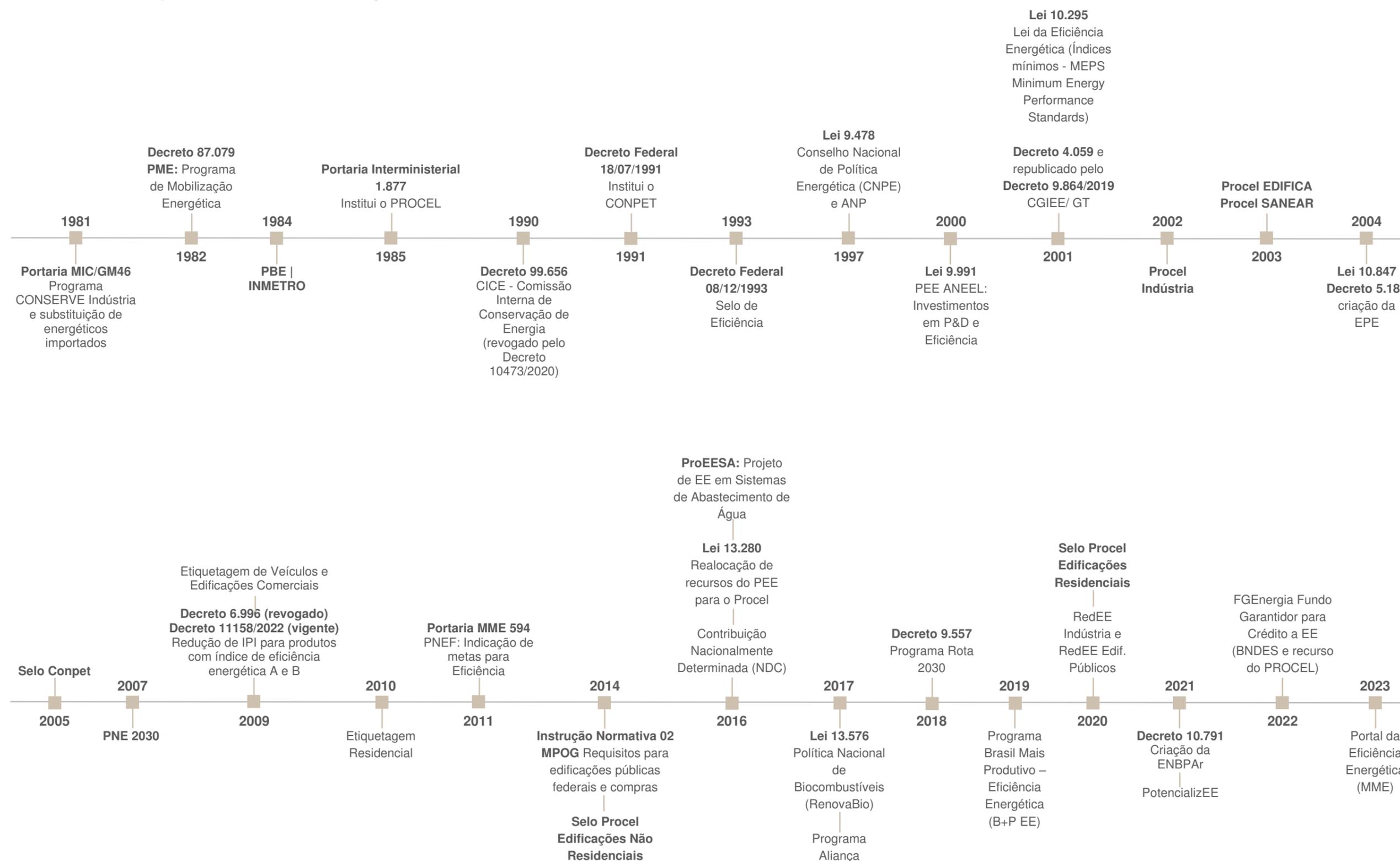
No âmbito das edificações, em busca de viabilizar a implementação da Lei de Eficiência Energética, foi criado em 2003 um subprograma do Procel, o Procel Edifica, focado no desenvolvimento de atividades e projetos que propiciem a divulgação e estimulem à aplicação dos conceitos de eficiência energética em edificações, contribuindo com a expansão do setor habitacional do país, com redução nos custos operacionais na construção e utilização de imóveis energeticamente eficientes. O programa é baseado em seis vertentes: Capacitação; Tecnologia; Disseminação e Divulgação; Regulamentação; Habitação e Eficiência Energética; e Suporte - Marketing e Apoio (PBE Edifica, 2014).

Com foco na eficiência energética, foi instituída a etiqueta PBE Edifica, que desde 2013 é obrigatória em edifícios públicos federais e tem como produto principal a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). Esta etiqueta segue a vertente de Regulamentação do Procel Edifica e certifica o atendimento aos requisitos estabelecidos em normas e regulamentos, tendo como base os procedimentos descritos no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), e de Edificações Residenciais (RTQ-R) (Jordão *et al.*, 2021).

Uma nova proposta de método para avaliação do desempenho energético das edificações, com base no consumo de energia primária, foi desenvolvida através do Procel Edifica e do Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E), publicada por meio da Portaria nº 309/2022 (INI-C, INI-R e RAC). Para a emissão de ENCEs, podem ser adotados os métodos RTQs e INIs até o final de outubro de 2024, de acordo com a Portaria nº 23/2024. A partir de novembro, para as Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas e Residenciais a emissão da ENCE de projeto deverá ser realizada somente com base nos requisitos das INIs. Concernente às edificações construídas que tenham obtido etiqueta de projeto com base nos RTQs, o prazo para a emissão de ENCEs permanece válida até o final de outubro de 2029 (PBE Edifica, 2024b).

A importância do PBE Edifica está no auxílio para que o país atinja a meta de redução das emissões de carbono, além fornecer uma métrica para que proprietários e empreendedores criem um mercado de gerenciamento de edifícios, que funciona como parâmetro para auxiliar o consumidor a comprar um imóvel. O PBE Edifica não deve ser confundido com os sistemas de certificação, uma vez que a etiqueta pode ou não ser eficiente, dependendo do seu nível de classificação (MMA, 2015).

Gráfico 1 – Linha do tempo das Políticas de Eficiência Energética.



Fonte: Atlas de Eficiência Energética, 2023, adaptado pela autora.

### 3.4 INI-C

Com o objetivo de classificar edificações comerciais, de serviços e públicas, tanto em fase de projeto quanto já construídas, em relação à eficiência energética, a Instrução Normativa do Inmetro estabelece critérios e métodos para a etiquetagem dessas edificações. Essas diretrizes devem estar em conformidade com as normas vigentes e aplicáveis da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A classificação de eficiência energética é baseada no consumo de energia primária, onde se compara o consumo real da edificação com uma condição de referência, estabelecida no nível D. Essa classificação pode ser geral, abrangendo aspectos como envoltória, iluminação, condicionamento de ar e aquecimento de água, ou parcial, considerando combinações específicas. As classificações parciais incluem: envoltória completa (obrigatória em todas as avaliações); com sistema de condicionamento de ar; com sistema de iluminação; com sistema de aquecimento de água; e com outros dois sistemas (INMETRO, 2022).

Através dos métodos simplificado e de simulação é realizada a estimativa do consumo de energia, sendo possível a combinação dos métodos para avaliar os sistemas de uma mesma edificação (Tabela 1).

Tabela 1 – Combinações possíveis entre sistemas individuais em cada método de avaliação da INI-C.

			Método de simulação					
			Envoltória		Iluminação natural	Iluminação artificial	Condic. de ar	Aquecimento de água
			Edif. CA	Edif. VN				
Método simplificado	Envoltória	Edif. CA		✓	✓	✓	✗	✗
		Edif. VN	✗		✓	✓	✗	✗
	Iluminação natural		✓	✓		✓	✗	✗
	Iluminação artificial		✓	✓	✓		✓	✗
	Condicionam. de ar		✗	✗	✓	✓		✗
	Aquecimento de água		✓	✓	✓	✓	✓	

Fonte: INMETRO, 2022, adaptado pela autora.

Na INI-C, utilizando o método simplificado, a classificação de eficiência energética geral das edificações, e dos sistemas individuais, deve ser realizada por meio do seu percentual de redução do consumo estimado de energia primária (RedCEP). Nos sistemas individuais, a envoltória é classificada a partir do percentual de redução da carga térmica total anual da edificação (RedCgTT); o sistema de condicionamento de ar é classificado com base no percentual de redução de consumo para refrigeração (RedCR); o sistema de iluminação é classificado a partir do percentual de redução do sistema de iluminação da edificação real (RedCIL); o sistema de aquecimento de água é classificado com base no percentual de redução de consumo de energia primária necessário para atender a demanda de água quente da edificação (RedCAA).

#### 3.4.1 Avaliação de eficiência energética da envoltória

A classificação da envoltória se dá por meio da determinação do percentual de redução da carga térmica total anual da envoltória (RedCgTT), que é obtido através da comparação da carga térmica total anual da edificação nas condições real (CgTT<sub>real</sub>) com a de referência (CgTT<sub>refD</sub>), equivalente à classificação D.

Os parâmetros de entrada necessários para a predição da carga térmica da envoltória são referentes às características físicas do envelope e de uso da edificação, como cobertura, fachadas, aberturas, áreas e padrões de ocupação de acordo com o uso, entre outros.

Nesta avaliação, podem ser as edificações condicionadas artificialmente, edificações que alternam entre o uso da ventilação natural e o condicionamento artificial (ventilação híbrida), e edificações totalmente ventiladas naturalmente.

##### 3.4.1.1 Edificações condicionadas artificialmente

O método simplificado para a avaliação das zonas térmicas condicionadas artificialmente, ou parcelas da edificação condicionadas artificialmente, abrange grande parte das soluções arquitetônicas mais difundidas. Entretanto existem parâmetros construtivos compreendidos entre os intervalos utilizados na proposição do método que tornam a aplicação restrita (Tabela 2).

Tabela 2 – Limites dos parâmetros de avaliação da envoltória para edificações condicionadas artificialmente.

Parâmetros	Limites (unidade)	
	Valor mínimo	Valor máximo
Absortância solar da cobertura ( $\alpha_{cob}$ )	0,2	0,8
Absortância solar da parede ( $\alpha_{par}$ )	0,2	0,8
Ângulo de obstrução vizinha (AOV)	0°	80°
Ângulo horizontal de sombreamento (AHS)	0°	80°
Ângulo vertical de sombreamento (AVS)	0°	90°
Capacidade térmica da cobertura ( $CT_{cob}$ )	10 kJ/(m <sup>2</sup> .K)	450 kJ/(m <sup>2</sup> .K)
Capacidade térmica da parede externa ( $CT_{par}$ )	40 kJ/(m <sup>2</sup> .K)	450 kJ/(m <sup>2</sup> .K)
Densidade de potência de equipamentos (DPE)	4 W/m <sup>2</sup>	40 W/m <sup>2</sup>
Densidade de potência de iluminação (DPI)	4 W/m <sup>2</sup>	40 W/m <sup>2</sup>
Fator solar do vidro (FS)	0,21	0,87
Pé-direito (PD)	2,6 m	6,6 m
Percentual de área de abertura da fachada (PAF)	0%	80%
Transmitância térmica da cobertura ( $U_{cob}$ )	0,51 W/(m <sup>2</sup> .K)	5,07 W/(m <sup>2</sup> .K)
Transmitância térmica da parede externa ( $U_{par}$ )	0,50 W/(m <sup>2</sup> .K)	4,40 W/(m <sup>2</sup> .K)
Transmitância térmica do vidro ( $U_{vid}$ )	1,9 W/(m <sup>2</sup> .K)	5,7 W/(m <sup>2</sup> .K)

Fonte: INMETRO, 2022.

A estimativa da carga térmica de refrigeração anual baseia-se em um metamodelo de análise que utiliza redes neurais artificiais para diferentes realidades climáticas brasileiras, representadas pelas zonas bioclimáticas nas quais estão inseridas. A carga térmica de refrigeração anual ( $Cg_{TR}$ ) deve ser determinada com base nos parâmetros construtivos físicos, geométricos e de carga interna da edificação. A partir da definição da tipologia da edificação, a edificação deve ser dividida em zonas térmicas de análise.

As características e elementos construtivos variam de acordo com a tipologia da edificação (edificações de escritório; edificações educacionais: ensino médio, fundamental e superior; edificações de hospedagem: pequenas, médias e grandes; Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS), exceto hospitais; edificações de varejo: lojas, lojas de departamento e shopping center; edificações de varejo: mercados; edificações de alimentação: restaurantes e praças de alimentação). Para a avaliação da edificação em sua condição real e de referência, os parâmetros para cada zona térmica devem respeitar os valores pré-definidos pela tipologia.

Alguns parâmetros são levantados de acordo com a edificação completa, e outros são definidos a cada zona térmica, sendo estas definidas como áreas da edificação que

possuem comportamentos similares em relação à sua carga interna e à exposição ao meio externo. As zonas térmicas podem não ter contato com o ambiente externo à edificação, classificadas como internas, ou ter contato direto com o ambiente externo, classificadas como perimetrais (INMETRO, 2021).

Tais zonas devem ser separadas de acordo com: a) tipologia da edificação; b) tipo e/ou especificações técnicas do sistema de condicionamento de ar; c) pé-direito da edificação; d) espaços com pisos em contato com o solo ou em contato com o exterior; e, e) espaços com cobertura em contato com o exterior. Uma mesma zona pode englobar vários ambientes, caso estes tenham as mesmas condicionantes de divisão de zonas.

Os valores definidos para cada um dos parâmetros de entrada, e para cada zona térmica de análise, devem ser inseridos na interface do metamodelo que resultará no valor de densidade de carga térmica para refrigeração ( $DCg_{TR}$ , em kWh/m<sup>2</sup>) e na carga térmica de refrigeração anual ( $Cg_{TR}$ , em kWh/ano) por zona.

### 3.4.1.2 Edificações ventiladas naturalmente ou híbridas

A aplicação do modelo simplificado é restrita às condições de aplicação do metamodelo utilizado para análise. Desta forma, restringe-se às edificações escolares e de escritórios, que seguem os horários de ocupação em concordância com a referida tipologia, de geometria quadrada ou retangular, que não exceda 16 m de altura, e com aberturas de ventilação em todas as áreas de permanência prolongada. As tipologias diferentes das citadas e os casos não compreendidos nos limites devem ser avaliados pelo método de simulação, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Limites dos parâmetros de avaliação da envoltória para o aproveitamento da ventilação natural.

Parâmetros	Limites (unidade)	
	Valor mínimo	Valor máximo
Absortância solar da cobertura ( $\alpha_{cob}$ )	0,2	0,8
Absortância solar das paredes externas ( $\alpha_{par}$ )	0,2	0,8
Ângulo vertical de sombreamento (AVS)	0°	45°
Área das APPs	9 m <sup>2</sup>	400 m <sup>2</sup>
Capacidade térmica da cobertura ( $CT_{cob}$ )	10 kJ/(m <sup>2</sup> .K)	400 kJ/(m <sup>2</sup> .K)
Capacidade térmica da parede externa ( $CT_{par}$ )	40 kJ/(m <sup>2</sup> .K)	500 kJ/(m <sup>2</sup> .K)
Comprimento total (maior dimensão entre os lados da edificação)	13 m	200 m

Fator da área da escada	0	0,28
Fator solar do vidro (FS)	0,2	0,8
Forma das aberturas para ventilação: razão entre a largura e a altura das aberturas para ventilação	0,1	50
Número de pavimentos	1	5
Pé-direito	2,75 m	4,25 m
Percentual de área de abertura na fachada total (PAF <sub>T</sub> )	0,05	0,7
Profundidade total (menor dimensão entre os lados da edificação)	8 m	50 m
Transmitância térmica da parede externa (U <sub>par</sub> )	0,1 W/(m <sup>2</sup> .K)	5 W/(m <sup>2</sup> .K)
Transmitância térmica da cobertura (U <sub>cob</sub> )	0,1 W/(m <sup>2</sup> .K)	5 W/(m <sup>2</sup> .K)
Transmitância térmica do vidro (U <sub>vid</sub> )	1 W/(m <sup>2</sup> .K)	6 W/(m <sup>2</sup> .K)

Fonte: INMETRO, 2022.

A partir dos levantamentos referentes ao clima, à geometria, às paredes externas, à cobertura, ao entorno e aos vidros e sombra, adotados como parâmetros de entrada e inseridos na interface web, *Natural Comfort*, para a determinação do percentual de horas ocupadas em desconforto térmico por calor (EHF<sub>hot</sub>), considerando as horas de ocupação para toda a edificação, é possível obter a estimativa do percentual de horas ocupadas em conforto térmico (PHOCT), por meio da equação:

$$PHOCT = 100 - EHF_{hot}$$

Onde:  
PHOCT é o percentual de horas ocupadas em conforto térmico (%);  
EHF<sub>hot</sub> é o percentual de horas ocupadas em desconforto térmico por calor (%).

No horário de uso da edificação, na condição real, se a edificação apresentar um valor de PHOCT superior ou igual a 90%, não se faz necessário calcular a carga térmica total anual (CgTT) para a condição real e de referência da edificação. Nesse caso, a classificação da envoltória é A e o percentual de redução da carga térmica total anual entre a edificação real e sua condição de referência é de 100%.

Edificações com PHOCT inferior a 90% devem apresentar projeto do sistema de condicionamento de ar de forma a atender as horas em que a ventilação natural não for

suficiente. Nestes casos, deve-se calcular a carga térmica de refrigeração anual (CgTR) através do método simplificado de edificações condicionadas artificialmente, separando as áreas da edificação por zonas térmicas, para posterior cálculo da carga térmica total anual (CgTT) da condição real para as horas não atendidas de conforto, descontando-se o valor de horas de desconforto por calor em relação às horas de ocupação (FH<sub>desc</sub>).

### 3.4.2 Determinação da carga térmica total anual da edificação

Através da carga térmica total anual (CgTT) da edificação na sua condição real (CgTT<sub>real</sub>) e condição de referência (CgTT<sub>refD</sub>) é avaliado o desempenho térmico da edificação. Na condição de referência, a carga térmica total (CgTT<sub>refD</sub>) deve ser equivalente ao valor da carga térmica de refrigeração anual (CgTR<sub>refD</sub>) da edificação em sua condição de referência. Para a condição real, a carga térmica total anual é calculada a partir do somatório das cargas térmicas de refrigeração anual (CgTR<sub>real</sub> em kWh/ano), considerando todas as zonas térmicas condicionadas artificialmente. Caso seja considerado o aproveitamento da ventilação natural, deve-se computar a fração de horas de desconforto por calor em relação às horas de ocupação (FH<sub>desc</sub>). A carga térmica total anual da edificação real é calculada através da equação:

$$CgTT_{real} = CgTR_{real} \cdot FH_{desc}$$

Onde:  
CgTT<sub>real</sub> é a carga térmica total anual da edificação real (kWh/ano);  
CgTR<sub>real</sub> é a carga térmica de refrigeração anual da edificação real (kWh/ano);  
FH<sub>desc</sub> é a fração de horas de desconforto por calor em relação às horas de ocupação.

