



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

DM: 06/2022

**DIAGNÓSTICO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COM BASE NO INI-C E RTQ-C:
ESTUDO DE CASO DA ENVOLTÓRIA DO CLUBE DE CIÊNCIAS DA UFPA**

RAPHAELE SAMUA BARATA GOMES

**BELÉM - PARÁ
2022**



RAPHAELE SAMUA BARATA GOMES

**DIAGNÓSTICO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COM BASE NO INI-C E RTQ-C:
ESTUDO DE CASO DA ENVOLTÓRIA DO CLUBE DE CIÊNCIAS DA UFPA**

Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção de título de Mestre em Engenharia Elétrica, na área de concentração Fontes Renováveis de Energia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria Emília de Lima Tostes

UFPA/ ITEC/ PPGEE
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO GUAMÁ
BELÉM - PARÁ



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**“DIAGNÓSTICO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COM BASE NO INI-C E RTQ-C:
ESTUDO DE CASO DA ENVOLTÓRIA DO CLUBE DE CIÊNCIAS DA UFPA”**

AUTORA: RAPHAELE SAMUA BARATA GOMES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, DO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, SENDO JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA, NA ÁREA DE SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA.

APROVADA EM: 09/02/2022

BANCA EXAMINADORA:

Prof.ª Dr.ª Maria Emília de Lima Tostes
Orientadora – PPGEE/UFPA

Prof. Dr. Thiago Mota Soares
Avaliador interno – PPGEE/UFPA

Prof.ª Dr.ª Carminda Célia Moura de Moura Carvalho
Avaliadora externa ao programa – FEEB/UFPA

Prof.ª Dr.ª Suzane Cruz de Aquino Monteiro
Avaliadora externa ao PPGEE - UFOPA

VISTO:

Prof. Dr. Carlos Tavares da Costa
Coordenador PPGEE/ITEC/UFPA



RESUMO

Poupar energia tornou-se urgente e não está relacionado apenas à redução de custos. Mundialmente esse tema foi abordado em diversos acordos e tratados feitos entre países desde a década de 1970 a fim de reduzir os impactos do consumo de energia e com enfoque nas edificações, devido elas serem responsáveis por cerca de 60% do consumo global de eletricidade segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). Foi a partir de então que surgiram programas e medidas de incentivos para esse setor. No Brasil, surgiu em 2001 o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) com o objetivo de testar e classificar eletrodomésticos, eletrônicos, veículos e mais produtos dentro de 24 categorias de acordo com sua eficiência energética. A metodologia nacional de etiquetagem de edifícios especifica os requisitos técnicos e diretrizes de classificação de edificações energeticamente sustentáveis através de uma regulamentação para edifícios comerciais, de serviços e públicos e, outra para edifícios residenciais (BRASIL, 2010). O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C) estabelece critérios e métodos para avaliação e classificação de edificações comerciais, de serviços e públicas quanto à sua eficiência energética visando à etiquetagem dessas edificações. O INMETRO aprovou no último dia 09 de março de 2021 a nova Instrução Normativa para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) que aperfeiçoa o RTQ-C. Neste estudo avaliou-se a envoltória através do método simplificado do INI-C e essa análise foi feita através do método prescritivo do RTQ-C da edificação do Clube de Ciências da UFPA a fim de comparar seus resultados e identificar as diferenças na atualização do regulamento. Optou-se pelo estudo da envoltória devido a importância dela na eficiência energética de uma edificação já que é a maior área que troca calor entre o meio externo e interno. Os resultados encontrados divergem e isto nota-se devido alguns pontos em que o regulamento sofreu alteração, sendo um dos principais pontos a análise dos pré-requisitos no qual a edificação sofreu penalização na absorvância dos materiais. Importante citar que, ao longo deste estudo foram feitas algumas recomendações técnicas com o intuito de tornar o prédio do Clube de Ciências energeticamente eficiente enquanto este ainda se encontra em fase de projeto.

Palavras-chave: Diagnóstico energético, Eficiência energética, INI-C, RTQ-C.



ABSTRACT

Save energy is an emergency and it is just cut costs. Worldwide that theme has been mentioned and discussed through agreements made among countries since 1970 forward reducing the impacts of energy consume and also focused on constructions that consume about 60% of global electricity according to United Nations Environment Programme (UNEP). From here on programs and boosts came up for this sector. In 2001 in Brazil, the program called Brazilian Labeling Program (PBE) of National Institute of Metrology, Standardization and Technology (INMETRO) was created to try and to classify household appliances, electronics, vehicles and others in a group of 24 categories about their energetic efficiency. The national methodology of labeling buildings specify the technical requirements, guidelines classification of energetic sustainable construction based on a regulatory document for commercial buildings, public and services, and another for residential buildings (BRAZIL, 2010). The Technical Normative of Quality for Energetic Efficiency Level of Commercial Constructions Services and Public (RTQ-C) has standards and methods for evaluation and classification commercial, service and public constructions as well as their energetic efficiency with the objective of labeling them. The INMETRO approved on March 9th of 2021 a new Normative instruction for Energetic Efficiency of Commercial, Services and Public Constructions (INI-C) that improves the RTC-C. In this Science Club of UFPA was evaluated according to simplified method from INI-C and prescriptive method from RTQ-C of in order to compare their results and identify the differences on update regulations.

Keywords: Energetic efficiency, Energetic diagnose, INI-C, RTQ-C.



DEDICATÓRIA

“Dedico essa conquista à memória de minha mãe Suely, que em vida me preparou e incentivou a sempre correr atrás dos meus sonhos”.



AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que, com toda a sua proteção e amor tem me abençoado ao longo de toda a minha vida e em especial na minha jornada acadêmica. Gratidão ao meu noivo Ryan por todo o seu companheirismo, amor e por acreditar em mim até quando eu mesma não consigo.

Meu eterno amor e gratidão à minha mãe Kelly que sempre me conduziu e me levantou todas as vezes em que acreditei que eu não seria capaz, e por ser meu maior exemplo de força.

Minha gratidão ao meu tio Wanderson, que sempre se fez presente na minha vida me apoiando e oferecendo seu amor e zelo e ao meu avô Fernando, a quem admiro e que foi minha inspiração para trilhar os caminhos que escolhi.

Aos meus amigos, que sempre estão ao meu lado torcendo por mim e comemorando cada conquista, e que se fazem presentes também nos momentos difíceis, sou grata por compartilhar a vida com vocês.