### 3.4.3 Determinação do percentual de redução da carga térmica total anual

A determinação do percentual de redução da carga térmica total anual da edificação em suas condições real e de referência para a classificação da envoltória (RedCgTT) deve ser realizada a partir dos valores de carga térmica total anual da edificação em sua condição real (CgTT<sub>real</sub>), e condição de referência (CgTT<sub>refD</sub>), por meio da equação:

$$\text{RedCgTT} = ((\text{CgTT}_{\text{refD}} - \text{CgTT}_{\text{real}}) / \text{CgTT}_{\text{refD}}) \cdot 100$$

Onde:

RedCgTT é o percentual de redução da carga térmica total anual da envoltória (%);

CgTTrefD é a carga térmica total anual da edificação na sua condição de referência (kWh/ano);

CgTTreal é a carga térmica total anual da edificação real (kWh/ano).

### 3.4.4 Classificação de eficiência energética da envoltória

A escala relativa à classificação de eficiência energética da envoltória é baseada no coeficiente de redução da carga térmica total anual da classificação D para a A (CRCgTTD-A), conforme a equação:

$$i = \frac{(\text{CRCgTTD}-\text{A} \cdot 100)}{3}$$

Onde:

i é o valor calculado que representa o intervalo entre as classes, em %;

CRCgTTD-A é o coeficiente de redução de carga térmica total anual da classificação D para a A.

O intervalo dentro do qual a edificação proposta será classificada “i” deve ser dividido em 3 partes; cada parte se refere a um dos intervalos de classificação da escala de eficiência, que varia de A até D. Deve-se comparar o valor do percentual de redução da carga térmica total anual da edificação (RedCgTT) com os limites definidos, identificando a classificação de eficiência energética da envoltória da edificação em questão. Caso a edificação real apresente carga térmica total anual superior à condição de referência, com RedCgTT negativo, sua classificação final será E (Tabela 4).

Tabela 4 – Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética da envoltória.

Classificação de Eficiência	RedCgTT (%)				
	A	B	C	D	E
	RedCgTT > 3i	3i ≥ RedCgTT > 2i	2i ≥ RedCgTT > i	i ≥ RedCgTT > 0%	RedCgTT > 0%

Fonte: INMETRO, 2022.

### 3.5 Pesquisas em edifícios públicos educacionais

A substituição do RTQ-C pela INI-C deu início a produção de pesquisas que buscavam classificar o nível de eficiência energética utilizando o novo método. Rodrigues (2020) analisou a exequibilidade da nova proposta da INI-C, compreendendo o processo como um todo e comparando as alterações do novo método em relação ao anterior. Na avaliação, foi utilizado o método prescritivo do RTQ-C e o método simplificado da INI-C, para avaliar o Edifício do Centro de Atividades Didáticas 1 (CAD 1), da UFMG, que resultou em uma classificação com níveis diferentes entre as avaliações. No método da INI-C, a comparação entre o consumo previsto com o consumo real resultou em um valor superestimado, indicando uma necessidade de aprimoramento nos parâmetros de referência utilizados.

Andrade (2022) aplicou e comparou os métodos de simulação do RTQ-C e da INI-C para classificar uma edificação da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Foram utilizados os programas *Energy Plus* e *SketchUP*, resultando na classificação de nível C, segundo o RTQ-C, e nível C na classificação pelo método da INI-C. Nesta pesquisa, foi observado que os procedimentos de simulação empregados na metodologia da INI-C são mais simples e o resultado é mais preciso, em comparação com o método do RTQ-C.

Silva (2024) utilizou o método simplificado da INI-C para obter uma classificação geral da eficiência energética do prédio do departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), a fim de identificar pontos com potencial de melhoria. Nos resultados, a envoltória foi classificada como nível A, enquanto os sistemas de iluminação e condicionamento de ar obtiveram classificação de nível B, que resultou em um percentual de redução de consumo de energia primária de 35,34%, sendo o edifício classificado, de modo geral, como nível B. Nas melhorias, foram propostas alterações com execução mais fácil no sistema de iluminação e alterações mais onerosas, que exigem um estudo de viabilidade, no sistema de condicionamento de ar.

Pozzobon (2024) avaliou a eficiência energética do edifício da reitoria da UFSCar, utilizando o método prescritivo do RTQ-C e o método simplificado da INI-C, que resultou em uma classificação nível B, na análise pelo RTQ-C, e classificação nível A, na análise pela INI-C. Os resultados obtidos entre os métodos foram compatíveis, sendo a envoltória o único sistema que apresentou classificação diferente entre os métodos, nível C no RTQ-C e nível A na classificação da INI-C. A diferença foi entendida como resultado da limitação em requisitos do método prescritivo do RTQ-C, além da avaliação da INI-C apresentar fatores

mais palpáveis e mais bem ponderados, ao considerar as condições real e de referência. Desta forma, a pesquisa conclui que o uso do novo método resulta em uma análise mais precisa e completa, que considera mais fatores e, em consequência, possibilita uma classificação mais exata.

#### 4 EDIFÍCIOS PÚBLICOS ETIQUETADOS

Desde 2009, dentre as edificações comerciais, de serviços e públicas, até o final do mês de Abril/2024 foram avaliadas 323 edificações sendo emitidas 202 ENCEs de projeto e 121 ENCEs de edificação construída (INMETRO, 2024).

##### 4.1 Anexo da FAUrb da Universidade Federal de Pelotas

O prédio anexo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAUrb), da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), de autoria de professores e técnicos da Universidade, ficará localizado no Campus do Centro de Ciências Sociais, no Centro da cidade de Pelotas-RS. A proposta é de uma edificação Near Zero Energy Building (NZEB), de alta eficiência energética com geração distribuída associada, de fonte renovável, que alcança um balanço anual energético próximo à zero (Figura 1).

Figura 1 – Fachada norte do Anexo FAUrb.

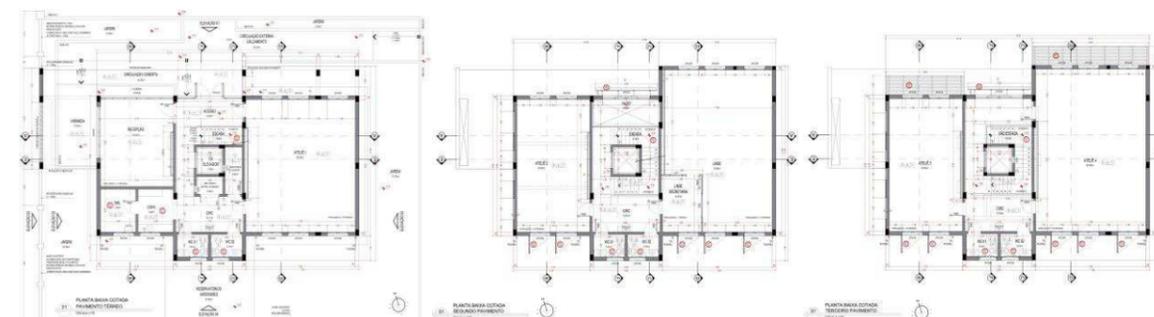


Fonte: UFPel, 2020.

As edificações localizadas na cidade de Pelotas exigem maior desempenho em estratégias opostas ao longo do ano, uma vez que o município é caracterizado por invernos rigorosos, com temperaturas abaixo dos 10°C e verão quente e úmido, com temperaturas acima dos 30°C. No inverno há necessidade de ganhos solares, estanqueidade e isolamento térmico, enquanto o sombreamento e a ventilação natural são as estratégias que predominam no verão. O condicionamento artificial, de calefação ou de refrigeração, é necessário em ambos os períodos (UFPel, 2020).

Com área total de 634,02 m<sup>2</sup>, o projeto da edificação institucional de três pavimentos abrigará salas de aula e o Laboratório de Inspeção de Eficiência Energética em Edificações – LINSE I UFPel (Figura 2). A proposta foi desenvolvida considerando as características da zona bioclimática 2, a qual o município de Pelotas está inserido.

Figura 2 – Planta baixa do térreo, segundo e terceiro pavimento do Anexo FAUrb.



Fonte: UFPel, 2024a.

Considerando o clima subtropical úmido, foram adotadas as seguintes estratégias: (1) dispositivos de sombreamento fixos eficientes durante o verão, que não impedem a iluminação natural e a insolação durante o inverno; e (2) paredes externas duplas com câmara de ar, com espessura final de 25 cm, constituídas por duas camadas de tijolos cerâmicos de seis furos (9x14,5x19 cm) assentados a cutelo, com uma camada entre elas de lã de rocha de 30 mm de espessura para isolamento térmico. Para enfrentar a alta umidade relativa do ar, aproveitou-se ao máximo a ventilação natural. Nas fachadas e aberturas foi priorizada a orientação norte, com instalação de brises horizontais paralelos em ângulo de 45°, enquanto as orientações leste e oeste foram evitadas aberturas. Na fachada Sul, serão instalados brises fixos, de placa cimentícia, horizontais e verticais. Para as vedações externas, será utilizado vidro insulado incolor FS 0,75, laminado 3+3 mm + câmara de ar 9 mm + temperado 5 mm, totalizando 20 mm, sendo as esquadrias compostas

por quadros fixos e móveis tipo maxim-ar. (Figura 3).

Figura 3 – Fachadas do Anexo FAUrb.



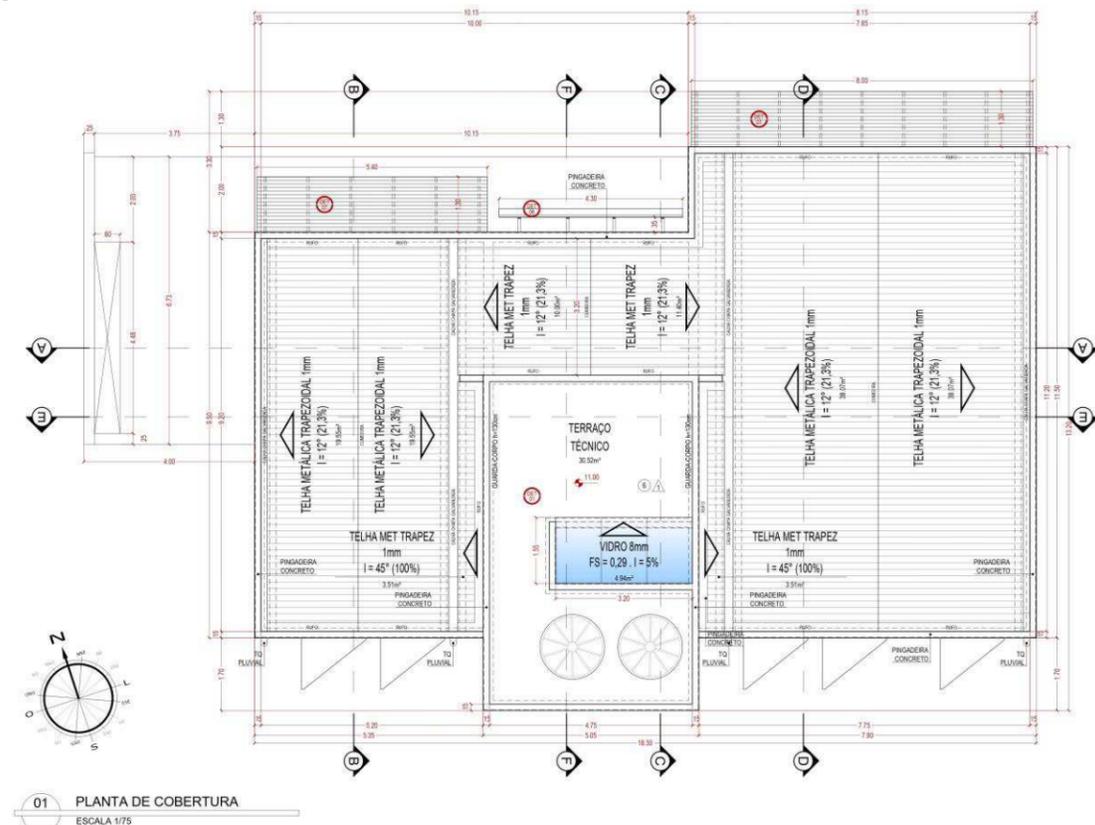
Fonte: UFPel, 2024a.

Na cobertura, segundo o caderno de encargos (2024b), o telhamento da edificação será executado com telha metálica trapezoidal na espessura de 0,5 mm, com a face superior pré-pintada na cor branca. Sobre a laje de cobertura será instalada camada de isolamento térmico com manta de lã de rocha, com 30 mm de espessura. A cobertura da iluminação zenital será executada em vidro laminado refletivo prata 4+4 mm, totalizando 8 mm, com fator solar 0,29, instalado sobre estrutura em alumínio anodizado preto (Figura 4).

Conforme projeto arquitetônico, sobre a laje de cobertura nos trechos sem telhado do terraço técnico será executada uma camada de isolamento térmico constituída por manta de lã de rocha, com 30 mm de espessura, e câmara de ar de 25 cm de espessura. Esta camada de ar será delimitada por placas pré-moldadas de concreto armado, 60 x 60 cm, com 10 cm de espessura, apoiadas em suportes de alvenaria de tijolo maciço (Figura 5).

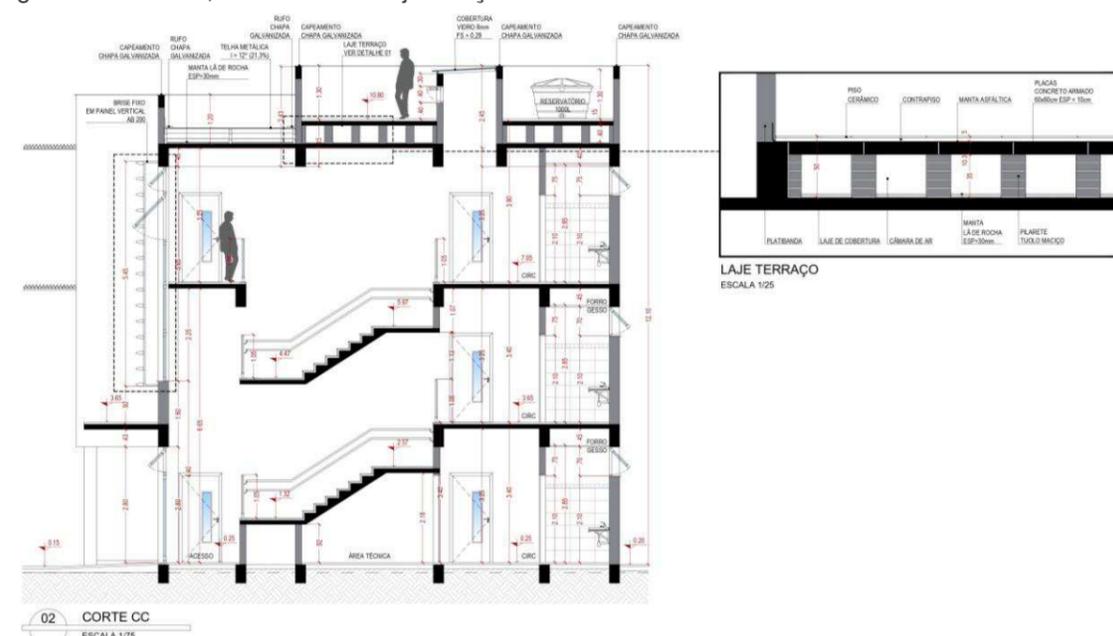
Em suma, a edificação adota uma correta orientação solar na implantação, buscando a incidência do sol no inverno, o uso de dispositivos de sombreamento para proteção solar e o emprego de amplas aberturas, nas fachadas norte e sul, essencial ao conforto visual e térmico, permitem a ventilação cruzada e dinâmica. O uso de componentes de paredes, coberturas e aberturas com baixa transmitância térmica mantêm internamente o calor no inverno e quando necessária refrigeração, mantêm o calor do lado de fora (UFPel, 2020).

Figura 4 – Planta de cobertura.



Fonte: UFPel, 2024a.

Figura 5 – Corte CC, com detalhe da laje terraço técnico.

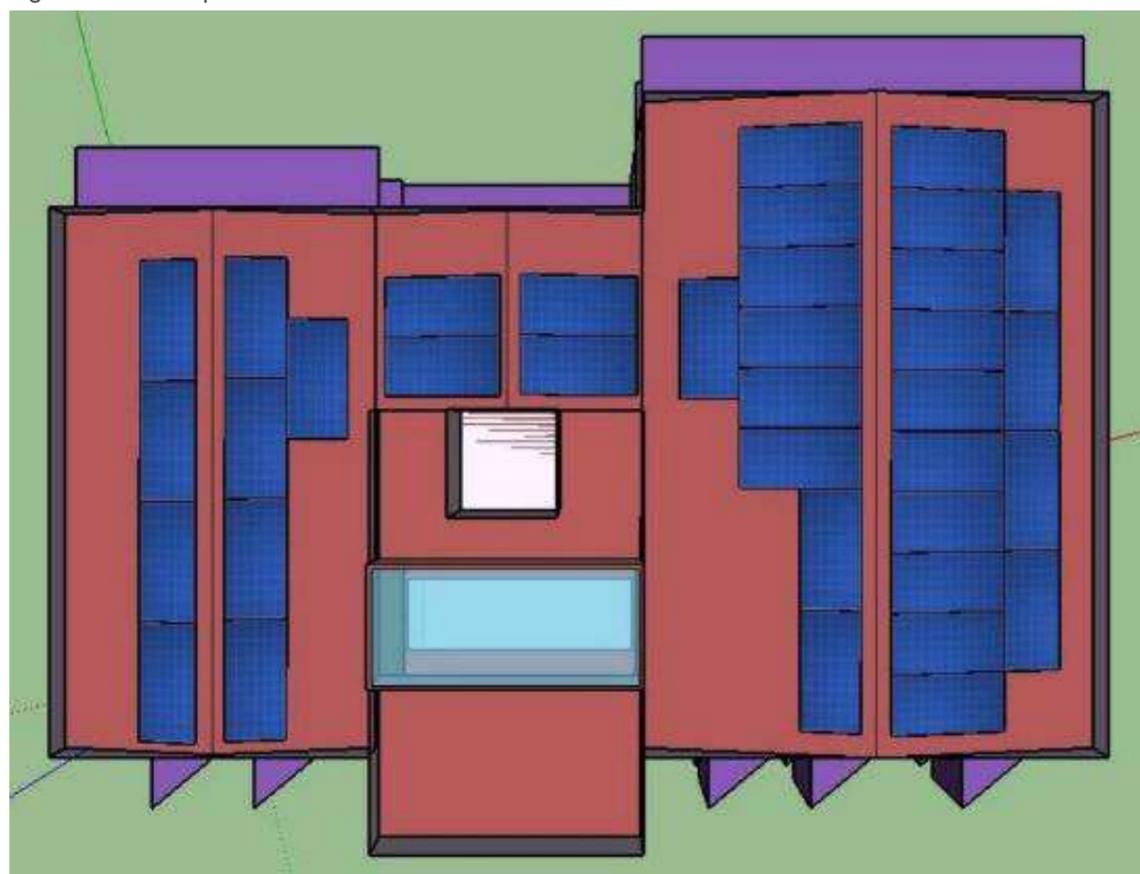


Fonte: UFPel, 2024a.

No projeto luminotécnico, foram utilizadas lâmpadas com eficiência luminosa de mais de 100 lumens/W e luminárias eficientes, associadas a acionamentos independentes. Para o condicionamento de ar, serão utilizados aparelhos do tipo Split, de classe A de eficiência energética.

A edificação conta com um projeto de geração distribuída fotovoltaica que gera mais de 20.000 kWh/ano, composto de 36 módulos fotovoltaicos de 405 Wp distribuídos nas 6 águas da cobertura do edifício em dois sistemas (noroeste e sudeste), com potência instalada total de 14,58 kWp (Figura 6).

Figura 6 – Vista superior da cobertura com módulos fotovoltaicos.

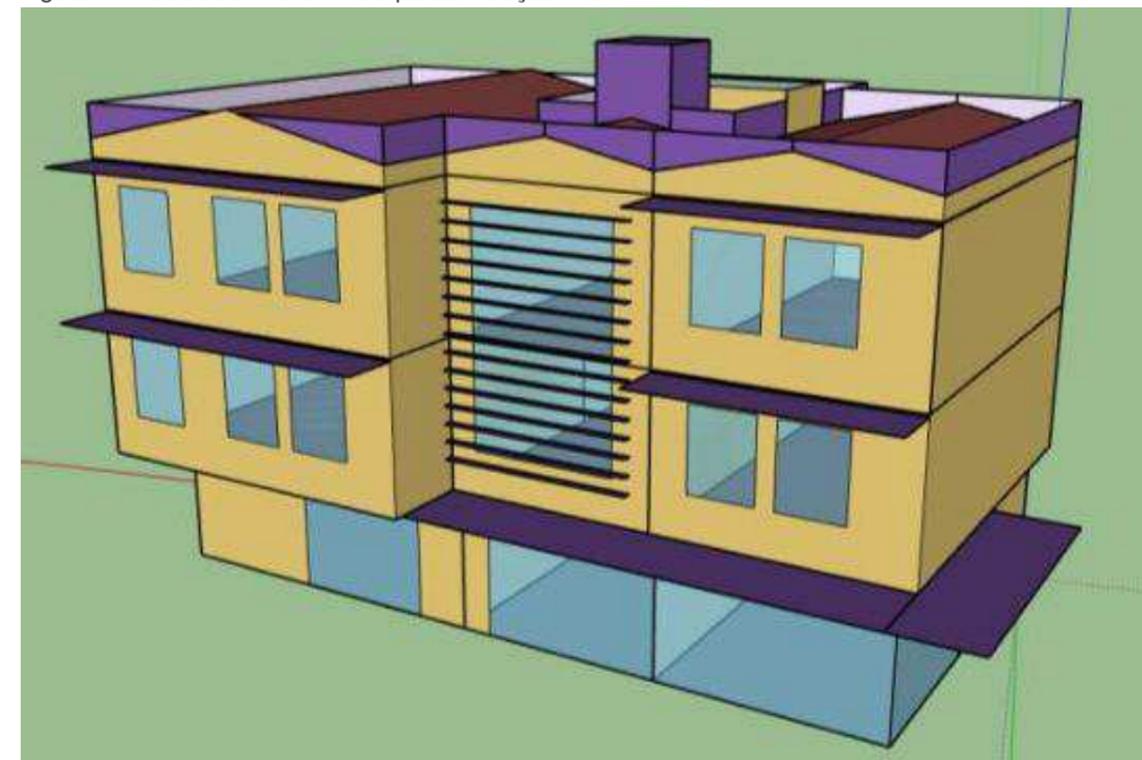


Fonte: UFPel, 2020.

Em 2012, a edificação institucional, foi avaliada pelo método prescritivo do RTQ-C, e obteve a etiqueta de nível A para os três sistemas (envoltória, iluminação e condicionamento de ar). Em 2014, o anexo FAUrb foi um dos primeiros projetos do Brasil a receber o Selo Procel de Projeto. Em 2020, o projeto recebeu pequenas alterações para se adaptar às normas em vigor e necessidades atuais (Pouey *et al.*, 2020).

Na avaliação da INI-C, o percentual de abertura zenital (PAZ) superior a 2% impossibilitou o uso do método simplificado, por estar acima do máximo permitido para aplicação. Desta forma, o projeto, com PAZ de 4,57%, foi avaliado pelo método de simulação, utilizando o *Software EnergyPlus*, versão 8.7.0, com auxílio do *Plug-in Euclid 0.9.3* para modelagem da geometria no *Software SketchUp* (Figura 7).

Figura 7 – Modelo do Anexo FAUrb para simulação.



Fonte: UFPel, 2020.

Nos resultados da avaliação, os valores de consumo de energia primária obtidos atestam que o projeto é 25% mais eficiente que o limite para ser considerado classe A, sem considerar a geração de energia fotovoltaica. Quando considerada a geração de energia proporcionada pelo sistema composto pelos 36 módulos fotovoltaicos, o consumo de energia primária é negativo, ou seja, a geração local de energia renovável será superior ao consumo energético do edifício (Pouey *et al.*, 2020).

Deste modo, o projeto do Anexo FAUrb comprova que a adoção de soluções simples, como a definição dos componentes em função de suas propriedades térmicas, o uso de sistemas eficientes, o correto isolamento de paredes e coberturas, proteções solares e iluminação natural, são suficientes para obter um edifício energeticamente eficiente.

## 4.2 Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina

O edifício do Departamento de Engenharia Civil (Figura 8) do Centro Tecnológico (CTC) da UFSC, campus Trindade, localizado na cidade de Florianópolis-SC (Latitude: 27° 35' 49" Sul, Longitude: 48° 32' 58" Oeste), é constituído por cinco pavimentos, com área total de 8.844,61 m<sup>2</sup>, destinados a laboratórios, salas de aula, sala de professores e setor administrativo.

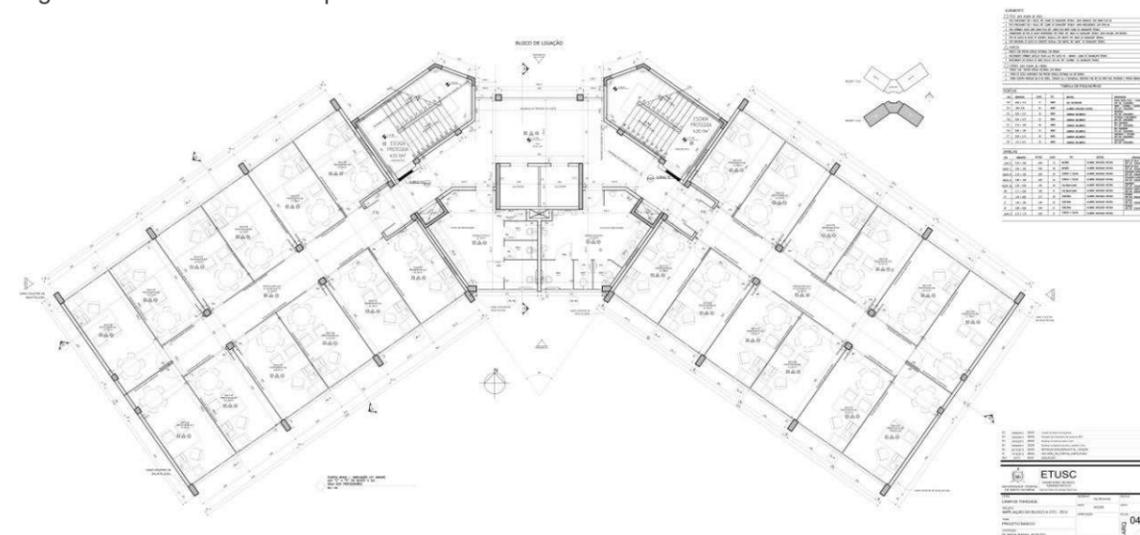
Figura 8 – Departamento de Engenharia Civil da UFSC.



Fonte: Galeria UFSC, 2018.

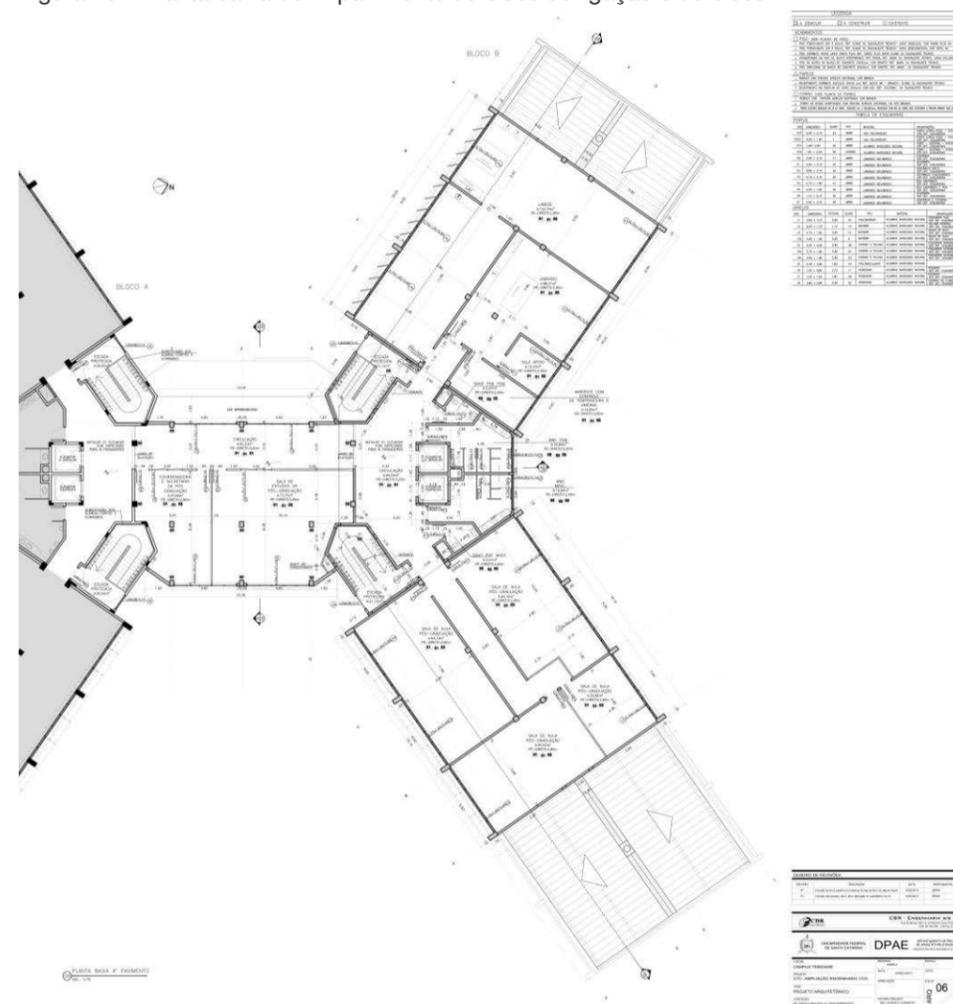
Para sua configuração atual, foi realizada uma ampliação dos blocos A e B, que consistiu na construção do 4º e 5º pavimentos, e construído um bloco de ligação entre os dois prédios existentes, composto por térreo, mezanino, 2º, 3º, 4º e 5º pavimentos (Figuras 9 e 10). Com área construída de 4.301,29 m<sup>2</sup>, o projeto foi elaborado, em 2013, pelo Departamento de Projetos de Arquitetura e Engenharia (DPAE), e a obra teve início em 2015 e término no ano seguinte.

Figura 9 – Planta baixa do 4º pavimento do bloco A.



Fonte: UFSC, 2013.

Figura 10 – Planta baixa do 4º pavimento do bloco de ligação e do bloco B.

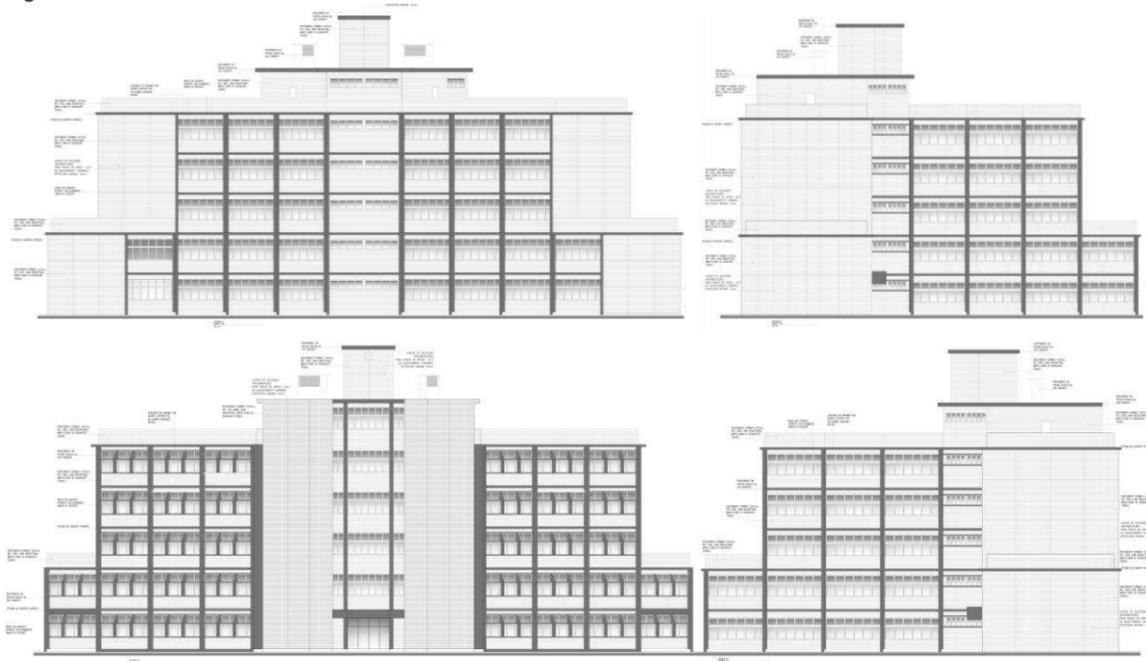


Fonte: UFSC, 2013.

A cidade de Florianópolis, inserida na zona bioclimática 3, possui verão quente e úmido e inverno ameno, com chuvas bem distribuídas durante todo o ano. Para o melhor desempenho das edificações, recomenda-se a ventilação cruzada no verão, priorizando a ventilação natural na implantação do edifício. Por não possuir invernos rigorosos, é recomendado que as paredes externas sejam leves, com baixa inércia térmica, e refletoras à radiação solar. As aberturas devem ser médias e sombreadas, mas que permitam sol durante o inverno (ABNT, 2005).

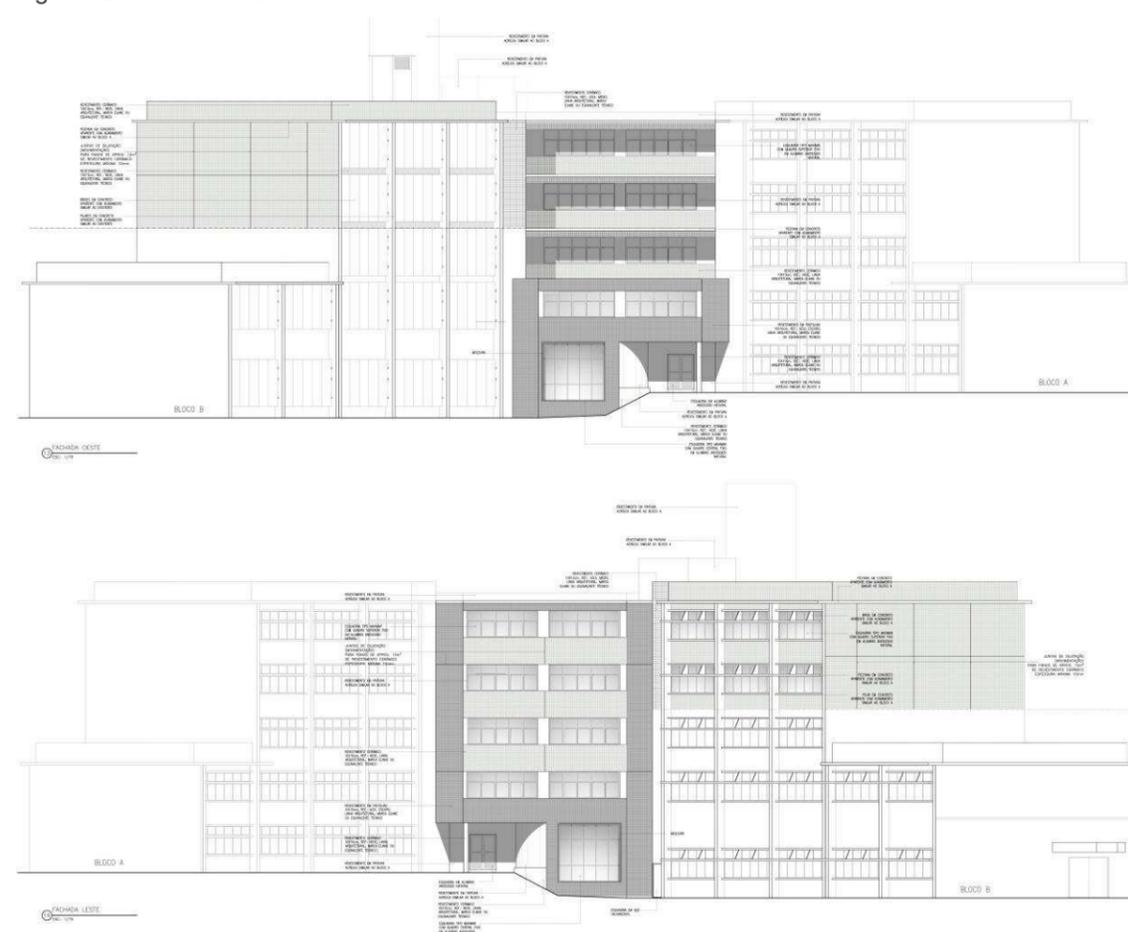
Na ampliação do departamento de Engenharia Civil, foram projetadas aberturas nas fachadas com dispositivos de sombreamento fixos, que reduzem a incidência direta da radiação solar. As janelas da fachada são do tipo maxim-ar com quadro superior fixo, exceto na parte central dos blocos, compostas por as janelas de correr, com 4 folhas (Figura 11). Os vidros das esquadrias são comuns e incolor, com 4 mm de espessura nas janelas e 6 mm de espessura nas portas. As paredes externas são de alvenaria de tijolo cerâmico furado (14 cm), com espessura final de 20 cm. A implantação, por possuir diferentes orientações das fachadas, aproveita melhor os ventos predominantes e reduz a exposição da incidência solar nas fachadas leste e oeste (Figura 12), que são as mais expostas aos raios solares. As fachadas externas são de cores claras, a fim de que haja menor ganho de calor e, conseqüentemente, pouca absorção de radiação solar.