Sou grata à Professora Emília, que acreditou em mim e me aceitou como sua orientanda, sempre sendo muito gentil e compreensiva.

Também ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica que me acolheu. Aos pesquisadores do CEAMAZON que tanto me ensinaram, em especial a Carolina Dias que sempre me incentivou e acreditou em mim em cada projeto de pesquisa a equipe a que me confiou a responsabilidade.

Por fim, aos professores do PPGE com que tive o prazer de aprender e superar cada dificuldade por ser uma arquiteta em meio aos engenheiros eletricitas, cada um que passou por mim demonstrou extremo respeito e paciência ao ensinar. Minha total admiração por todos e pelo Programa, obrigada por fazerem parte da minha história e crescimento.



“A finalidade da casa é a de proporcionar uma vida conveniente e confortável, e seria um erro valorizar demais um resultado exclusivamente decorativo”.

Lina Bo Bardi



SUMÁRIO

1. CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	14
1.1. JUSTIFICATIVA	16
1.2. OBJETIVO GERAL	17
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	18
2. CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1. A IMPORTÂNCIA DA ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA	20
2.2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES	21
2.3. PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM EM EDIFICAÇÕES (PBE EDIFICA)	24
2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
3. CAPÍTULO 3: METODOLOGIA	28
3.1. ESTRUTURA DE APLICAÇÃO DOS REGULAMENTOS	28
3.2. REQUISITOS TÉCNICOS DE QUALIDADE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICAS (RTQ-C)	29
3.3. INSTRUÇÃO NORMATIVA INMETRO PARA A CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICAS (INI-C)	29
4. CAPÍTULO 4: ESTUDO DE CASO E ANÁLISE DO RTQ-C	32
4.1. A EDIFICAÇÃO	32
4.2. ANÁLISE DE ENVOLTÓRIA ATRAVÉS DO RTQ-C	33
a. PAREDES:	33
b. COBERTURA:	35
4.3.2. TRANSMITÂNCIA TÉRMICA (U):	36
a. TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DA PAREDE (UPAR):	37
b. TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DA COBERTURA (UCOB):	39
4.3.3. ABSORTÂNCIA TÉRMICA	41
4.3.4. PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO	44
a. FATOR ALTURA (FA):	44
b. FATOR DE FORMA (FF):	44
c. PERCENTUAL DE ABERTURA DE FACHADA (PAF):	45
4.3.5. ÂNGULOS DE SOMBREAMENTO	46
a. ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO (AVS):	46
b. ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO (AHS):	47



4.3.6.	FATOR SOLAR (FS):	47
4.4.	INDICADOR DE CONSUMO DA ENVOLTÓRIA (ICENV):	48
4.4.1.	INDICADOR DE CONSUMO MÁXIMO (ICMÁXD):	49
4.4.2.	INDICADOR DE CONSUMO MÍNIMO (ICMÍN):	49
4.5.	ANÁLISE DOS PRÉ-REQUISITOS.....	51
4.6.	RECOMENDAÇÕES.....	52
a.	PAREDES:.....	52
b.	COBERTURA:.....	53
4.7.	NOVO DIAGNÓSTICO APÓS RECOMENDAÇÕES:.....	53
4.8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
5.	CAPÍTULO 5: ANÁLISE DO INI-C E COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS	56
5.1.	DIVISÃO DE ZONAS TÉRMICAS	60
5.1.1.	DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE ENTRADA	64
5.1.2.	PREDIÇÃO DA CARGA TÉRMICA ANUAL POR ZONA, UTILIZANDO A INTERFACE WEB 65	
5.1.3.	DETERMINAÇÃO DO PERCENTUAL DE REDUÇÃO DE CARGA TÉRMICA TOTAL ANUAL 69	
5.2.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
6.	CAPÍTULO 6: CONCLUSÃO	76
6.1.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	77



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição do consumo de eletricidade em 2030.....	15
Figura 2 - Escala para a classificação de eficiência energética.....	16
Figura 3- Carta Bioclimática adaptada.....	20
Figura 4 - Categorias LEED.....	23
Figura 5 - Categorias LEED.....	23
Figura 6 - Etiqueta ENCE geral de projeto, RTQ-C.....	25
Figura 7 - Etiqueta ENCE geral de projeto, INI-C.....	26
Figura 8 - Fluxograma do trabalho.....	28
Figura 9 - Combinações entre os sistemas e métodos de avaliação.....	30
Figura 10 - Localização da edificação.....	32
Figura 11 - Render da edificação.....	33
Figura 12- Representação esquemática das paredes de alvenaria.....	34
Figura 13- Representação esquemática da estrutura do drywall.....	34
Figura 14 - Planta de cobertura.....	35
Figura 15- Orientação do edifício.....	36
Figura 16 - Setorização da cobertura.....	40
Figura 17 - Cores na fachada Norte.....	41
Figura 18 – Cores na fachada Sul.....	41
Figura 19 – Cores na fachada Leste.....	42
Figura 20 – Cores na fachada Oeste.....	42
Figura 21 - Esquema das áreas da cobertura.....	43
Figura 22 - Tabela A.2 do INI-C.....	56
Figura 23 - Fluxograma padrão de aplicação da INI-C.....	57
Figura 24 - Processo de divisão de zonas térmicas.....	61
Figura 25 - Divisões de zonas térmicas.....	62
Figura 26 - Relação dos parâmetros na condição real e de referência.....	65
Figura 27 – Interface de inserção de dados.....	66
Figura 28 - Resultado da avaliação parcial de envoltória.....	67
Figura 29 - Aberturas na fachada Sul.....	68
Figura 30 - Aberturas na fachada Norte.....	68
Figura 31 - Aberturas na fachada Leste.....	69
Figura 32 - Aberturas na fachada Oeste.....	69
Figura 33- Grupo climático de acordo com o município.....	69
Figura 34 - Resultado da avaliação parcial de envoltória.....	72



LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Propriedades dos componentes da envoltória	35
Tabela 2 - Resistências superficial externa e interna.....	37
Tabela 3 - Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura	38
Tabela 4 - Síntese da ponderação das transmitâncias e capacidades térmicas.....	38
Tabela 5 - Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura	39
Tabela 6 - Síntese das ponderações das áreas da cobertura	40
Tabela 7 - Síntese das ponderações das áreas da cobertura	40
Tabela 8 - Cores das fachadas de acordo com Dornelles (2008)	41
Tabela 9 - Síntese das ponderações das áreas da absorvância das paredes	43
Tabela 10 - Síntese das ponderações das áreas da absorvância da cobertura.....	43
Tabela 11 - Componentes do Fator Altura	44
Tabela 12 - Áreas da Envoltória.....	44
Tabela 13 - Volumetria	45
Tabela 14 - PAFT e PAFo.....	45
Tabela 15 - Ângulos verticais de sombreamento	46
Tabela 16 - Ângulos horizontais de sombreamento	47
Tabela 17 - Síntese da ponderação de Fatores Solares	47
Tabela 18 - Limites dos intervalos	50
Tabela 19 - Índices gerais	50
Tabela 20 - Limites da Transmitância Térmica	51
Tabela 21 - Limites da Absorvância Térmica.....	51
Tabela 22 - Absorvâncias de cores alternativas para a fachada, segundo Dornelles (2008)	52
Tabela 23 - Síntese das ponderações das áreas da absorvância das paredes	53
Tabela 24 - Síntese das ponderações das áreas da absorvância da cobertura.....	53
Tabela 25 - Limites da Absorvância Térmica.....	54
Tabela 26 - Parâmetros limites para uso do método simplificado.	58
Tabela 27 - Parâmetros calculados.....	59
Tabela 28 - Área de abertura de fachada	67
Tabela 29 - Área de zona térmica central.....	68
Tabela 30 - Áreas da Envoltória.....	70
Tabela 31 - Volumetria	70
Tabela 32 - Coeficiente de redução de carga térmica total com base no fator de forma e grupo climático correspondente da tipologia.....	71
Tabela 33 - Tabela de classificação.....	71
Tabela 34 - Tabela de classificação preenchida com os intervalos	72
Tabela 35 - Comparação das duas últimas versões do regulamento.....	73



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
BRE	<i>Building Research Establishment</i>
BREEAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
CB3E	Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CSTB	<i>Centre Scientifique et Technique du Bâtiment</i>
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GBC BRASIL	<i>Green Buildign Council Brazil</i>
GC	Grupo Climático
IEA	<i>International Energy Agency</i>
INI	Instrução Normativa Inmetro para Classificação de Eficiência Energética
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LEED	<i>Leadership in Energy & Environmental Design</i>
OIA	Organismo de Inspeção Acreditado
ONU	Organização das Nações Unidas
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PN30	Plano Nacional de Energia de 2030
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
RAC	Requisitos de Avaliação da Conformidade
RTQ	Regulamento Técnico da Qualidade
USGBC	<i>United States Green Building Council</i>



CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

O interesse por fontes energéticas alternativas, na atual realidade do mundo no que diz respeito às condições climáticas, tem sido pauta constante no nosso dia a dia e se tornado prioridade não apenas para os governos e grandes empresas, mas também para a população em geral e seus edifícios.

Poupar energia, tornou-se urgente e não está relacionado apenas à redução de custos, apesar de ser uma questão crucial para alcançar viabilidade econômica em vários âmbitos. A preocupação com o esgotamento de fontes energéticas e com os impactos que causam ao meio ambiente, faz com que cada vez mais surjam edificações mais eficientes, mais sustentáveis e menos agressivas ao meio ambiente em diversas etapas, desde sua concepção projetual até à sua conclusão, além de instigar a conscientização e, conseqüentemente, a utilização adequada dos sistemas de uso final de energia pelos usuários.

Apesar de já existir uma crescente “popularização” do uso alternativo e renovável de energia, os combustíveis fósseis ainda representam uma grande parte do consumo energético global. De acordo com a Agência Internacional de Energia (2020) mais de 80% da eletricidade gerada no Brasil provém da queima de combustíveis fósseis que, além de emitirem gases poluentes e contribuir para o aquecimento global, representam instabilidade energética devido às variações bruscas de preços dos derivados de petróleo.

Em 2020, 52% do consumo de energia elétrica brasileiro foram consumidos em edificações (EPE, 2020). Segundo a *International Energy Agency* – IEA (2018) haverá ainda um aumento de 60% no consumo de edificações até 2040, o que representa 55% do crescimento da demanda elétrica global, e no último trimestre de 2021 segundo a Empresa de Pesquisa Energética esse setor apresentou crescimento de 4,5% em relação ao mesmo período de 2020. Em termos de classe, registrou-se que o setor comercial apresentou maior crescimento, de 9,2% e que, continuará em crescimento até 2023.

Em 2019 a construção civil foi responsável por 38% do total das emissões globais de CO₂ relacionadas à energia, embora as atividades de construção tenham caído de 20 a 30% em 2020, como resultado da pandemia do coronavírus (ONU, 2020).

Com o intuito de reduzir as emissões de gases que contribuem para o efeito estufa e incentivar o uso de geração de energia limpa, diversos acordos e tratados foram feitos entre os países e, a primeira ação política foi a Conferência Mundial do Meio Ambiente que aconteceu em Estocolmo na Suécia em 1974. Posteriormente destaca-se o Protocolo de Montreal em 1987, Conferências do Meio Ambiente que definiram a Agenda 21 no Rio de Janeiro de 1992, o Protocolo de Kyoto em 1997, o Rio+10 em 2002



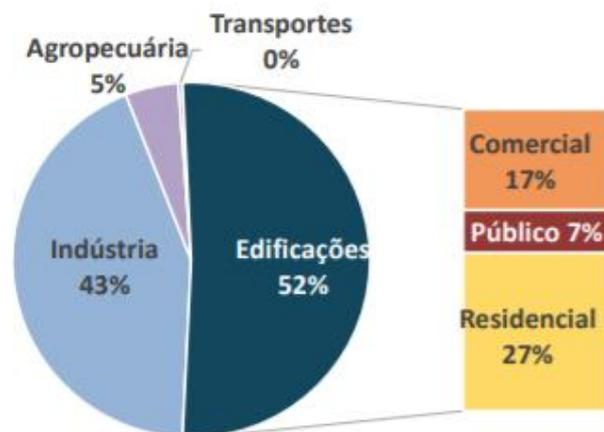
e então o mais conhecido dentre esses, o Acordo de Paris ocorrido em 2015 e do qual participaram 195 países.

Uma forma de reduzir os impactos do consumo de energia nas edificações tem sido criar programas e medidas de incentivo e neste cenário surge a etiquetagem de edifícios que é uma tendência mundial adotada por diversos países. No Brasil, surgiu em 2001 o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), com o objetivo de testar e classificar eletrodomésticos, eletrônicos, veículos e mais produtos dentro de 24 categorias, de acordo com sua eficiência energética.