Figura 11 – Fachadas do bloco A.



Fonte: UFSC, 2013.

Figura 12 – Fachadas Leste e Oeste.

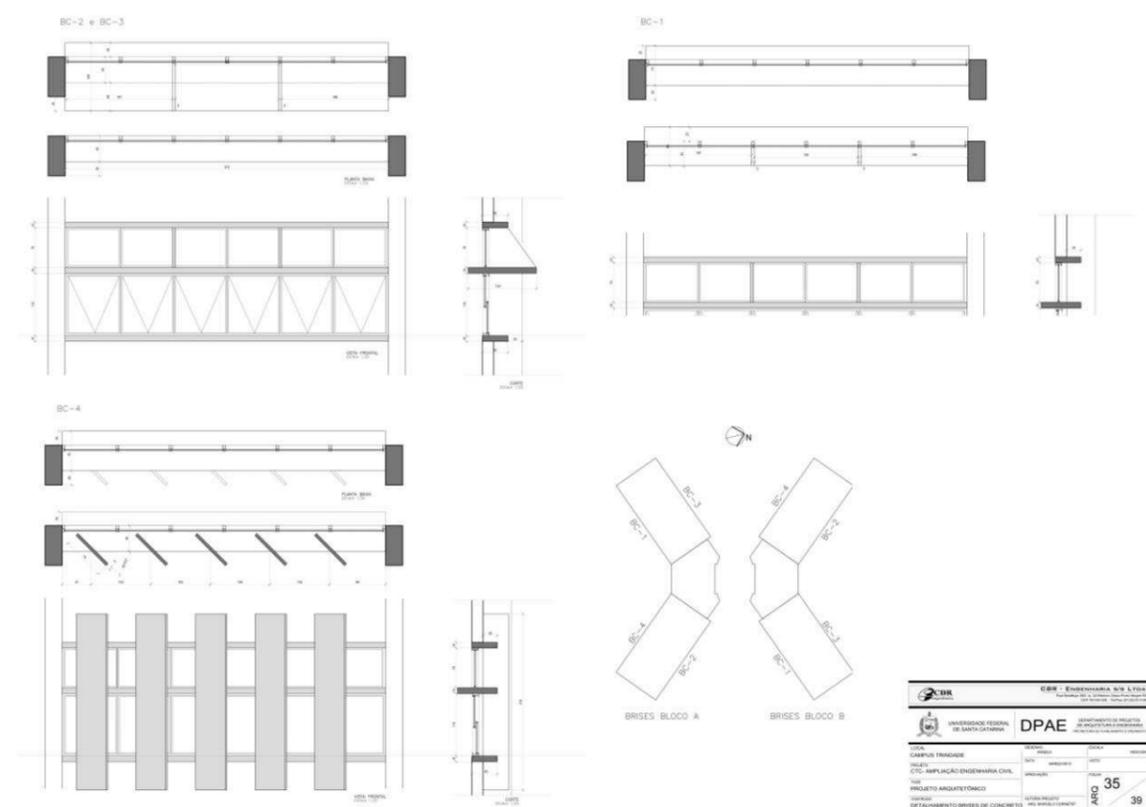


Fonte: UFSC, 2013.

Os dispositivos de sombreamento fixo são placas cimentícias, com espessura de 8 mm, divididas em 4 tipos: BC – 1: brises horizontais, instalados nas fachadas sudeste; BC – 2 e BC – 3: brises horizontais, intercalados por brises verticais, com formato trapezoidal, a cada 1,87 m; BC – 4: brises verticais, instalados a 45° nas fachadas sudoeste (Figura 13). Os tipos de brises de concreto utilizados foram definidos para alcançar o melhor desempenho energético, impedindo a entrada de raios solares no período desejado.

A cobertura do bloco B é composta por estrutura metálica com telha trapezoidal em aço zincado, pré-pintada na cor branca, com espessura de 5 mm. Enquanto a laje é impermeabilizada nos blocos de ligação e A. No projeto luminotécnico foi seguido a regulamentação proposta pelo RTQ-C, para garantir o melhor desempenho energético. O sistema de climatização foi projetado para fornecer condições térmicas adequadas durante 99,6% dos dias do ano. O controle de temperatura é feito por unidades splits e a renovação do ar através de um sistema de insuflamento por gabinetes de ventilação.

Figura 13 – Detalhamento de brises de concreto.



Fonte: UFSC, 2013.

A envoltória do edifício, analisada pelo método prescritivo do RTQ-C, obteve o selo nível A, sendo este resultado referente aos três pavimentos existentes dos blocos A e B. O projeto de ampliação, referente ao bloco de ligação e ao 4º e 5º pavimentos dos blocos A e B, ao adotar estratégias bioclimáticas, atingiu o nível A nos três sistemas – envoltória, iluminação e condicionamento de ar.

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 Caracterização do estudo

O trabalho propôs a realização de um estudo de caso, do tipo exploratório-descritivo, com dados de natureza quantitativa e qualitativa, adotando como estratégia de coleta de dados o levantamento das características da envoltória do bloco CW. Para avaliação do desempenho energético da envoltória, foi utilizado o método simplificado da INI-C.

### 5.2 Levantamento de dados

O levantamento de dados foi proveniente de: (1) estudo anterior de Sousa *et. al.* (2022), que dispõe de planta baixa, cortes e fachadas; (2) visitas in loco, para registros fotográficos e observações técnicas; e (3) vídeos, registros fotográficos e projetos disponibilizados pela coordenação do curso de Arquitetura e Urbanismo e pela Prefeitura Universitária.

### 5.3 Determinação da eficiência energética da envoltória

O bloco CW, que funciona a partir da combinação entre a ventilação natural e unidades condicionadoras de ar – ventilação híbrida, teve a envoltória avaliada pelos dois métodos: para edificações com ventilação híbrida e para edificações condicionadas artificialmente. A avaliação, realizada através do método simplificado, é baseada em metamodelos de análise que utilizam redes neurais artificiais.

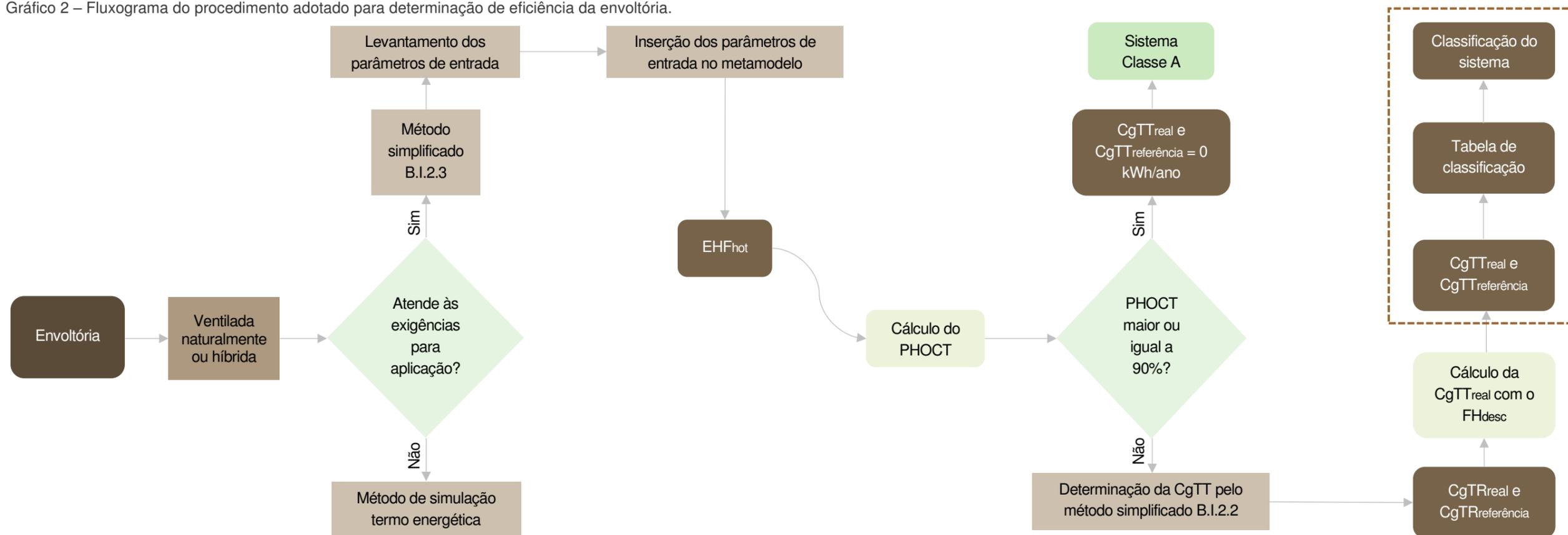
#### 5.3.1 Avaliação pelo método simplificado de ventilação híbrida

A princípio, para análise da envoltória foi verificado se o edifício atendia às exigências de aplicação do método para edificações híbridas, que consistem: na tipologia escolar ou de escritório, com horários de ocupação condizentes com a tipologia; de geometria retangular, com altura inferior a 16 m; com aberturas de ventilação em todas as áreas de permanência prolongada; e resultados dentro dos limites dos parâmetros de avaliação, apresentados anteriormente na Tabela 3.

Após verificados os quesitos de aplicação, foi realizado o levantamento dos parâmetros de entrada em relação: ao clima, à geometria, às paredes externas, à cobertura, aos vidros e sombra e ao entorno, sendo cada parâmetro calculado para a edificação como um todo, sem divisão por zona térmica. Os resultados do levantamento foram inseridos no metamodelo, da interface web *Natural Comfort*, que resultaram na obtenção dos valores do percentual de horas em desconforto térmico ( $E_{HF_{hot}}$ ) e da fração de horas excedentes por calor ( $F_{H_{desc}}$ ). Posteriormente, foi feito o cálculo do percentual de horas ocupadas em conforto térmico (PHOCT).

A determinação da carga térmica de refrigeração da edificação real ( $C_{gTR_{real}}$ ) e de referência ( $C_{gTR_{referência}}$ ) foi determinado de acordo com o método simplificado para edificações condicionadas artificialmente. Em seguida, o valor do  $C_{gTR_{real}}$  foi multiplicado pelo valor do  $F_{H_{desc}}$  para obtenção do valor da carga térmica total real anual ( $C_{gTT_{real}}$ ). Os valores da  $C_{gTT_{real}}$  e da  $C_{gTT_{referência}}$  foram utilizados na classificação de eficiência energética da envoltória do edifício (Gráfico 2).

Gráfico 2 – Fluxograma do procedimento adotado para determinação de eficiência da envoltória.



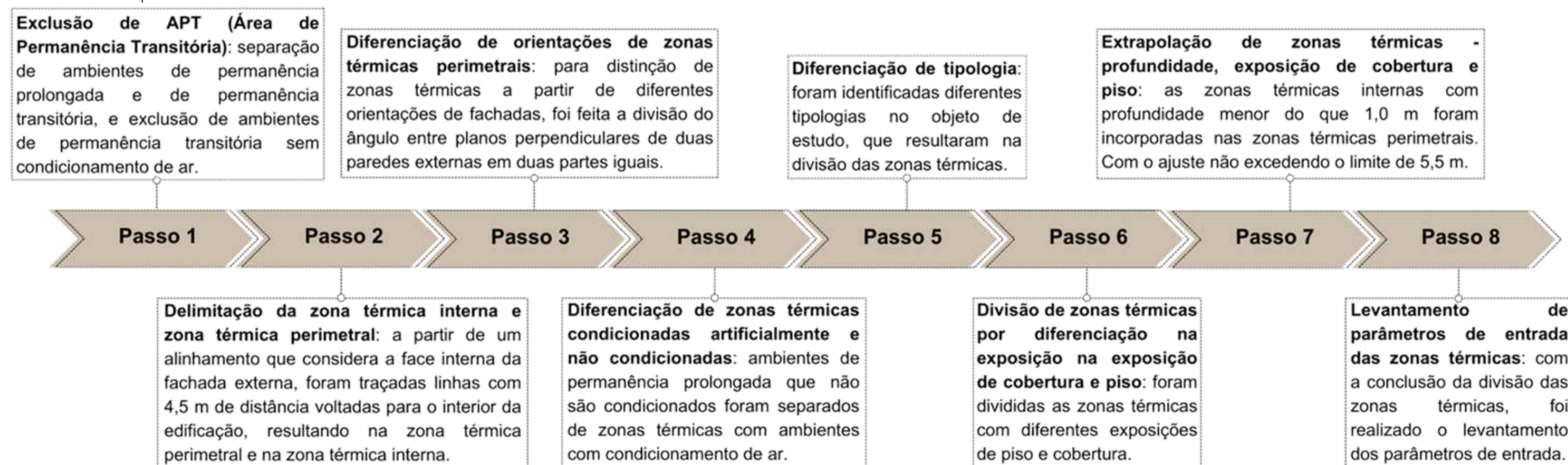
Fonte: LabEEE, 2023, adaptado pela autora.

### 5.3.2 Avaliação pelo método simplificado de condicionamento artificial

Para avaliar a parcela condicionada artificialmente da edificação através do método simplificado e obter o  $C_{gTT_{real}}$  e o  $C_{gTT_{referência}}$ , foi seguido o fluxo de trabalho, que consistiu em: 1) Divisão das zonas térmicas; 2) Conferência das condições de aplicabilidade do método simplificado; 3) Levantamento dos parâmetros de entrada; 4) Obtenção da carga térmica total e do percentual de redução e 5) Classificação a envoltória.

Para iniciar a análise, houve separação das zonas térmicas da edificação, seguindo o passo a passo apresentado no Gráfico 3. Em seguida, foram verificados se os parâmetros estavam dentro dos limites de aplicação apresentados anteriormente na Tabela 2, para isso foi realizado um levantamento amostral, com a finalidade de conferir o atendimento dos limites de aplicação para as zonas térmicas, conforme indicado no RAC, da Portaria nº 309/2022. Desta forma, conferiu-se os dados considerando três zonas térmicas perimetrais com orientações diferentes.

Gráfico 3 – Passo a passo da divisão de zonas térmicas.



Fonte: Autoria própria.

Foram definidos os parâmetros de entrada relacionados ao clima, à geometria, às paredes externas, à cobertura, aos vidros e ao sombreamento, aos ganhos de calor interno e externos, para serem inseridos no metamodelo de cálculo, da interface web desenvolvida pelo PBE Edifica, para a edificação real. Para a condição de referência, não é necessário inserir dados na interface, o resultado é calculado automaticamente. Deste modo, com a inserção dos dados referentes à edificação real, foi obtido o valor da carga térmica de refrigeração para a edificação real e a edificação de referência.

Com a obtenção do valor da  $CgTR$ , foi calculada a carga térmica total anual da edificação ( $CgTT$ ) real e de referência, e o percentual de redução da carga térmica total anual da envoltória ( $RedCgTT$ ).

Para a classificação da envoltória, foi encontrado o coeficiente de redução da carga térmica total anual da classificação D para a A ( $CRCgTT_{D-A}$ ) e o intervalo entre as classes. A partir destes resultados, foi possível obter a classificação da envoltória do bloco CW, por meio da comparação entre o percentual de redução de energia primária da edificação real e os intervalos calculados.

#### 5.4 Análise dos resultados

Na etapa final, os resultados foram analisados, buscando compreender a classificação da envoltória, através da verificação da influência da ventilação natural no condicionamento do bloco CW; da comparação dos parâmetros na condição real e de referência; e de teste simulando outra condição para análise da possível influência na classificação.

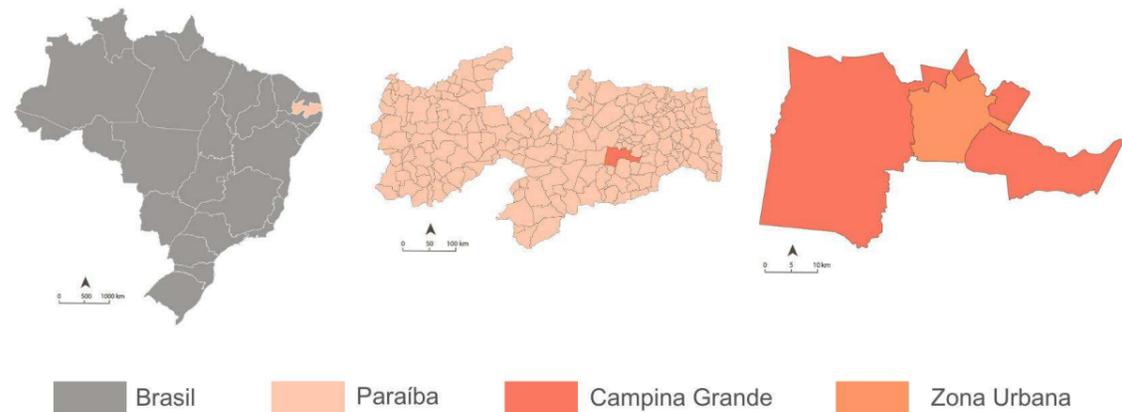
O método simplificado da INI-C foi avaliado no final, relatando pontos positivos e negativos na aplicação do método.

## 6 CONTEXTO E CAMPO DA PESQUISA

### 6.1 Características climáticas da cidade de Campina Grande - PB

A cidade de Campina Grande está localizada na mesorregião do agreste paraibano, inserida na Região Tropical, com coordenadas geográficas de aproximadamente 7° 13' 32" Sul de latitude e 35° 54' 15" Oeste de longitude e altitude média de 550 metros (Figura 14).