Neste cenário, surge em 2009, a etiquetagem de energia de edifícios no Brasil, que especifica os requisitos técnicos e os métodos de classificação de edificações energeticamente eficientes com uma regulamentação para edifícios comerciais, de serviços e públicos e, outra para edifícios residenciais (BRASIL, 2010).

De acordo com dados do perfil de consumo setorial de energia elétrica, no Brasil em 2030, o setor comercial e público corresponderá a 17% e 7%, respectivamente (EPE, 2020). Considerando que, as maiores taxas de crescimento estão associadas aos setores comerciais que, esses setores vem sendo alvo de políticas públicas que visam a melhoria da eficiência energética e redução do elevado consumo, conforme apresenta o gráfico da Figura 1.

Figura 1 – Distribuição do consumo de eletricidade em 2030.



Fonte: EPE, 2021.

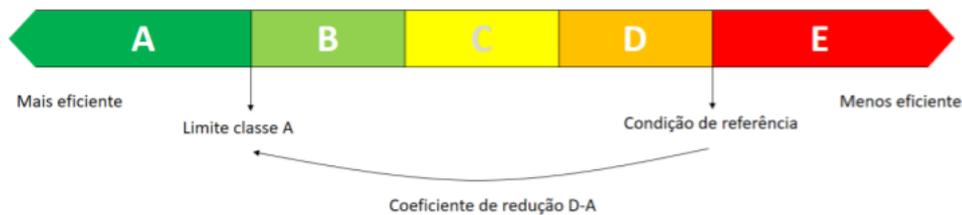
O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C) estabelece critérios e métodos para avaliação e classificação de edificações comerciais, de serviços e públicas quanto à sua eficiência energética visando à etiquetagem dessas edificações.



Desde 2018, o Procel Edifica juntamente com o CB3E (Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações) vem desenvolvendo uma atualização do regulamento a fim de propor uma melhoria do indicador de desempenho. Aprovada em 09 de março de 2021, a nova Instrução Normativa Inmetro para Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) possui emissão de etiquetas com base no procedimento dos Requisitos de Avaliação da Conformidade (RAC) para Eficiência Energética de Edificações. (PBE EDIFICA, 2021)

O RTQ-C classifica o desempenho energético de uma edificação utilizando um indicador de consumo que varia de A (mais eficiente) até E (menos eficiente). A nova proposta do regulamento, baseia-se no consumo anual e mensal de energia primária comparando a edificação em sua condição real com a mesma edificação adotando-se valores de referência, que equivalem à classificação D de eficiência energética, no caso de edificações comerciais, de serviços e públicas. Essa escala de classificação se dá conforme Figura 2.

Figura 2 - Escala para a classificação de eficiência energética.



Fonte: Manual INI-C.

Segundo o INI-C, a opção por utilizar o consumo de energia primária como indicador de eficiência permite que tanto a energia elétrica quanto a térmica sejam contabilizadas, ou seja, edificações com fonte de energia elétrica ou a gás. Ressaltando que edificações energeticamente eficientes que possuam sistemas de geração de energia renovável instalados localmente, podem ser classificadas como “Edificação de Energia Quase Zero”, essas edificações conhecidas como edificações com balanço energético positivo entre geração e consumo, serão classificadas como A+. A nova etiqueta traz ainda, novas informações como quantificação de emissões de CO₂ e potencial de economia de água potável a partir de sistemas que promovam a redução de seu consumo. (PBE EDIFICA, 2021)

1.1. JUSTIFICATIVA

Atualmente as edificações representam a maior parte do consumo de energia elétrica no Brasil (CBCS, 2021). E esse consumo pode ser significativamente reduzido ao



serem implantadas medidas de eficiência energética em edifícios existentes e na concepção de novos.

Outro importante fator para se atentar a menores consumos de energia é a crise hídrica desencadeada no Brasil que reduziu os reservatórios das hidrelétricas a níveis críticos e por isso, a conta de luz ficou ainda mais cara para os brasileiros uma vez que, a maior parte da geração no país é feita por usinas hidrelétricas.

A implantação de medidas de eficiência energética gera benefícios quanto à otimização do uso dos recursos e, as estratégias para melhoria no consumo de energia tem sido cada vez mais difundidas. O Programa Brasileiro de Etiquetagem para Edificações, conhecido como PBE Edifica, passou a incluir a partir de 2009 os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Essa etiquetagem já é obrigatória desde 2014 para novas construções e *retrofits* de edifícios públicos federais, através da Instrução Normativa nº 02 do Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão. Em 2021 foi substituído pela Instrução Normativa Inmetro para Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C).

O objetivo principal da etiquetagem de energia de edificações é a de classificar os níveis de eficiência em relação ao consumo de energia sendo avaliadas as características de cada edifício analisado pois, segundo o PBE Edifica em edifícios novos a etiquetagem tem um potencial de redução de até 50% do consumo de energia se comparado aos edifícios sem etiqueta. Em edificações já construídas, o potencial de redução é de 30%. Neste trabalho analisou-se uma edificação de uso público, ainda em fase de projeto, a fim de classificá-la quanto à sua eficiência.

1.2. OBJETIVO GERAL

O objetivo principal dessa pesquisa é analisar a envoltória do projeto do Clube de Ciências que foi desenvolvido para a Universidade Federal do Pará, pelo escritório de arquitetura Meia Dois Nove Arquitetura & Consultoria, para através da comparação entre a Instrução Normativa Inmetro para Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C) verificar as possíveis divergências e pontos em comum que apresentam, salientando ainda, como cada método classifica a mesma edificação. A envoltória é um dos três sistemas a ser analisado na determinação do nível de eficiência de uma edificação e é o sistema no qual este trabalho estará focado, utilizando-se do método prescritivo do RTQ-C e do método simplificado do INI-C. Esse estudo optou por focar no segmento comercial que, junto com o segmento de serviços e públicos são importantes para se alcançar as metas traçadas no Plano Nacional de Energia de 2030 (PNE30).



1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a edificação através dos cálculos do RTQ-C e propor melhorias, se necessário, fazendo uma análise crítica do regulamento;
- Analisar a edificação através dos cálculos do INI-C e propor melhorias, se necessário, fazendo uma análise crítica do regulamento;
- Comparar os pontos divergentes e em comum dos resultados das duas metodologias e fazer uma análise crítica na mudança do regulamento;
- Analisar os procedimentos de cálculo de cada regulamento, a fim de contribuir para a pesquisa e fornecer material para próximos estudos que possam surgir.