Figura 14 – Localização da cidade de Campina Grande - PB.

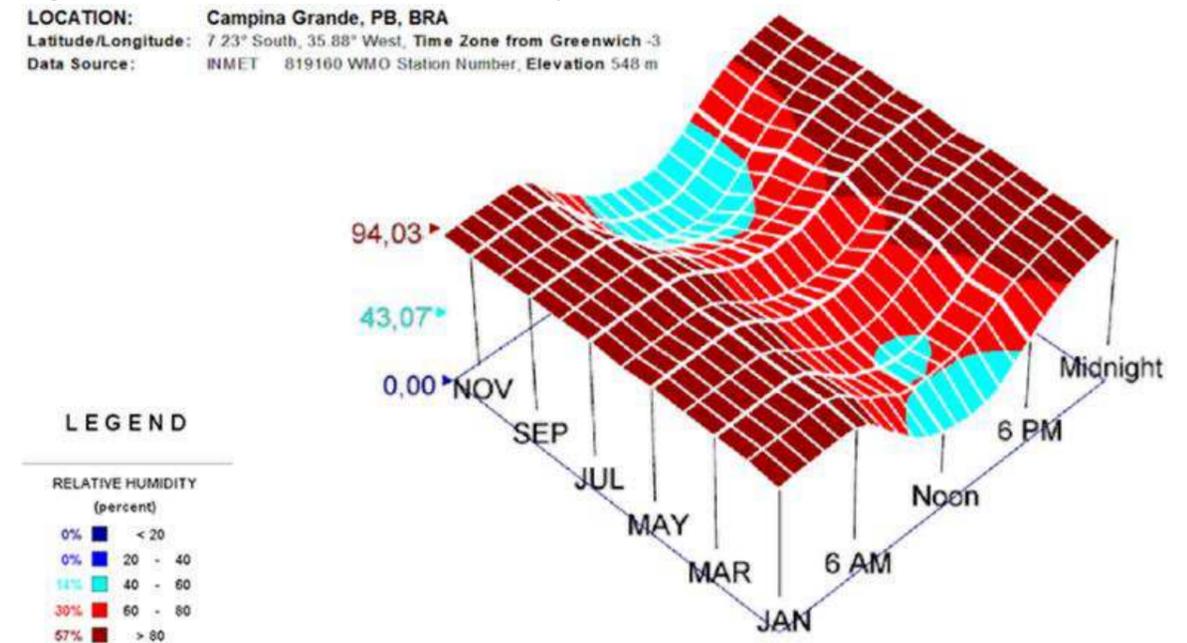


Fonte: Autoria própria.

Segundo a classificação de Köppen, o clima de Campina Grande é classificado como do tipo As', quente e úmido, com chuvas de outono a inverno. A significativa quantidade de precipitação na região é influenciada tanto por fatores locais quanto pela interferência de sistemas de meso e macro escala que penetram na área. A cidade se encontra no regime de precipitação do setor Leste do Estado, com chuvas de pré-estação em março e período chuvoso iniciando em abril, sendo os meses de maio, junho e julho os mais chuvosos.

A umidade relativa é bastante uniforme em toda a região, com médias em torno de 80%. Mensalmente, existe uma queda da umidade no horário da manhã e da tarde, entretanto, essa queda é menor nos meses de inverno, caracterizado por um período de chuvas, sendo assim, menos seco. O período seco é mais acentuado no trimestre da primavera, de setembro a dezembro, sendo novembro o mês mais seco. Entretanto, entre março e abril começa uma estação mais chuvosa, que tem término em agosto (Figura 15).

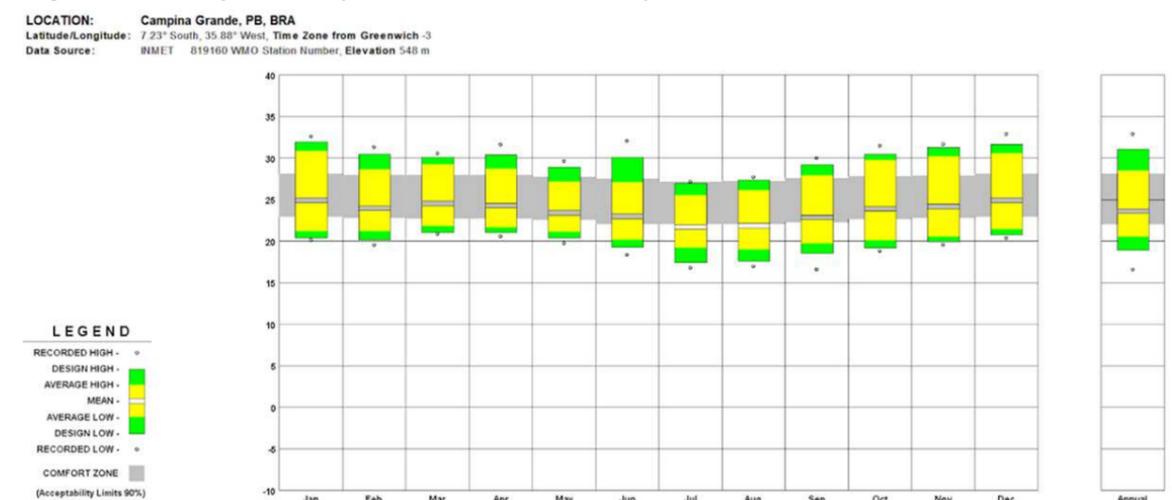
Figura 15 – Umidade relativa da cidade de Campina Grande-PB.



Fonte: Climate Consultant 6.0, adaptado pela autora.

Considerando a temperatura, a cidade apresenta uma amplitude térmica mensal que varia cerca de 10°C, enquanto anualmente esta variação está entre 17°C e 33°C. Predomina durante o ano temperaturas dentro da zona de conforto, havendo exceções, principalmente, no verão e no inverno, quando atinge temperaturas mais elevadas e mais baixas, respectivamente (Figura 16).

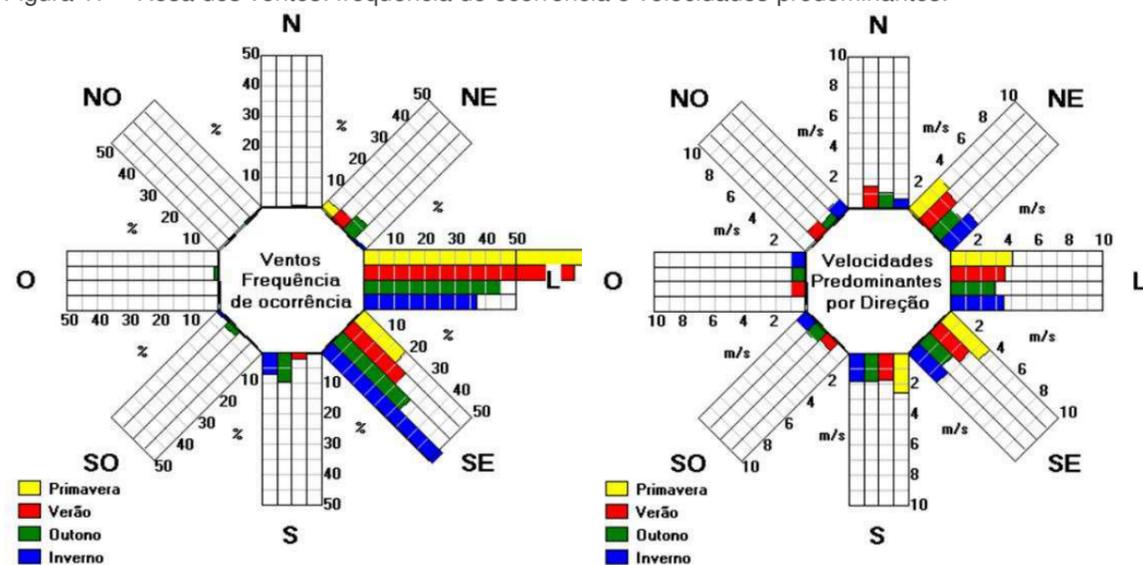
Figura 16 – Variação de temperatura da cidade de Campina Grande - PB.



Fonte: Climate Consultant 6.0, adaptado pela autora.

A velocidade média anual dos ventos é de 3,5 metros por segundo (m/s), sendo predominante os ventos de leste e sudeste, com poucos ventos de sul e nordeste. Ao analisar as quatro estações, percebe-se uma frequência maior dos ventos de leste na primavera e no verão, enquanto no inverno é mais frequente a ocorrência de ventos de sudeste. Os ventos de sul e nordeste ocorrem com mais frequência no outono (Figura 17).

Figura 17 – Rosa dos ventos: frequência de ocorrência e velocidades predominantes.



Fonte: Analysis Sol-Ar 6.2, adaptado pela autora.

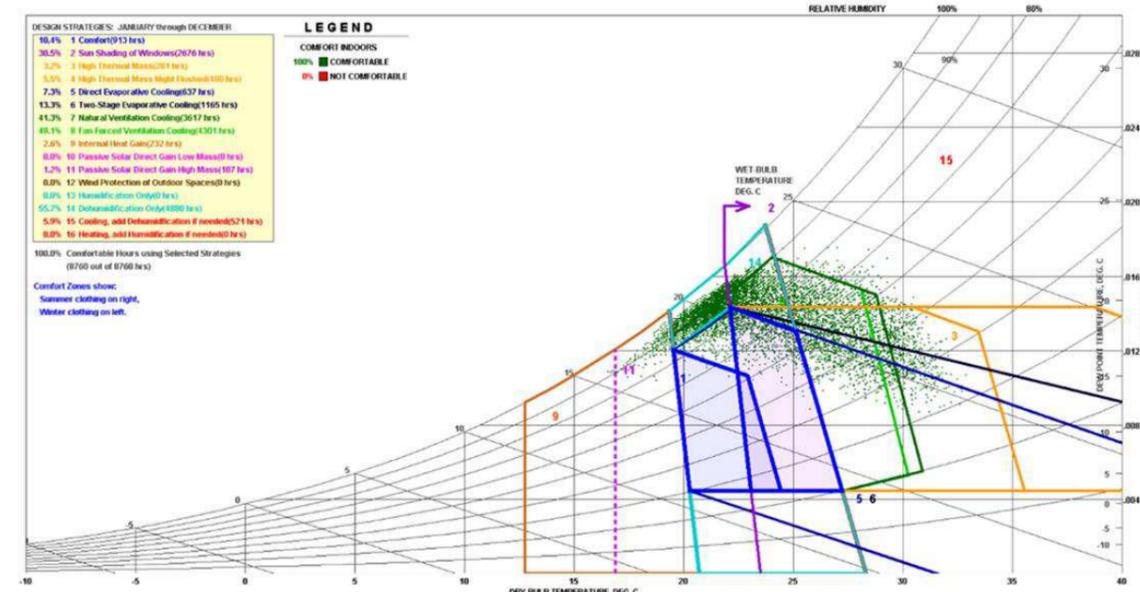
## 6.2 Diretrizes construtivas e estratégias bioclimáticas

De acordo com a NBR 15220-3:2005, que trata do desempenho térmico de edificações, em específico do zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes para habitações unifamiliares de interesse social, a cidade de Campina Grande pertence a zona bioclimática 8 (clima quente e úmido). Segundo os dados da plataforma Projeteee, a cidade possui 6% das horas do ano em desconforto por frio, 39% do ano em conforto térmico e 55% do ano em desconforto por calor.

Na carta psicrométrica, que mostra os dados relativos à temperatura de bulbo seco, umidade relativa e razão de umidade, apenas 10.4% do ano está na zona de conforto. As estratégias passivas, que fazem uso da arquitetura e de estudos de conforto ambiental, como sombreamento de aberturas, inércia térmica e ventilação natural, são responsáveis por 53,6% das horas de conforto. A combinação de estratégias passivas com ativas resulta

em 100% de horas de conforto (Figura 18).

Figura 18 – Carta psicrométrica anual da cidade de Campina Grande - PB.



Fonte: Climate Consultant 6.0, adaptado pela autora.

Nas diretrizes construtivas, recomendadas pela NBR 15220-3:2005, as aberturas de ventilação devem ser grandes e sombreadas, enquanto as vedações externas, parede e cobertura, devem ser leves refletoras. Entretanto, ao contrário da recomendação, adotar uma elevada inércia térmica é benéfico para edificações em Campina Grande, pois as temperaturas diurnas não são extremas e há o esfriamento no período noturno. Como estratégia de condicionamento térmico passivo para o verão, a norma recomenda ventilação cruzada permanente, contudo para esta zona bioclimática o condicionamento passivo é insuficiente durante as horas mais quentes.

## 6.3 Contexto histórico do campus sede da UFCG

O campus sede da atual Universidade Federal de Campina Grande foi uma das primeiras construções de ensino superior na Paraíba, originada na década de 1950, com a construção da Escola Politécnica de Campina Grande (1952) e da Faculdade de Ciências Econômicas (1955). Em 02 de dezembro de 1955, foi sancionada a Lei Estadual nº 1.366 que criou a Universidade da Paraíba, constituída por nove instituições de ensino superior, dentre elas as duas instituições localizadas na cidade de Campina Grande.

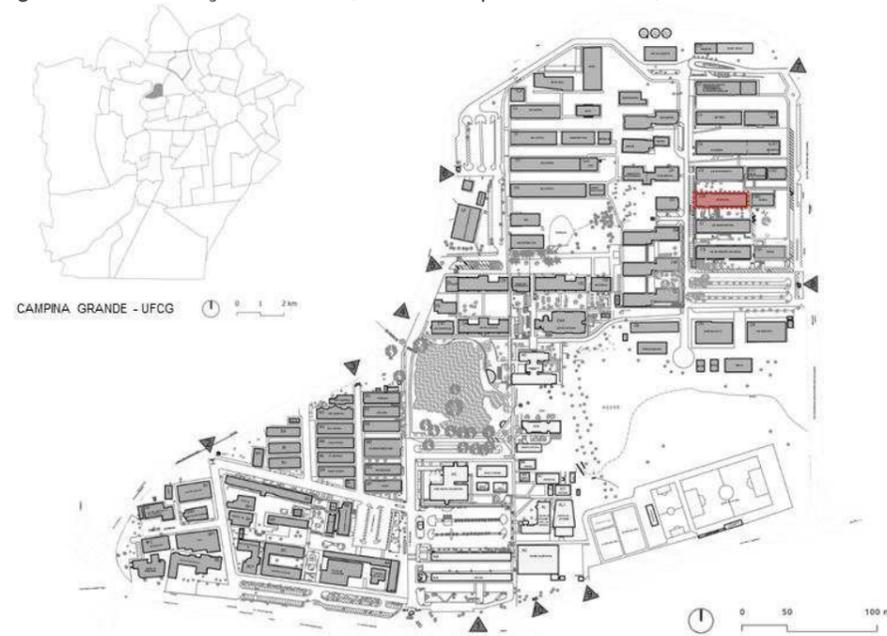
Em 13 de dezembro de 1960, a instituição é denominada Universidade Federal da Paraíba - UFPB, a partir da Lei nº 3.835, que federaliza a Universidade da Paraíba. Funcionando com uma estrutura multicampi, localizada nas cidades de João Pessoa - sede, Areia, Bananeiras, Cajazeiras, Campina Grande, Patos e Sousa.

Em 09 de abril de 2002, a Lei nº 10.419 dispõe sobre a criação da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, a partir do desmembramento da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, com sede na cidade de Campina Grande. O campus sede, antigo campus II da UFPB, era constituído pelos centros: Centro de Humanidades (CH), Centro de Ciências Biológicas e da Saúde (CCBS) e Centro de Ciências e Tecnologia (CCT). Após a criação da UFCG, o CCT deu origem a dois novos centros: o Centro de Engenharia Elétrica e Informática (CEEI) e o Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN).

#### 6.4 A construção do Bloco CW

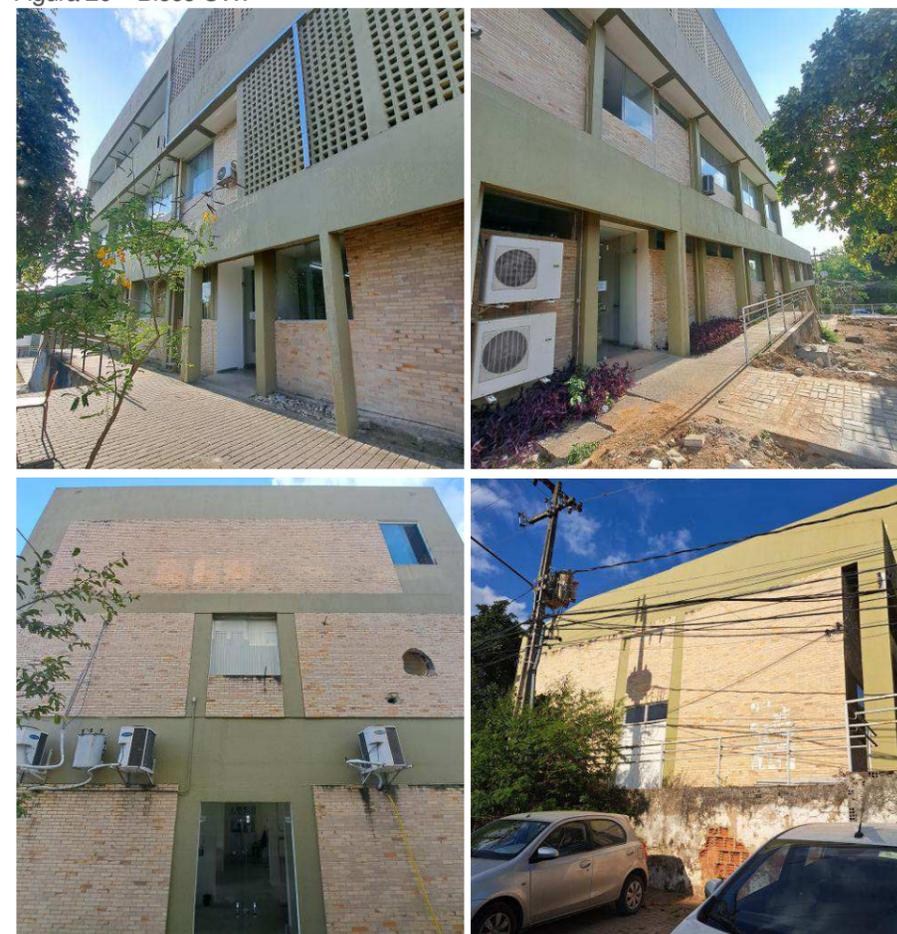
Construído por volta da década de 1970, para atender as demandas do curso de graduação em Engenharia Civil do então campus II da Universidade Federal da Paraíba, o Bloco CW está localizado no setor C do atual campus I da Universidade Federal de Campina Grande (Figuras 19 e 20).

Figura 19 – Localização da UFCG, com destaque do Bloco CW, em vermelho.



UFCG – BLOCO CW  
Fonte: Autoria própria.

Figura 20 – Bloco CW.



Fonte: Autoria própria.

Nas décadas de 1960 e 1970, o arquiteto pernambucano Tertuliano Dionísio foi responsável por diversos projetos públicos na Paraíba, sobretudo no atual campus sede da UFCG, com autoria nos projetos da Biblioteca Central, de edifícios administrativos e de laboratórios do Setor C, além da construção original do Bloco CW (FREIRE, 2010 e PEREIRA, 2019). A construção do térreo estava alinhada aos preceitos da arquitetura moderna, abundantemente difundida na época, em conformidade com o projeto padrão replicado em outros edifícios do mesmo setor da universidade.

Com a criação do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo e a demanda por um espaço físico para o desenvolvimento das atividades, o bloco recebeu, entre 2009 e 2012, dois projetos de ampliação. O arquiteto e professor Adjalmir Rocha foi responsável pela elaboração do segundo pavimento, enquanto o terceiro pavimento é de autoria do arquiteto e professor Marcus Vinicius, com a colaboração da arquiteta e professora Miriam Panet e do então discente João Batista (Figura 21).

Figura 21 – Planta baixa dos pavimentos 1, 2 e 3.



Fonte: Sousa *et. al*, 2022, adaptado pela autora.

### 6.4.1 Características projetuais

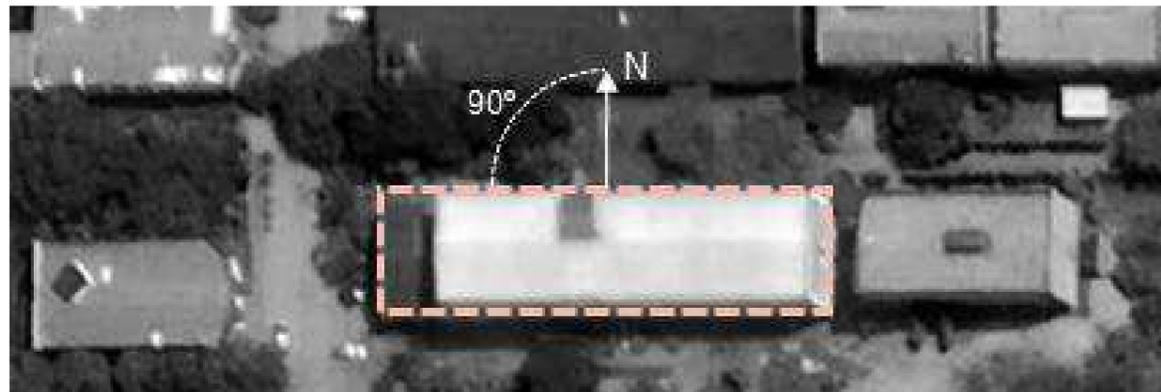
A volumetria é de um prisma de base retangular, onde as fachadas com maior extensão encontram-se perpendiculares a norte e sul (Figuras 22 e 23).

Figura 22 – Volumetria do Bloco CW.



Fonte: Autoria própria.

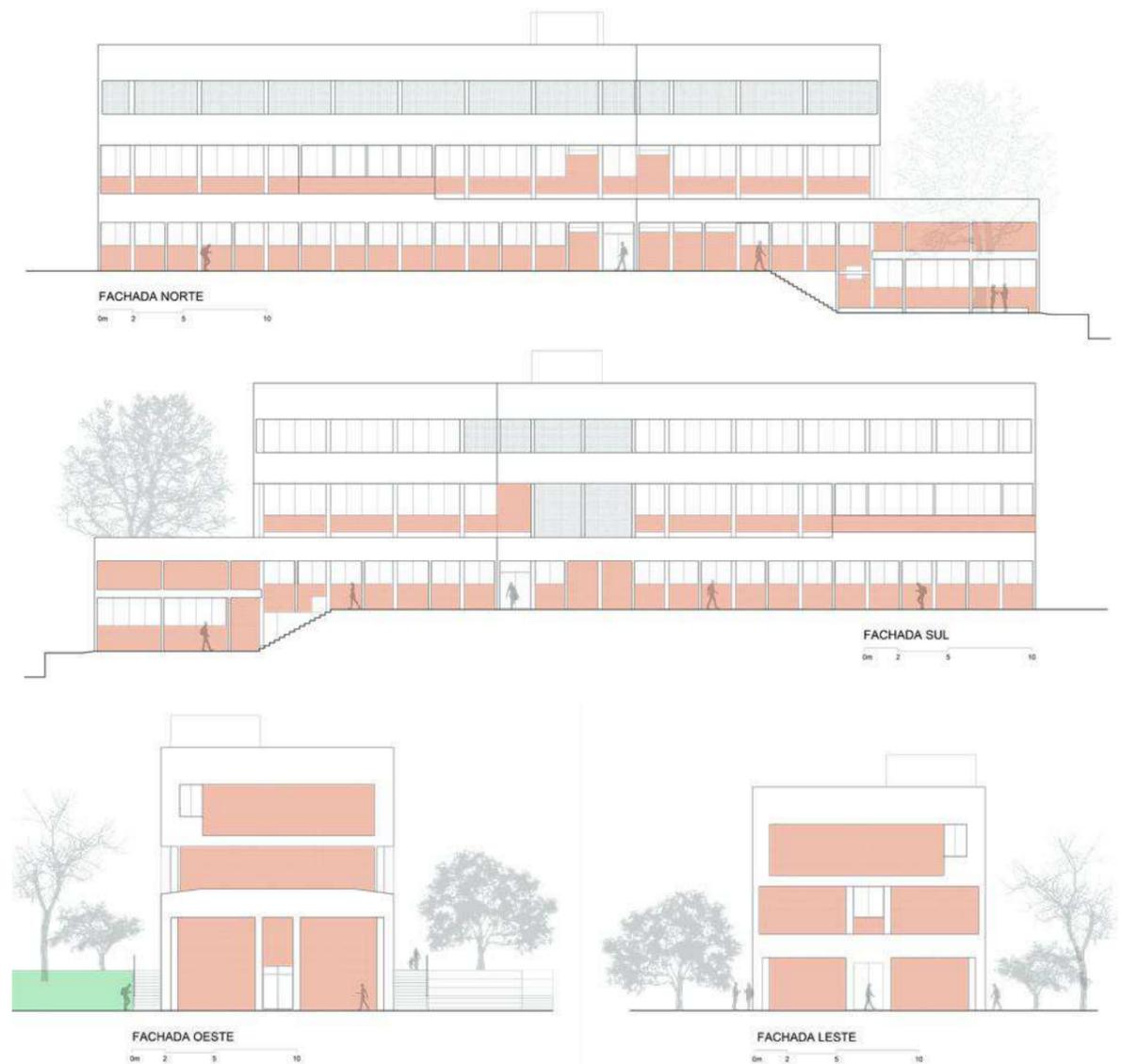
Figura 23 – Orientação solar do Bloco CW.



Fonte: Google Earth, adaptado pela autora.

As fachadas norte e sul possuem mais aberturas, que valorizam a face norte e priorizam o melhor aproveitamento da orientação solar para o Hemisfério Sul. Deste modo, percebe-se a importância dos condicionantes climáticos para a solução projetual do arquiteto, tendo em vista o tratamento de vedação às fachadas Leste e Oeste, com menor percentual de aberturas; e o controle climático para as fachadas Norte e Sul, com maior percentual de aberturas e presença de elementos vazados, que permitem um aproveitamento racional da ventilação e iluminação do edifício (Figura 24).

Figura 24 – Fachadas da edificação do Bloco CW.



Fonte: Sousa *et. al*, 2022.

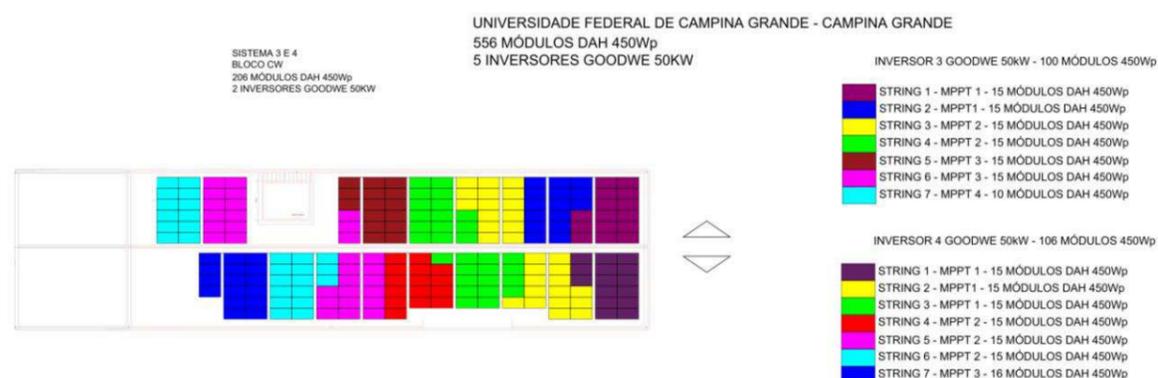
### 6.4.2 Composição física do edifício

A técnica construtiva empregada na estrutura do edifício foi a do concreto armado e as vedações foram executadas em alvenaria de tijolo cerâmico de 8 furos (9x19x19 cm). As paredes externas são de 15 cm de espessura, com revestimento cerâmico (5x20 cm) na parte inferior das janelas, e com acabamento em massa corrida e pintura lisa em tinta acrílica na parte superior. Nas paredes internas, predomina a alvenaria de tijolo cerâmico de 8 furos, com espessura final de 15 cm, com reboco e pintura em tinta acrílica, o restante é parede de gesso, com 10 cm de espessura e pintura em tinta acrílica.

Nas aberturas, as janelas são em alumínio e vidro simples 6 mm, com peitoril variando entre 1 m e 1,40 m, enquanto os cobogós são de concreto, tipo quadriculado, com acabamento natural. Os pisos são de granilite e os andares são estruturados com lajes de piso pré-moldadas com lajota cerâmica.

A cobertura é composta pela tesoura metálica e pelas telhas metálicas, de cor branca, com proteção termoacústicas, escondida por platibandas. As telhas termoacústicas são constituídas por duas telhas metálicas, com uma camada de poliestireno expandido entre elas. O telhado possui duas águas, com caimento no sentido do menor vão e cumeeira central. Em 2022, foram instalados 206 módulos fotovoltaicos de 450 Wp de potência cada, distribuídos nas duas águas da cobertura e divididos em dois sistemas, com arranjos conectados a inversores de 50 kW, totalizando capacidade instalada de 100 kW (Figuras 25 e 26).

Figura 26 – Layout de distribuição dos módulos fotovoltaicos.



Fonte: Prefeitura Universitária - UFCG, 2022.

Figura 26 – Sistema solar fotovoltaico do bloco CW.



Fonte: Arquivo da Coordenação do curso de Arquitetura e Urbanismo, 2022.

### 6.4.3 Propriedades térmicas dos elementos construtivos da envoltória

Nas paredes externas, a absorvância do revestimento cerâmico, na cor pêssego, é de 0,43 e da tinta acrílica, na cor concreto, é de 0,74 (Figura 27).

Figura 27 – Absortância das paredes, com destaque para as cores encontradas na fachada do Bloco CW.

COR	NOME	$\alpha$	COR	NOME	$\alpha$
	Amarelo Antigo	51,4		Flamingo	49,5
	Amarelo Terra	64,3		Jade	52,3
	Areia	44,9		Marfim	33,6
	Azul	73,3		Palha	36,7
	Azul Imperial	66,9		Pérola	33,0
	Branco	15,8		Pêssego	42,8
	Branco Gelo	37,2		Tabaco	78,1
	Camurça	57,4		Terracota	64,6
	Concreto	74,5			

Fonte: INMETRO, 2022.

Na cobertura, a INI-C estabelece que as superfícies sombreadas por painéis fotovoltaicos com afastamento maior do que 4 cm, devem adotar o valor de absorvância equivalente a 0,2. Desta forma, a absorvância das telhas termoacústicas na cor branca

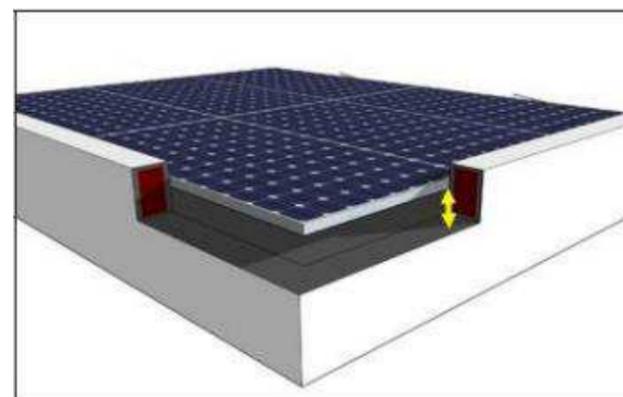
(Figura 28) e dos painéis fotovoltaicos (Figura 29) são iguais, com valor de 0,20.

Figura 28 – Absortância das telhas termoacústicas, com destaque para a cor da telha.

Tipo de superfície		$\alpha$	$\epsilon$
Chapa de alumínio (nova e brilhante)		0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)		0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)		0,25	0,25
Caiçação nova		0,12 / 0,15	0,90
Concreto aparente		0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro		0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente		0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro		0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico		0,85 / 0,98	0,90 / 0,98
Vidro incolor		0,06 / 0,25	0,84
Vidro colorido		0,40 / 0,80	0,84
Vidro metalizado		0,35 / 0,80	0,15 / 0,84
Pintura:	Branca	0,20	0,90
	Amarela	0,30	0,90
	Verde clara	0,40	0,90
	"Alumínio"	0,40	0,50
	Verde escura	0,70	0,90
	Vermelha	0,74	0,90
	Preta	0,97	0,90

Fonte: ABNT NBR 15220-2:2005, adaptado pela autora.

Figura 29 – Absortância dos painéis solares.



**Afastamento 10 cm**  
 $\alpha = 0,2$

Fonte: INMETRO, 2022.

Referente à transmitância e capacidade térmica, a parede composta por bloco cerâmico de 8 furos (9x19x19 cm) e argamassa interna e externa de 2,5 cm, tem 2,37 W/(m<sup>2</sup>.K) e 151 kJ/(m<sup>2</sup>.K), respectivamente. A cobertura tem transmitância térmica de 0,6 W/(m<sup>2</sup>.K) e capacidade térmica de 50,3 kJ/(m<sup>2</sup>.K), enquanto o vidro apresenta transmitância de 5,7 W/(m<sup>2</sup>.K) e fator solar de 0,87 (Figura 30).

Figura 30 – Propriedades térmicas das paredes, vidros e cobertura.



Fonte: ProjetEEE, adaptado pela autora.

Nas lajes do primeiro e segundo pavimento, para cálculo de transmitância e capacidade térmica, foi utilizada uma planilha de cálculo disponibilizada pelo Laboratório de Conforto Ambiental (LabCon), da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (Figura 31). Os dados relativos às propriedades térmicas foram obtidos na NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

Figura 31 – Planilha de cálculo para obtenção de transmitância e capacidade térmica da laje de piso.

TRANSMITÂNCIA		U	W/m <sup>2</sup> .K	3,02	Dados da troca térmica:						
RESISTÊNCIA TÉRMICA TOTAL		R <sub>T</sub>	m <sup>2</sup> .K/W	0,33	3	Direção/sentido do fluxo de calor					
RESISTÊNCIA TÉRMICA DO ELEMENTO		R <sub>t</sub>	m <sup>2</sup> .K/W	0,12	(1) Horizontal, (2) Ascendente e (3) Descendente						
RESISTÊNCIA SUPERFICIAL INTERNA		R <sub>si</sub>	m <sup>2</sup> .K/W	0,17	1 Nº de seções						
RESISTÊNCIA SUPERFICIAL EXTERNA		R <sub>se</sub>	m <sup>2</sup> .K/W	0,04	(entre 1 e 10 seções)						
CAPACIDADE TÉRMICA		CT	kJ/m <sup>2</sup> .W	300,80							
SEÇÃO 01	Área	m <sup>2</sup>	0,006	Caract./Unid.	Camada 1	Camada 2	Camada 3	Camada 4	Camada 5	Camada 6	Camada 7
	Resist. Térm.	m <sup>2</sup> .K/W	0,121	Material	Concreto	Cerâmica	Argamassa	Granitina			
	Cap. Térmica	kJ/(m <sup>2</sup> .K)	300,800	Densidade	Kg/m <sup>3</sup>	2200,000	2000,000	2000,000	2400,000		
				Conduktivid.	W/m <sup>2</sup> .°C	1,750	1,050	1,150	1,750		
				Cal. Especif.	kJ/Kg°C	1,000	0,920	1,000	1,000		
				Espessura	m	0,040	0,070	0,030	0,010		
				e/λ		0,023	0,067	0,026	0,006	0,000	0,000
			Capac. Térm.	kJ/m <sup>2</sup> .K	88,000	128,800	60,000	24,000	0,000	0,000	0,000

Fonte: LabCon-UFRN, adaptado pela autora.

## 7 RESULTADOS

O Bloco CW, de ventilação híbrida, precisou ser analisado separadamente, como determina a Portaria nº 309/2022, em decorrência da diferença do número de pavimentos. Assim, a avaliação foi realizada apenas no bloco com três pavimentos, com área de 661,94 m<sup>2</sup>, uma vez que o bloco com um pavimento é pouco utilizado e não atende as horas e dias de ocupação anuais que é estabelecido pelo método (Figura 32).

Figura 32 – Divisão do bloco CW, com destaque em verde para a área analisada pelo método simplificado.



Fonte: Autoria própria.

Os resultados são apresentados em três etapas: (1) aplicação do método no cenário de ventilação híbrida, utilizando a ferramenta *Natural Comfort*; (2) aplicação do método em ambientes condicionados artificialmente; e (3) Classificação da envoltória.

### 7.1 Método simplificado para edificação de ventilação híbrida

Neste método foram verificadas as condições de aplicabilidade e obtidos os percentuais de horas ocupadas em desconforto e conforto térmico,  $E_{HF_{hot}}$  e  $PHOCT$ , respectivamente, além da fração de horas excedentes por calor ( $FH_{desc}$ ), para obtenção da carga térmica total anual.