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Essa pesquisa está estruturada em seis capítulos, apresentados da seguinte forma:

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO, se inicia com uma breve apresentação do tema escolhido para o estudo, a fim de contextualizar e justificar o trabalho proposto. Nesse capítulo também são apresentados os objetivos gerais e específicos e um breve resumo dos próximos capítulos;

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, trata sobre os principais conceitos relacionados ao tema da pesquisa. Disserta sobre arquitetura bioclimática, a importância da eficiência energética nas edificações e trata do Programa Brasileiro de Etiquetagem em Edificações (PBE Edifica);

CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA, expõe todas as etapas de cálculo e de análise utilizadas na pesquisa. Apresenta-se o novo regulamento (INI-C) para aplicação de etiquetagem com ênfase no estudo de envoltória da edificação;

CAPÍTULO 4 – ESTUDO DE CASO E ANÁLISE DO RTQ-C, apresenta as características técnicas e construtivas da edificação como: localização, componentes construtivos, posição com relação ao Norte geográfico, entorno e forma arquitetônica que foram obtidas através do levantamento das informações contidas no projeto e memoriais cedidos pelo escritório responsável pela concepção. Posteriormente, aplica-se a metodologia antiga (RTQ-C), calcula-se as classes de eficiência energética parcial de envoltória e em seguida, é recomendada a substituição de alguns materiais e novo diagnóstico;

CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DO INI-C E COMPARAÇÃO DE RESULTADOS, onde apresenta o cálculo da nova metodologia para as duas condições propostas pela INI-C:



real e de referência e classifica a edificação, posteriormente compara os resultados obtidos nas duas metodologias e seus impactos na etiquetagem;

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO, apresenta as conclusões do que foi exposto ao longo do trabalho de acordo com seu objetivo e apresenta as limitações do estudo.



CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A IMPORTÂNCIA DA ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

Os primeiros estudos de arquitetura bioclimática surgiram em meados da década de 1960 quando os irmãos Victor e Aladar Olgay iniciaram as primeiras discussões e referências da área. Neste contexto, eles criaram o termo *bioclimatism* (derivado de bioclima) onde buscavam apresentar maneiras de criar projetos mais adequados à natureza e seus processos energéticos.

A carta bioclimática de Olgay (1963) propõe estratégias em que a edificação possa se adaptar ao clima em que está inserido. O gráfico possui uma zona de conforto térmico que, segundo o autor, está compreendida entre as umidades relativas de 30 a 65%.

Posteriormente, em 1969, surge a Carta Bioclimática sugerida por Givoni adaptada sobre uma carta psicrométrica (Figura 3) onde corrige algumas limitações do diagrama idealizado por Olgay, propondo ainda estratégias construtivas para adequar a arquitetura ao clima.

Figura 3- Carta Bioclimática adaptada



Fonte: Lamberts, 2014.

Importante salientar o papel de uma arquitetura eficiente que busca o baixo consumo energético desde a criação da edificação ainda em fase de estudo projetual com o intuito de gerar conforto aos usuários, otimizar os recursos disponíveis para a edificação e direcioná-los, a fim de criar construções mais sustentáveis e, consequentemente visando a redução de consumo energético dos edifícios. Isso se dá através da análise de estratégias climáticas com utilização de recursos como os sugeridos pelos estudos das cartas bioclimáticas adaptadas ao longo da história.



O estudo adequado visando: a orientação solar mais apropriada; a forma e partido arquitetônico do edifício; o tratamento das fachadas; a utilização de materiais adequados de acordo com as zonas bioclimáticas nas quais essa edificação estará inserida; a distribuição correta internamente de cada ambiente; olhar atento para o máximo aproveitamento da iluminação e ventilação natural dentre outros parâmetros técnicos provenientes da arquitetura bioclimática, são itens que contribuem para uma edificação mais eficiente.

Cabe salientar que maiores níveis de eficiência podem ser alcançados por meio de estratégias de projeto, porém, é importante também compreender a importância do papel do usuário para a vida útil do edifício eficiente.

E ainda, com o panorama energético atual no país de crise hídrica e grande instabilidade nos preços de energia, se torna evidente a necessidade de um melhor desempenho energético nas edificações (Monteiro, 2020).

2.2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

A arquitetura sustentável se tornou assunto recorrente devido ao grande impacto energético, econômico e ambiental que as edificações causam (Zemero, 2019). Segundo o Balanço Energético Nacional (EPE, 2020) as edificações representam a maior parcela do consumo de energia elétrica no Brasil e este consumo corresponde a 52% do consumo total do país.

A instauração de uma economia altamente competitiva tem exigido empresas mais eficientes em suas atividades, e a eficiência energética em edificações tem como finalidade a economia no uso da energia sem comprometer o conforto lumínico, acústico e ergonômico a fim de atingir maior qualidade do espaço para os usuários. (LADE, 2021)

A crise do petróleo ocorrida na década de 70 foi como um alerta para que muitos países buscassem novas fontes energéticas, e como as fontes disponíveis apresentavam custos mais altos além de exigirem longos períodos para implantação, foi que o uso racional da energia passou a ser visto como melhor opção.

O uso eficiente da energia elétrica não proporciona somente a redução de custos, mas também dos impactos ambientais na construção, influenciando na vida útil e demolição dos edifícios. Devido à essa nova dinâmica que permeia as edificações, desenvolveram-se pesquisas e etiquetas para classificar a aplicação de tecnologias energeticamente eficientes em edificações novas e/ou em processo de *retrofit*.

Os regulamentos de classificação ambiental e energética para as edificações, começaram a surgir ainda na década de 1970, porém foi na década de 90 que se



desenvolveu o conceito de sustentabilidade. Neste período surgiram certificações como *LEED*, *HQE* e *BREEAM*.

Entre as principais certificações, pode-se citar a certificação *BREEAM - Building Research Establishment Environmental Assessment Method* que significa Método de Avaliação Ambiental desenvolvida pelo *Building Research Establishment (BRE)* no Reino Unido destinada para a construção ou reforma de edificações públicas, comerciais, residenciais e loteamentos. Os critérios de avaliação dessa certificação são reconhecidos internacionalmente, são eles:

- Gerenciamento;
- Energia;
- Água;
- Transporte;
- Materiais;
- Poluição;
- Saúde e bem-estar;
- Uso da terra e ecologia;
- Resíduos.

A obtenção desse selo britânico agrega benefícios fiscais no Reino Unido. No Brasil, ainda é pouco desenvolvido e não há uma entidade que represente a certificação a fim de divulgá-la, inclusive devido ao atendimento de alguns critérios como por exemplo a análise do ciclo de vida, pouco disponíveis no país, o que dificulta a obtenção do selo (SOUZA, 2017).

O *LEED - Leadership in Energy & Environmental Design* (Liderança em Energia e Design Ambiental) foi desenvolvido pela *USGBC (United States Green Building Council)* e é o sistema de certificação comercial mais divulgado e aplicado internacionalmente, presente em cerca de 160 países com mais de 170 mil m² certificados diariamente (GBC BRASIL, 2021).

Essa certificação pode ser aplicada a qualquer momento e em todo empreendimento, sendo analisado em 8 dimensões. Todas as dimensões possuem pré-requisitos (práticas obrigatórias) e créditos (recomendações) em que, à medida que são atendidos, garantem pontos à edificação. A certificação pode variar de acordo com os pontos: de 40 até 110 e cada pontuação irá resultar em um nível, podendo ser: Silver, Gold e Platinum.

As categorias avaliadas são conforme Figura 4.



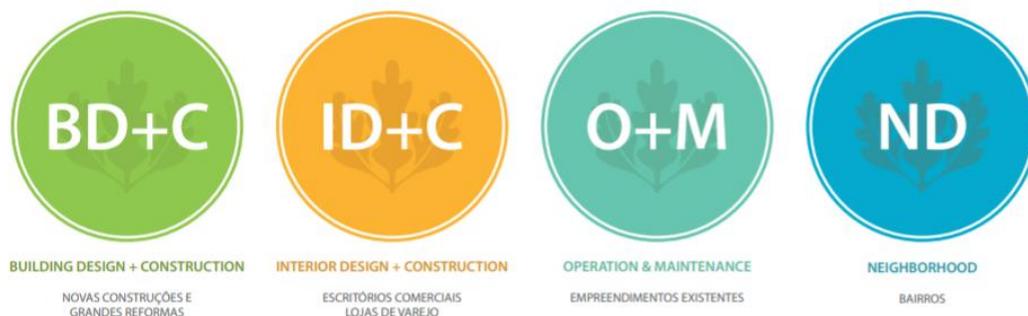
Figura 4 - Categorias LEED



Fonte: GBC BRASIL.

O LEED possui 4 tipologias que devem ser aplicadas de acordo com cada tipo de empreendimento conforme Figura 5, são elas:

Figura 5 - Categorias LEED



Fonte: GBC BRASIL.

Outra certificação difundida é o selo AQUA (Alta Qualidade Ambiental) que foi criado no Brasil em 2007 pela Fundação Vanzolini em parceria com o Instituto francês *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB), e os professores da Escola Politécnica da USP. O diferencial da certificação é que, apesar de ser originária de outro país, suas documentações consideram o clima, a cultura, as normas técnicas e regulamentações brasileiras.

O processo de Certificação AQUA-HQE é composto por auditorias periódicas, em 3 fases: pré-projeto, projeto e execução e pode ser usado para certificar edifícios em construção, em operação, bairros e loteamentos. A certificação tem reconhecimento nacional e internacional e os critérios para certificação consistem em 14 itens agrupados em 4 famílias:



Família 1: Sítio e Construção

1. Relação do Edifício com o seu entorno;
2. Escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos;
3. Canteiro de obras com baixo impacto ambiental.

Família 2: Gestão

4. Gestão da Água;
5. Gestão da Energia;
6. Gestão dos resíduos de uso e operação do edifício;
7. Manutenção: permanência do desempenho ambiental.

Família 3: Conforto

8. Conforto Higrotérmico;
9. Conforto Acústico;
10. Conforto Visual;
11. Conforto Olfativo.

Família 4: Saúde

12. Qualidade Sanitária dos Ambientes;
13. Qualidade Sanitária do Ar;
14. Qualidade Sanitária da Água.

2.3. PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM EM EDIFICAÇÕES (PBE EDIFICA)

Em diversos países, a etiquetagem de edificações é obrigatória. No Brasil, o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica) nasceu da cooperação entre a Eletrobras e o Inmetro, destinado a edifícios comerciais, de serviços e públicos e, residenciais, com o intuito de avaliar e classificar o desempenho energético de edificações. A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) pode ser concedida de forma parcial ou total e pode ser obtida em dois momentos: durante a fase de projeto e após a construção do edifício, podendo ser analisado pelo método de simulação ou simplificado através de cálculos e tabelas.

Nos edifícios comerciais, de serviços e públicos são avaliados três sistemas: envoltória, iluminação e condicionamento de ar. A etiqueta pode ser concedida de forma parcial desde que, neste caso, contemple a avaliação de envoltória.

Com a atualização do regulamento, um importante aspecto a ser destacado é a modificação da apresentação da etiqueta. Na etiqueta do RTQ-C, tem-se a existência das



bonificações na ENCE e os sistemas são avaliados pelo consumo em kWh aparecendo no quadro principal em forma de classificação, conforme apresenta a Figura 6.

Figura 6 - Etiqueta ENCE geral de projeto, RTQ-C.