#### 7.1.1 Condições de aplicabilidade do método simplificado para edificações híbridas

O edifício de tipologia escolar, com média de ocupação de oito horas diárias, em aproximadamente duzentos dias letivos anuais; de geometria retangular (14,15x46,78 m) e altura de 13,53 m; com áreas de ventilação em todas as áreas de permanência prolongada;

e parâmetros dentro dos limites estabelecidos (Tabela 5), obedece às exigências para a aplicação do método de avaliação da envoltória.

Tabela 5 – Limites dos parâmetros de avaliação da envoltória e resultados encontrados no Bloco CW.

Parâmetros	Limites (unidade)		Resultados do Bloco CW
	Valor mínimo	Valor máximo	
Absortância solar da cobertura ( $\alpha_{cob}$ )	0,2	0,8	0,2
Absortância solar das paredes externas ( $\alpha_{par}$ )	0,2	0,8	0,46
Ângulo vertical de sombreamento (AVS)	0°	45°	24,8°
Área das APPs	9 m <sup>2</sup>	400 m <sup>2</sup>	388,16 m <sup>2</sup>
Capacidade térmica da cobertura ( $CT_{cob}$ )	10 kJ/(m <sup>2</sup> .K)	400 kJ/(m <sup>2</sup> .K)	50,3 kJ/(m <sup>2</sup> .K)
Capacidade térmica da parede externa ( $CT_{par}$ )	40 kJ/(m <sup>2</sup> .K)	500 kJ/(m <sup>2</sup> .K)	151 kJ/(m <sup>2</sup> .K)
Comprimento total (maior dimensão entre os lados da edificação)	13 m	200 m	46,78 m
Fator da área da escada	0	0,28	0,027
Fator solar do vidro (FS)	0,2	0,8	0,87
Forma das aberturas para ventilação: razão entre a largura e a altura das aberturas para ventilação	0,1	50	1,24
Número de pavimentos	1	5	3
Pé-direito	2,75 m	4,25 m	3,17 m
Percentual de área de abertura na fachada total (PAFT)	0,05	0,7	0,22
Profundidade total (menor dimensão entre os lados da edificação)	8 m	50 m	14,15 m
Transmitância térmica da parede externa ( $U_{par}$ )	0,1 W/(m <sup>2</sup> .K)	5 W/(m <sup>2</sup> .K)	2,37 W/(m <sup>2</sup> .K)
Transmitância térmica da cobertura ( $U_{cob}$ )	0,1 W/(m <sup>2</sup> .K)	5 W/(m <sup>2</sup> .K)	0,63 W/(m <sup>2</sup> .K)
Transmitância térmica do vidro ( $U_{vid}$ )	1 W/(m <sup>2</sup> .K)	6 W/(m <sup>2</sup> .K)	5,7 W/(m <sup>2</sup> .K)

Fonte: Autoria própria.

Apesar do vidro possuir Fator Solar (FS) acima do limite, o método permite a avaliação. Entretanto, a ferramenta *Natural Comfort* considera o limite máximo de 0,8 para esta variável, de modo que o valor do FS é ajustado para o valor limite utilizado na ferramenta, como recomendado na INI-C.

## 7.1.2 Percentual de horas ocupadas em conforto térmico

Os parâmetros de entrada foram calculados para a edificação como um todo e inseridos na interface web do *Natural Comfort* (Figura 33).

Figura 33 – Inserção dos parâmetros na plataforma Natural Comfort.

Fonte: Natural Comfort, adaptado pela autora.

A partir dos dados inseridos, foi encontrado um percentual de horas ocupadas em desconforto térmico (EHFhot) de 73% e uma fração de horas excedentes por calor (FHdesc) de 0.73. Em seguida, a partir da equação, foi calculado o PHOCT.

$$\begin{aligned} \text{PHOCT} &= 100 - \text{EHF}_{\text{hot}} \\ \text{PHOCT} &= 100 - 73 \\ \text{PHOCT} &= 27\% \end{aligned}$$

Com o PHOCT inferior a 90%, foi necessário aplicar o método simplificado para edificações condicionadas artificialmente, para obter a carga térmica de refrigeração anual (CgTR) e avaliar a parcela condicionada artificialmente.

## 7.2 Método simplificado para edificação condicionada artificialmente

Para esta nova simulação, a condição de referência adotada, equivalente ao nível D, é concernente à tipologia educacional e suas características estão descritas na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores de referência para edificações educacionais.

Uso típico	Edificações educacionais	
	Condição real	Condição de referência
		Ensino superior
<b>Geometria</b>		
Área (m²)	Condição real	
Orientação solar	Condição real	
Pé-direito (piso a teto) (m)	Condição real	
<b>Aberturas</b>		
PAF - Percentual de área de abertura da fachada (%)	Condição real	40 (0,40)
<b>Componentes construtivos</b>		
Parede	Condição real	Parede externa/interna
Upar - Transmitância da parede externa (W/(m².K))	Condição real	2,39
αPAR - Absortância da parede (adimensional)	Condição real	0,5
CTpar - Capacidade térmica da parede externa (kJ/(m².K))	Condição real	150
Cobertura	Condição real	Cobertura
Ucob - Transmitância da cobertura (W/(m².K))	Condição real	2,06
αCOB - Absortância da cobertura (adimensional)	Condição real	0,8
CTcob - Capacidade térmica da cobertura (kJ/(m².K))	Condição real	233
Piso	Condição real	Piso
Upiso - Transmitância do piso (W/(m².K))	Condição real	2,06
αPISO - Absortância do piso (adimensional)	Condição real	0,8
CTpiso - Capacidade térmica da cobertura (kJ/(m².K))	Condição real	233

Vidro	Condição real	Vidro simples incolor (6mm)		
FS – Fator solar do vidro (adimensional)	Condição real	0,82		
Uvid – Transmitância do vidro (W/(m².K))	Condição real	5,7		
AHS – Ângulo horizontal de sombreamento (°)	Condição real	0		
AVS – Ângulo vertical de sombreamento (°)	Condição real	0		
AOV – Ângulo de obstrução vizinha (°)	Condição real			
<b>Iluminação e ganhos internos</b>				
DPI - Densidade de potência de iluminação (W/m²)	Condição real	15,5		
Ocupação (m²/pessoa)	Condição real	2,5	1,5	1,5
DPE - Densidade de potência de equipamentos (W/m²)	Condição real	15,0		
Horas de ocupação (horas)	8			
Dias de ocupação (Nano)	200			
Situação do piso	Condição real			
Situação da cobertura	Condição real			
Isolamento do piso	Condição real	Sem isolamento		

Fonte: INMETRO, 2022.

### 7.2.1 Divisão de zonas térmicas

A divisão de zonas térmicas dos três pavimentos foi resultado da análise de cada um dos ambientes de permanência prolongada, onde foi verificada a ventilação (natural ou artificial), a tipologia, a orientação solar (para zonas térmicas perimetrais), e a exposição de cobertura. A divisão resultou em 15 zonas térmicas, sendo doze zonas perimetrais e três zonas internas (Figura 34).

### 7.2.2 Condições de aplicabilidade do método simplificado para edificações condicionadas artificialmente

Para a análise de aplicabilidade do método simplificado, foi realizado um levantamento amostral, considerando três zonas térmicas perimetrais com orientações

diferentes. Deste modo, as condições de aplicabilidade foram atendidas (Tabela 7).

Tabela 7 – Limites dos parâmetros de avaliação em três zonas térmicas.

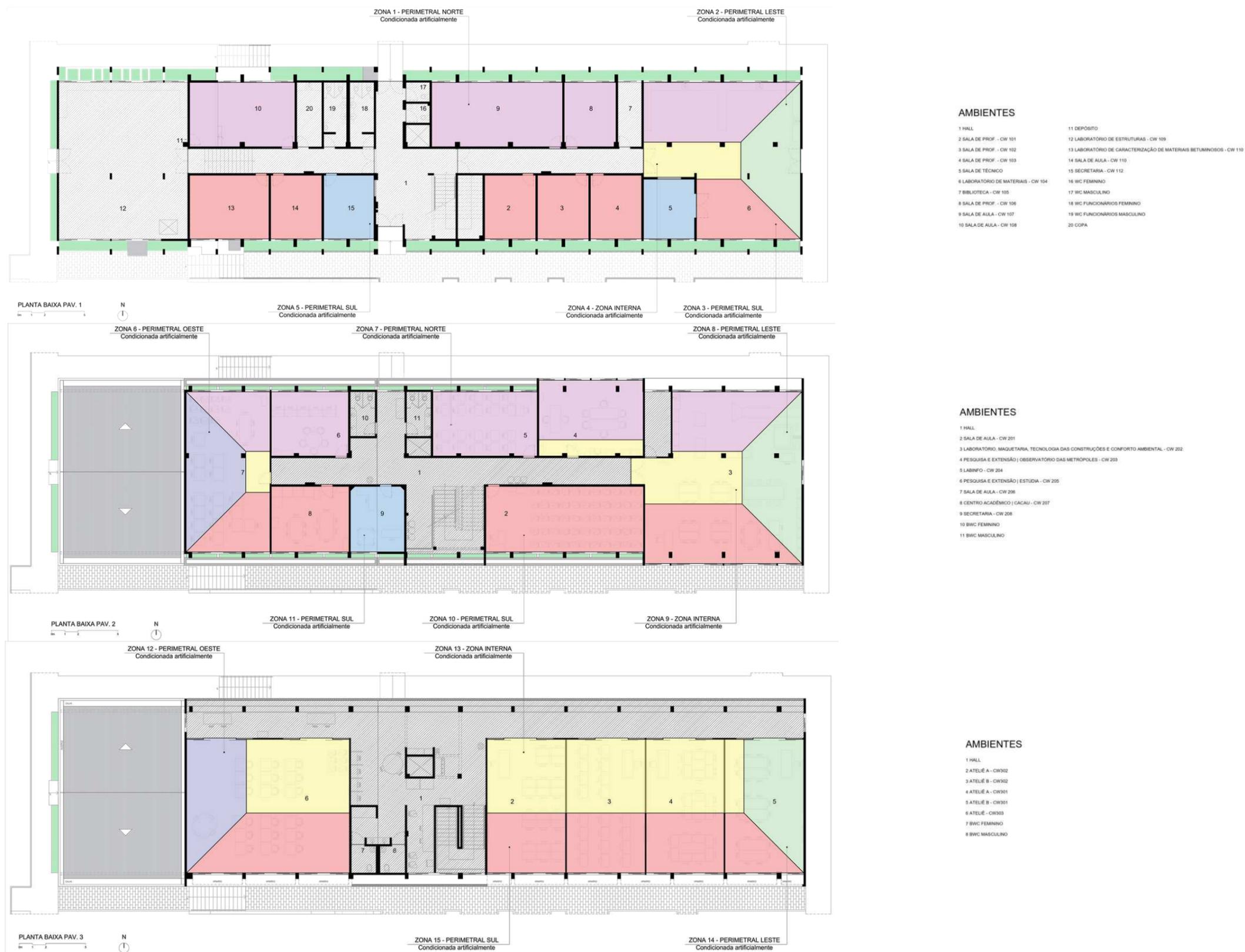
Parâmetros (Unidade)	Limites		Resultados do Bloco CW		
	Mínimo	Máximo	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Absortância solar da cobertura - $\alpha_{cob}$	0,2	0,8	0,2		
Absortância solar das paredes externas - $\alpha_{par}$	0,2	0,8	0,46		
Ângulo de obstrução vizinha – AOV (°)	0	80	0		
Ângulo horizontal de sombreamento - AHS (°)	0	80	8,03	0	8,06
Ângulo vertical de sombreamento – AVS (°)	0	90	28	0	28
Capacidade térmica da cobertura - $CT_{cob}$ (kJ/(m².K))	10	450	50,3		
Capacidade térmica da parede externa - $CT_{par}$ (kJ/(m².K))	40	450	151		
Densidade de potência de equipamentos - DPE (W/m²)	4	40	15		
Densidade de potência de iluminação - DPI (W/m²)	4	40	15,5		
Fator solar do vidro - FS	0,21	0,87	0,87		
Pé-direito (m)	2,6	6,6	3,1	3,1	3,1
Percentual de área de abertura da fachada - PAF (%)	0	80	45	14	48
Transmitância térmica da cobertura - $U_{cob}$ (W/(m².K))	0,51	5,07	0,63		
Transmitância térmica da parede externa - $U_{par}$ (W/(m².K))	0,50	4,40	2,37		
Transmitância térmica do vidro – $U_{vid}$ (W/(m².K))	1,9	5,7	5,7		

Fonte: Autoria própria.

### 7.2.3 Levantamento dos parâmetros de entrada

No levantamento dos parâmetros de entrada, conforme recomendação da INI-C para avaliação parcial da envoltória, que não contempla o sistema de iluminação, foi adotada a DPI e DPE de referência da tipologia. Quanto ao ângulo de obstrução vizinha (AOV), apenas a fachada leste do bloco CW possui obstrução vizinha, entretanto por falta de informações precisas da geometria do bloco vizinho e por ser opcional na aplicação do método, foi adotado o valor zero. Os valores obtidos dos parâmetros são apresentados na Tabela 8.

Figura 34 – Zonas térmicas dos pavimentos 1, 2 e 3.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 8 – Parâmetros de entrada do bloco CW.

Parâmetros	Pavimento 1					Pavimento 2						Pavimento 3			
	ZT1	ZT2	ZT3	ZT4	ZT5	ZT6	ZT7	ZT8	ZT9	ZT10	ZT11	ZT12	ZT13	ZT14	ZT15
Uso	Educacional	Educacional	Educacional	Educacional	Escritórios	Educacional	Educacional	Educacional	Educacional	Educacional	Escritórios	Educacional	Educacional	Educacional	Educacional
Área (m <sup>2</sup> )	149,37	32,85	130,63	16,60	35,92	34,13	155,16	38,14	45,79	150,69	20,23	35,35	151,44	35,35	142,25
Pé-direito (m)	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	3,5	3,5	3,5	3,5
Tipo de zona térmica	Perimetral	Perimetral	Perimetral	Interna	Perimetral	Perimetral	Perimetral	Perimetral	Interna	Perimetral	Perimetral	Perimetral	Interna	Perimetral	Perimetral
Orientação solar	Norte	Leste	Sul	-	Sul	Oeste	Norte	Leste	-	Sul	Sul	Oeste	-	Leste	Sul
Relação com ZT adjacentes	Não-cond.	Cond.	Não-cond.	Cond.	Cond.	Cond.	Não-cond.	Cond.	Cond.	Cond.	Não-cond.	Cond.	Não-cond.	Cond.	Cond.
Condição da ZT no pavimento	Térreo (com + pvtos acima)	Intermed.	Intermed.	Intermed.	Intermed.	Intermed.	Intermed.	Cobertura	Cobertura	Cobertura	Cobertura				
PAF (%)	45	14	48	-	48	0	60	9	-	57	29	0	-	0	35
U <sub>par</sub> (W/(m <sup>2</sup> .K))	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37
CT <sub>par</sub> (kJ/(m <sup>2</sup> .K))	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151
α <sub>par</sub>	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
U <sub>cob</sub> (W/(m <sup>2</sup> .K))	3,02	3,02	3,02	3,02	3,02	3,02	3,02	3,02	3,02	3,02	3,02	0,63	0,63	0,63	0,63
CT <sub>cob</sub> (kJ/(m <sup>2</sup> .K))	300,8	300,8	300,8	300,8	300,8	300,8	300,8	300,8	300,8	300,8	300,8	50,3	50,3	50,3	50,3
α <sub>cob</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,2	0,2	0,2
FS (adimen.)	0,87	0,87	0,87	-	0,87	-	0,87	0,87	-	0,87	0,87	-	-	-	0,87
U <sub>vid</sub> (W/(m <sup>2</sup> .K))	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7
Abertura zentinal	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
PAZ (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AHS (°)	8,03	0	8,06	-	8,12	-	6,11	0	-	5,41	5,5	-	-	-	7,94
AVS (°)	28	0	28	-	28	-	18,07	0	-	15,14	23	-	-	-	21
AOV (°)	0	0	0	-	0	-	0	0	-	0	0	-	-	-	0
DPI (W/m <sup>2</sup> )	15,5	15,5	15,5	15,5	14,1	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	14,1	15,5	15,5	15,5	15,5
DPE (W/m <sup>2</sup> )	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Fonte: Autoria própria.

### 7.2.4 Carga térmica e percentual de redução da carga térmica total anual

Os valores dos parâmetros foram inseridos na interface de cálculo para a edificação real e para a condição de referência foram utilizados valores preestabelecidos de acordo com a tipologia, apresentados anteriormente na Tabela 6. Os resultados são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Carga térmica de refrigeração total anual.

Carga térmica de refrigeração anual da edificação real (CgTR <sub>real</sub> )	290.404,95 kWh/ano
Carga térmica de refrigeração anual da edificação na condição de referência (CgTR <sub>refD</sub> )	407.622,00 kWh/ano

Fonte: Autoria própria.

Considerando a ventilação natural, a partir da CgTR<sub>real</sub> calculada por meio da interface web, foi calculado o valor da carga térmica total anual real (CgTT<sub>real</sub>), por meio da equação:

$$\begin{aligned} \mathbf{CgTT_{real}} &= \mathbf{CgTR_{real}} \cdot \mathbf{FH_{desc}} \\ CgTT_{real} &= 290.404,95 \text{ kWh/ano} \cdot 0,73 \\ CgTT_{real} &= 211.995,61 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

A carga térmica total anual de referência (CgTT<sub>refD</sub>) é equivalente ao valor da carga térmica de refrigeração anual (CgTR<sub>refD</sub>) da edificação em sua condição de referência. Desta forma, CgTT<sub>refD</sub> = 297.564,05 kWh/ano.

Com os valores da CgTT<sub>real</sub> e da CgTR<sub>refD</sub>, foi determinado o percentual de redução da carga térmica total anual (RedCgTT), através da equação:

$$\begin{aligned} \mathbf{RedCgTT} &= \mathbf{\frac{(CgTT_{refD} - CgTT_{real})}{CgTT_{refD}} \cdot 100} \\ RedCgTT &= \frac{(297.564,05 \text{ kWh/ano} - 211.995,61 \text{ kWh/ano})}{297.564,05 \text{ kWh/ano}} \cdot 100 \\ RedCgTT &= 29\% \end{aligned}$$

### 7.3 Classificação da envoltória

Para determinar o coeficiente de redução da carga térmica total anual da classificação D para a A (CRCgTT<sub>D-A</sub>), foi necessário utilizar o fator de forma da edificação (FF), definido pela razão entre a área da envoltória e o volume total construído da edificação, de 0,29 e a classificação climática na qual a cidade está inserida, ZB 8 (Tabela 10).