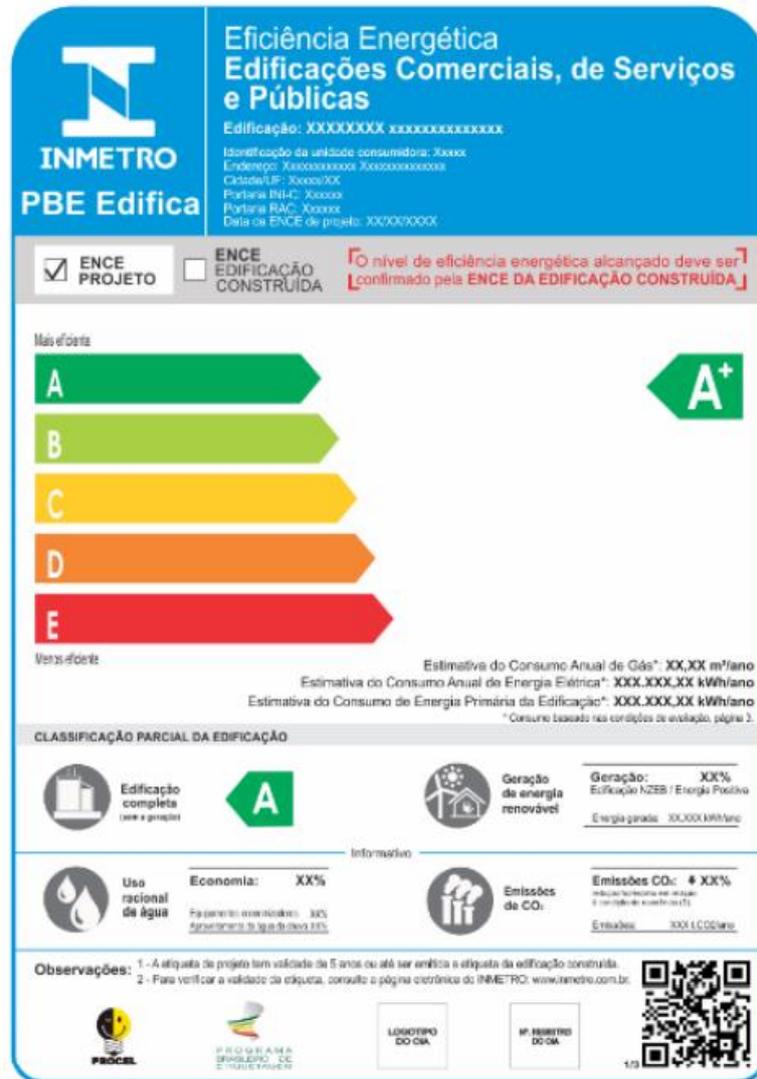


Fonte: PBE Edifica.

Por outro lado, a etiqueta calculada a partir da INI-C (Figura 7), possui como base o consumo de energia primária, em kWh/ano, considerando também o uso racional de água e emissões de dióxido de carbono e a escala de classificação tem como valores de referência a classe D.



Figura 7 - Etiqueta ENCE geral de projeto, INI-C.



Fonte: Manual do INI-C.

As etiquetas são emitidas por um Organismo de Inspeção Acreditado (OIA) pelo Inmetro, para a Eficiência Energética em Edificações – OIA-EEE.

No Brasil, a etiquetagem já é obrigatória desde 2014 para novas construções e *retrofits* de edifícios públicos federais, através da Instrução Normativa nº 02 do Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão de 2014. A previsão é de que de acordo com o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), a etiquetagem se torne obrigatória para as demais edificações até 2030.

No ano de 2018, a metodologia do PBE Edifica dos Requisitos Técnicos da Qualidade (RTQs) para classificação das edificações, entrou em processo de mudança e em março de 2021 passou a se chamar Instrução Normativa Inmetro (INI).



2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse capítulo apresentou o termo “arquitetura bioclimática” em conjunto com as atualizações ao longo do tempo do uso das cartas bioclimáticas, informação de grande importância para todo o contexto dessa pesquisa. Além de apresentar o conceito de eficiência energética de edificações e os programas de etiquetagem espalhados ao redor do mundo com suas devidas características de avaliação e classificação, como *BREEAM*, *LEED* e *AQUA*. Ao longo do capítulo também foi abordado o Programa Brasileiro de Etiquetagem, a apresentação da ENCE e a uma breve descrição da metodologia e sua fase de atualização a que foi submetida a partir de 2018.

Ao longo deste estudo, foram abordadas as duas metodologias de avaliação de eficiência energética das edificações: o RTQ-C e INI-C a fim de avaliar um projeto de edificação pública/institucional e propor melhorias para alcançar o nível máximo de eficiência, caso ele não fosse alcançado inicialmente.

O próximo capítulo, apresentará a metodologia utilizada ao longo desse trabalho, assim como suas aplicações de avaliação.



CAPÍTULO 3: METODOLOGIA

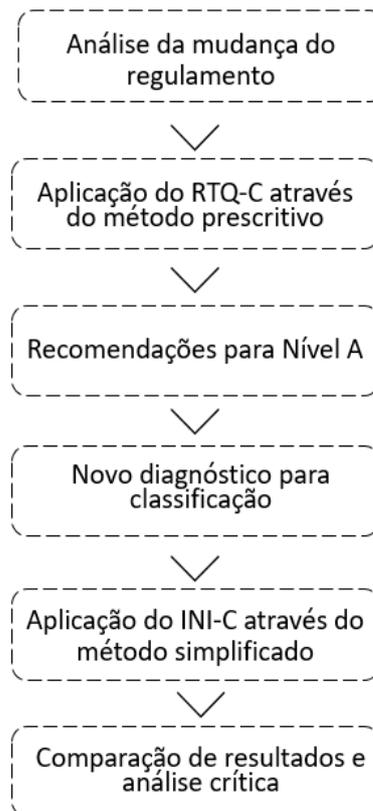
A metodologia utilizada neste trabalho é uma análise comparativa que se baseia em documentos, são eles: o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e, a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C).

3.1. ESTRUTURA DE APLICAÇÃO DOS REGULAMENTOS

A fim de classificar o nível de eficiência energética da edificação, será aplicada o RTQ-C e posteriormente será realizada a análise da INI-C para as condições real e de referência. Serão ainda, feitas recomendações para se elevar o nível de classificação alcançado pela análise do RTQ-C.

Após as análises, será feita uma comparação entre o método atualizado (INI-C) e o método anterior (RTQ-C) a fim de verificar suas diferenças e melhorias. Para melhor demonstração, o fluxograma da Figura 8 representa as etapas de aplicação do estudo.

Figura 8 - Fluxograma do trabalho



Fonte: Autora.



3.2. REQUISITOS TÉCNICOS DE QUALIDADE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICAS (RTQ-C)

O RTQ-C é um regulamento brasileiro de etiquetagem que visa uma classificação energética de edificações através da avaliação de três sistemas: envoltória, iluminação e condicionamento de ar. Para aplicação do método, reúne-se os itens em uma equação geral e posteriormente é realizada uma análise de atendimento aos pré-requisitos da norma.

Para a classificação da envoltória, é necessário determinar um conjunto de índices referentes às características físicas da edificação, associados a componentes que configuram a “pele” do edifício (como cobertura, fachadas e aberturas) e são complementados pelo volume, área do piso e orientação de cada uma das fachadas.

A eficiência do sistema de iluminação é analisada calculando-se a densidade de potência instalada de acordo com as diferentes atividades exercidas pelos usuários de cada ambiente, sendo que, quanto menos a potência utilizada menor é a energia consumida logo, mais eficiente é o sistema (desde que sejam garantidas as condições adequadas de iluminância de cada ambiente de acordo com a atividade a ser exercida).