Tabela 10 – Coeficiente de redução da carga térmica anual da classificação D para a A: edifício educacional.

Classificação Climática	Coeficiente de redução da carga térmica anual da classificação D para a classificação A (CRCgTT <sub>D-A</sub> )			
	FF ≤ 0,20	0,20 < FF ≤ 0,30	0,30 < FF ≤ 0,40	FF > 0,40
ZB 1	0,22	0,23	0,28	0,38
ZB 2	0,20	0,20	0,24	0,29
ZB 3	0,16	0,17	0,20	0,25
ZB 4	0,21	0,21	0,26	0,31
ZB 5	0,15	0,16	0,19	0,23
ZB 6	0,17	0,18	0,21	0,25
ZB 7	0,13	0,13	0,16	0,19
ZB 8	0,11	0,11	0,14	0,17

Fonte: INMETRO, 2022, adaptado pela autora.

Com o valor do CRCgTT<sub>D-A</sub>, é calculado o intervalo entre as classes, em porcentagem, através da equação:

$$\begin{aligned} \mathbf{i} &= \mathbf{\frac{(CRCgTT_{D-A} \cdot 100)}{3}} \\ i &= \frac{(0,11 \cdot 100)}{3} \\ i &= 3,67\% \end{aligned}$$

A partir do valor calculado de “i”, foi preenchida a Tabela 11. Em seguida, foi comparado o valor do percentual de redução da carga térmica total anual da edificação (RedCgTT) com os limites definidos, identificando a classificação A de eficiência energética da envoltória do bloco CW.

Tabela 11 – Classificação nível A da envoltória do bloco CW.

Classificação de Eficiência	RedCgTT (%)				
	A	B	C	D	E
	RedCgTT > 11,01	11,01 ≥ RedCgTT > 7,34	7,34 ≥ RedCgTT > 3,67	3,67 ≥ RedCgTT > 0%	RedCgTT > 0%

Fonte: Autoria própria.

## 8 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para compreender a influência da ventilação natural no condicionamento térmico do edifício e, conseqüentemente, na classificação da eficiência energética da envoltória, foi realizada a classificação do bloco CW considerando apenas o condicionamento artificial. Deste modo, foram utilizados os mesmos parâmetros de entrada na interface web, modificando apenas o tipo de condicionamento. Os resultados de CgTR<sub>real</sub>, CgTR<sub>referência</sub>, RedCgTT e a classificação da envoltória estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Classificação nível D da envoltória considerando apenas o condicionamento artificial.

Carga térmica de refrigeração anual da edificação real (CgTR <sub>real</sub> )	379.815,00 kWh/ano
Carga térmica de refrigeração anual da edificação na condição de referência (CgTR <sub>refD</sub> )	407.622,00 kWh/ano
Percentual de redução da carga térmica total anual (RedCgTT)	2%
Classificação da envoltória	D

Fonte: Autoria própria.

Este resultado, que apresenta uma diferença de 27% na RedCgTT, indica a importância da ventilação natural no edifício, sendo a adoção desta uma estratégia relevante para redução da carga térmica.

O benefício da ventilação natural da edificação, que implica em alta redução da carga térmica é também observado por Bonisem *et al.* (2024), que avaliaram a eficiência energética da envoltória de um edifício escolar por meio do método simplificado da INI-C. A classificação obtida foi de nível A, sendo observado uma redução na carga térmica total anual de 38% quando considerada somente o condicionamento artificial, para 72% quando considerada a ventilação natural.

Para compreender o nível A obtido, foi analisada as propriedades térmicas e geométricas da edificação nas condições real e de referência, observando os principais pontos que apresentaram divergência (Tabela 13). A partir da comparação, percebe-se que os parâmetros que influenciam diretamente na classificação obtida estão relacionados a cobertura e aos ângulos vertical e horizontal de sombreamento.

A condição real dos parâmetros referentes à cobertura (transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância), apresenta uma diferença expressiva quando comparada à condição de referência para esta tipologia. Isto significa que a cobertura da edificação de referência proporciona menor isolamento térmico, aumentando o consumo energético para refrigeração dos ambientes. Enquanto a cobertura do CW possui maior inércia térmica, comprovando que a adoção de uma elevada inércia térmica é benéfica para edificações em Campina Grande.

Quanto aos ângulos vertical e horizontal de sombreamento, para compreender sua influência na classificação da eficiência energética da envoltória do CW, foi testado o cenário com todos os ângulos, verticais e horizontais, iguais a zero. Como resultado, foram obtidos os valores de CgTR<sub>real</sub> = 370.579,00 kWh/ano, CgTR<sub>refD</sub> = 407.622,00 kWh/ano, RedCgTT = 11%, obtendo a classificação de nível B.

Pacheco (2022), ao analisar a envoltória de um Estabelecimento Assistencial de Saúde (EAS), utilizando o método simplificado da INI-C, obteve classificação C para os blocos A e B da edificação. Para melhorar a classificação, foi sugerido mudança de cor na telha da cobertura, reduzindo a absorvância de 0,61 para 0,20 e nas proteções solares, sendo modificados ângulos verticais e horizontais de sombreamento dos dois blocos. Na situação real o AVS, na zona 6 e na zona 8 do bloco A era de 21,11°, e passaram a ser de 41,19° em cada zona. No bloco B, nas zonas 2 e 4, para a situação real o AVS era de 7,67° e de 0°, respectivamente. Na modificação proposta, o AVS da zona 2 é de 22,93° e na zona 4 é de 47,4°. Para o AHS, os ângulos das zonas 1 e 2, eram de 0°, na condição encontrada no levantamento, com a proposta, da inserção de elementos verticais, os ângulos passaram a ser de 9,25° e 14,37°, nas zonas 1 e 2, respectivamente. Considerando todas as modificações propostas, a classificação da edificação passou a ser A.

Deste modo, comparando os resultados, percebe-se a influência direta da cobertura e dos elementos de sombreamento horizontais e verticais, na classificação de nível A de desempenho energético da envoltória do bloco CW.

Tabela 13 – Comparação dos parâmetros por zona térmica para as condições real, em branco, e de referência, em cinza.

Parâmetros	Pavimento 1					Pavimento 2						Pavimento 3			
	ZT1	ZT2	ZT3	ZT4	ZT5	ZT6	ZT7	ZT8	ZT9	ZT10	ZT11	ZT12	ZT13	ZT14	ZT15
PAF (%)	45	14	48	-	48	0	60	9	-	57	29	0	-	0	35
PAF (%)	40	40	40	-	40	0	40	40	-	40	40	0	-	0	40
U <sub>par</sub> (W/(m².K))	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37
U <sub>par</sub> (W/(m².K))	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39
CT <sub>par</sub> (kJ/(m².K))	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151
CT <sub>par</sub> (kJ/(m².K))	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
α <sub>par</sub>	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
α <sub>par</sub>	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
U <sub>cob</sub> (W/(m².K))	3,02	3,02	3,02	3,02	3,02	3,02	3,02	3,02	3,02	3,02	3,02	0,63	0,63	0,63	0,63
U <sub>cob</sub> (W/(m².K))	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06
CT <sub>cob</sub> (kJ/(m².K))	300,8	300,8	300,8	300,8	300,8	300,8	300,8	300,8	300,8	300,8	300,8	50,3	50,3	50,3	50,3
CT <sub>cob</sub> (kJ/(m².K))	233	233	233	233	233	233	233	233	233	233	233	233	233	233	233
α <sub>cob</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,2	0,2	0,2
α <sub>cob</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	0,8	0,8	0,8
FS (adimen.)	0,87	0,87	0,87	-	0,87	-	0,87	0,87	-	0,87	0,87	-	-	-	0,87
FS (adimen.)	0,82	0,82	0,82	-	0,82	-	0,82	0,82	-	0,82	0,82	-	-	-	0,82
U <sub>vid</sub> (W/(m².K))	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7
U <sub>vid</sub> (W/(m².K))	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7
AHS (°)	8,03	0	8,06	-	8,12	-	6,11	0	-	5,41	5,5	-	-	-	7,94
AHS (°)	0	0	0	-	0	-	0	0	-	0	0	-	-	-	0
AVS (°)	28	0	28	-	28	-	18,07	0	-	15,14	23	-	-	-	21
AVS (°)	0	0	0	-	0	-	0	0	-	0	0	-	-	-	0

Fonte: Autoria própria.

Quanto ao método e sua aplicação, percebe-se que a ferramenta *Natural Comfort* avalia a ventilação natural de um modo bastante simplificado, não permitindo avaliar a ventilação natural, de período contínuo, gerado através dos cobogós, que ocupam uma grande área da fachada do bloco e colaboram para resfriar o edifício.

A avaliação para edificações ventiladas naturalmente ou híbridas com PHOCT menor do que 90%, necessitam de avaliação por zonas térmicas, como no método utilizado para edificações condicionadas artificialmente, exigindo um retrabalho para calcular os parâmetros que são considerados no primeiro método para a edificação como um todo e no segundo, por meio da divisão de zonas térmicas, sendo os valores obtidos, em sua maioria, pela média ponderada.

A avaliação da envoltória pelo método simplificado para edificações condicionadas artificialmente é uma boa ferramenta de análise, que conta com o auxílio da interface web e da planilha do Excel. Entretanto, a interface *online* não salva as informações inseridas, ou os dados de saída, fazendo-se necessário o preenchimento de dados sempre que necessário alterar algum dado. Enquanto a planilha, a classificação depende dos dados gerados de CgTR obtidos pela interface online, o que impossibilita o uso restrito da mesma para classificação da eficiência energética.

O material disponível para aplicação do método é de fácil acesso, entretanto os textos possuem algumas incoerências, o que dificulta a compreensão para aplicar o método. Os exemplos nos manuais são muito simples, com áreas muito pequenas, gerando dúvidas no cálculo dos parâmetros por zonas térmicas em edifícios maiores. Além disso, alguns manuais estão incompletos e para aplicar o método é necessário consultar a Portaria nº 309/2022 ou a antiga Portaria nº 42/2021.

## 9 CONCLUSÃO

A adoção de medidas para melhorar a eficiência energética é importante e necessária para reduzir o consumo de energia nos prédios públicos. A avaliação do emprego destas medidas através da classificação do sistema, por meio do método simplificado ou de simulação da INI-C, é importante para comprovar que as soluções adotadas são adequadas.

Com base no levantamento de dados e revisão bibliográfica, foi avaliada a eficiência energética da envoltória do bloco de aulas CW, da UFCG, que resultou em uma classificação nível A. O método de análise avaliou a ventilação natural e artificial do edifício, por meio de levantamento de parâmetros por zonas térmicas e inserção em metamodelos para obtenção da carga térmica.

Foi constatado nos resultados, que a boa classificação da envoltória do edifício está diretamente ligada à adoção da ventilação natural no bloco, sendo uma estratégia relevante para redução da carga térmica. Além deste fator, contribuíram para a alta classificação da edificação: a cobertura, com propriedades térmicas dos seus elementos bem distintas das empregadas nos componentes utilizados para a condição de referência do edifício de classe D; e o autossombreamento, referente aos elementos verticais e horizontais do bloco CW.

O método simplificado se demonstrou uma boa ferramenta para avaliar a eficiência energética e estimar o consumo de energia primária total da edificação. Entretanto o material disponível é um pouco difícil de compreender e exige um tempo relativamente alto para levantar os parâmetros, principalmente em edificações maiores, com muitas zonas térmicas, o que dificulta a adesão ao método.

Para trabalhos futuros, sugere-se a classificação geral do edifício, considerando todos os sistemas. Também é sugerido replicar o método de avaliação em outras edificações com características iguais ou similares a do objeto de estudo, permitindo comparar os resultados obtidos e contribuir para disseminar o estudo do desempenho das edificações.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

AMORIM, C. N. D. Eficiência energética em edificações: ações e perspectivas para a Universidade de Brasília. **Universidade para o século XXI: educação e gestão ambiental na Universidade de Brasília**. Brasília: Cidade Gráfica e Editora, p. 194-209, 2011.

ANDRADE, H. J. C. **Análise da eficiência energética em edificações usando os métodos RTQ-C e INI-C**. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022.

BRASIL. Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001. **Regulamenta a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências**. Brasília, DF, 2001.

BRASIL. Decreto nº 5.184, de 16 de agosto de 2004. **Cria a Empresa de Pesquisa Energética - EPE, aprova seu Estatuto Social e dá outras providências**. Brasília, DF, 2004.

BRASIL. Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000. **Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências**. Brasília, DF, 2000.

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, 2001.

BRASIL. Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004. **Autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética – EPE e dá outras providências**. Brasília, DF, 2004.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Portaria Interministerial nº 244, de 6 de junho de 2012. Institui o Projeto Esplanada Sustentável - PES. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 2012.

BRASIL. Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instrução Normativa nº 2, de 4 de junho de 2014. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam retrofit. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 2014.

BONISEM, M. M. *et al.* Avaliação da eficiência energética de um edifício escolar por meio de simulação no método Procel INI-C. In: Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, v. 20, 2024. **Anais [...]**. Maceió: ANTAC, 2024. P. 1-14.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Atlas da Eficiência Energética – Brasil I 2023: Relatório de Indicadores**. EPE, 2023.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2024: Ano base 2023**. Empresa de Pesquisa energética. Rio de Janeiro: EPE, 2024.

FREIRE, A. L. A. **Modernização e modernidade: uma leitura sobre a arquitetura moderna na cidade de Campina Grande (1940-1970)**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo do Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010.

HADDAD, J. Eficiência e conservação de energia. **Dossiê Energia Positiva para o Brasil**. Brasília: Greenpeace Brasil, p. 61-67, 2004.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. **Diário Oficial da União**, 96 p., 2010.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. 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, 2021.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. 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, 2022.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas - 2024**. Disponível em: <<https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/edificacoes/edificacoes-comerciais-de-servicos-e-publicas-2024-02-16.xlsx/view>>. Acesso em: 23 jul. 2024.

JORDÃO, B. *et al.* Influência de parâmetros da envoltória na classificação de eficiência energética de edificações de escritório com base no novo método de avaliação simplificado do PBE Edifica (INI-C). In: **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, v.16, p. 1381-1390, out. 2021.

LABEEE – LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Universidade Federal de Santa Catarina. **Analysis Sol-Ar 6.2**. 2024. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-sol-ar>>. Acesso em: 04 out. 2024.

LABEEE – LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Universidade Federal de Santa Catarina. **Aplicação da INI-C: módulo 03**. 2023. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=Nrm58NmKwpo&ab\\_channel=LabEEE](https://www.youtube.com/watch?v=Nrm58NmKwpo&ab_channel=LabEEE)>. Acesso em: 18 set. 2024.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Guia prático de eficiência energética: reunindo a experiência prática do projeto de etiquetagem**: Ministério do Meio Ambiente e Ministério da Cultura. Brasília: MMA, 2014. 93 p.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Eficiência energética**: guia para etiquetagem de edifícios. v.1. Brasília: MMA, 2015. 70 p.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **PNEf - Plano Nacional de Eficiência Energética** – Premissas e Diretrizes Básicas. Brasília - DF: MME, 2011.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Quem é quem da Eficiência Energética no Brasil**. Brasília, 2019.

NASCIMENTO, J. O. **Análise da aplicação de medidas de eficiência energética em edifício universitário, por meio de modelagem**: desempenho termoenergético dos ambientes – estudo de caso. 83 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Energia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

PACHECO, T. P. A. **Avaliação da eficiência energética de envoltória e classificação de acordo com o método simplificado da INI-C**: Estudo de caso de uma EAS em Cacoal/RO. 61 f. Monografia (Especialização em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

PBE EDIFICA. **Manual para etiquetagem de edificações públicas**: Gestor público. 2014.

PBE EDIFICA. Instrução Normativa Inmetro. **PBE Edifica**. 2024a. Disponível em: <<https://www.pbeedifica.com.br/nova-ini>>. Acesso em: 03 set. 2024.

PBE EDIFICA. Sobre o PBE Edifica. **PBE Edifica**. 2024b. Disponível em: <<https://pbeedifica.com.br/sobre>>. Acesso em: 03 set. 2024.

PEREIRA, I. **Tertuliano Dionísio: a produção moderna do “arquiteto do centenário” em Campina Grande-PB**. 6º Seminário Ibero-americano Arquitetura e Documentação. Belo Horizonte, 2019.

POUEY, J. A. *et al.* Aplicação da proposta da INI-C para avaliação de projeto NZEB, pelo método de simulação. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, v.18, 2020. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2020. p. 1–8.

POZZOBON, E. M. **Etiquetagem de eficiência energética de prédios públicos**: estudo de caso da reitoria da UFSCar – São Paulo – SP. 87 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2024.

RODRIGUES, G. M. **Análise de metodologias para avaliação da eficiência energética de edificações públicas**. 131 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

SILVA, M. R. **Classificação de eficiência energética de uma edificação**: aplicação da INI-C no prédio da engenharia mecânica. 30 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

SOUSA, D. M. *et al.* **Estúdio**: Arquitetura de obras públicas, estudo de caso do bloco CW – UFCG. Campina Grande: Estúdia, 2022.

SOUZA, A.; GUERRA, J. C. C.; KRUGER, E. L. Os programas brasileiros em eficiência energética como agentes de reposicionamento do setor elétrico. **Revista Tecnologia e Sociedade**, 1ª edição. ISSN: 1984 - 3526, p. 1–7, 2011.

UCLA – UNIVERSITY OF CALIFORNIA, LOS ANGELES. Energy Design Tools Group. **Climate Consultant 6.0**, Software, 2024. Disponível em: <<https://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu>>. Acesso em: 15 mai. 2024.

UFPEl – UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS. **Memorial Descritivo**: Anexo FAUrb – NZEB UFPEl. Pelotas, 2020.

UFPEl – UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS. **ANEXO V**: Projetos. Anexo FAUrb – NZEB UFPEl. Pelotas, 2024a.

UFPEl – UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS. **Caderno de encargos com memorial descritivo e critério de medição**: NZEB FAUrb/UFPEl. Pelotas, 2024b.

UFSC – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Ampliação dos Blocos A e B da ECV do CTC. **Galeria UFSC**, Florianópolis, 20 ago. 2018. Disponível em: <[https://galeria.ufsc.br/DFO/ampliacaoecv/DJI\\_0074.JPG.html](https://galeria.ufsc.br/DFO/ampliacaoecv/DJI_0074.JPG.html)>. Acesso em 29 set. 2024.

UFSC – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **ANEXO XIII**: Projetos e plantas. Ampliação dos Blocos A e B da ECV do CTC. Florianópolis, 2013.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Global Status Report for Buildings and Construction** - Beyond foundations: Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector. Nairobi, mar. 2024.