Já o sistema de ar condicionado, pode ser dividido em duas classes: uma classe relacionada aos sistemas individuais como splits classificados pelo INMETRO e, a outra relacionada aos sistemas centrais de condicionamento de ar que não são classificados pelo INMETRO e devem seguir prescrições conforme apresenta o regulamento, o que torna um sistema mais complexo de se adquirir a classificação do nível de eficiência uma vez que, depende de um número de requisitos e não apenas pela consulta da etiqueta.

A análise pode ser realizada de forma geral ou parcial, esta última em caso de análise de apenas um sistema.

3.3. INSTRUÇÃO NORMATIVA INMETRO PARA A CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICAS (INI-C)

Em julho de 2018, foi publicada uma consulta pública da proposta de aperfeiçoamento do método de etiquetagem de edificações no Diário Oficial da União. As diretrizes da nova metodologia estão descritas na Instrução Normativa Inmetro tanto para edificações comerciais, de serviços e públicas (INI-C) quanto para edificações residenciais (INI-R). A atualização do método se baseia no consumo de energia primária comparando-se a edificação estudada com a mesma edificação em sua condição de referência (equivalente à classificação D de eficiência energética) onde são avaliados: envoltória, condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água.



A condição de referência deve ser adotada conforme a tipologia da edificação e suas características conforme manual de aplicação da INI-C, e os percentuais de economia irão variar de acordo com a tipologia da edificação, seu fator de forma e o clima em que a edificação está inserida.

Para a classificação climática, o novo regulamento adota o texto de Roriz (2014) o qual divide o território brasileiro em 24 grupos climáticos (GC).

Posterior a avaliação da edificação, têm-se os consumos de energia elétrica ou térmica da edificação estudada e compara-se com o consumo real. A metodologia atualizada estuda também o consumo estimado de equipamentos instalados, o uso racional da água, a geração local de energia renovável e as emissões de dióxido de carbono (CO₂).

O INI possui duas possibilidades de obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE): a geral (ENCE geral) onde todos os sistemas são avaliados em conjunto e, a parcial (ENCE parcial) onde avalia-se combinações entre os sistemas ou somente para a envoltória. A ENCE geral pode ser obtida somente pela avaliação de todos os sistemas parciais e, a ENCE parcial tem como obrigatoriedade a avaliação da envoltória. As edificações submetidas à INI devem atender às normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) vigentes.

O consumo energético dos sistemas presentes na edificação, podem ser avaliados utilizando os métodos de simulação e/ou simplificado. É possível ainda, que os sistemas de uma mesma edificação sejam avaliados pela combinação entre os métodos (simplificado e simulação) conforme possibilidades da Tabela 6.1 do manual, apresentada na Figura 9 a seguir:

Figura 9 - Combinações entre os sistemas e métodos de avaliação.

			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		✓	✓	✓		✓	×
	Condic. de ar		×	×	✓	✓		×
	Aquecimento de água		✓	✓	✓	✓	✓	

Fonte: Manual do INI-C.

Onde:

Edif. CA: edificação condicionada artificialmente



Edif. VN: edificação ventilada naturalmente

3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foi apresentada a metodologia do RTQ-C e INI-C. A apresentação da metodologia do RTQ-C foi apresentada de forma mais resumida devido ser a metodologia que já passou por atualizações resultando no INI-C. Toda a aplicação da metodologia do RTQ-C foi discutida de forma minuciosa em trabalhos anteriores.

A seguir, será apresentado o estudo de caso no qual foi realizada a análise energética através do RTQ-C e INI-C com o propósito de comparar e analisar as duas propostas das metodologias e seus avanços.



CAPÍTULO 4: ESTUDO DE CASO E ANÁLISE DO RTQ-C

Como já mencionado, a etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), pode ser obtida para todos os sistemas em conjunto (ENCE geral), para diferentes combinações entre os sistemas ou somente para a envoltória da edificação (ENCE parcial).

A envoltória de uma edificação consiste em todas as superfícies que realizam troca de calor entre os ambientes internos da edificação e o ambiente externo, sendo importante o controle da temperatura, ventilação, umidade e luminosidade. Para sua avaliação deve-se considerar o clima de onde o edifício está inserido, a orientação solar das fachadas, a área dos pavimentos, a área de projeção da cobertura, a área total construída, o volume do edifício, a área de envoltória, o percentual de abertura e o sombreamento. A partir dos cálculos envolvendo essas características é possível obter a etiqueta parcial da envoltória. Cabe salientar, que a obtenção de uma etiqueta de eficiência não é definitiva e pode ser continuamente melhorada com inovações e uso adequado da edificação.

4.1. A EDIFICAÇÃO

O prédio do Clube de Ciências da UFPA irá se localizar em Belém-PA no campus da Universidade Federal do Pará, no bairro Guamá, ao lado do prédio do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemáticas (PPGECM) conforme Figura 10.

Figura 10 - Localização da edificação



Fonte: Adaptado do GoogleEarth



A edificação possui dois pavimentos sendo térreo e mais um, e uma área total construída de 1106,84 m² que conta com salas de aulas e salas administrativas, um anfiteatro e um auditório além de salas de apoio e áreas de circulação (Figura 11).

Figura 11 - Render da edificação



Fonte: Meia Dois Nove Arquitetura & Consultoria

4.2. ANÁLISE DE ENVOLTÓRIA ATRAVÉS DO RTQ-C

4.2.1. DADOS DA EDIFICAÇÃO

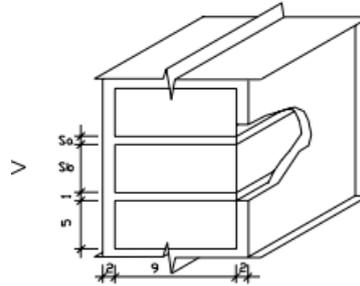
Por se tratar de uma edificação ainda a nível de projeto, não construído, alguns parâmetros foram assumidos para fins de cálculo.

a. PAREDES:

O componente construtivo das paredes não foi especificado em projeto, sendo assim, para o estudo da classificação de eficiência energética da edificação foram consideradas as paredes externas compostas por tijolos cerâmicos convencionais de seis furos assentados à cutelo com argamassa em duas superfícies de 1,5cm de espessura e espessura de reboco com 2,5cm interno e externo (Figura 12). Nas fachadas, o projeto define revestimentos cerâmicos esmaltados em quatro cores, sendo elas: azul royal, terracota, amarelo e preto.



Figura 12- Representação esquemática das paredes de alvenaria.



Fonte: NBR 15220 – 2

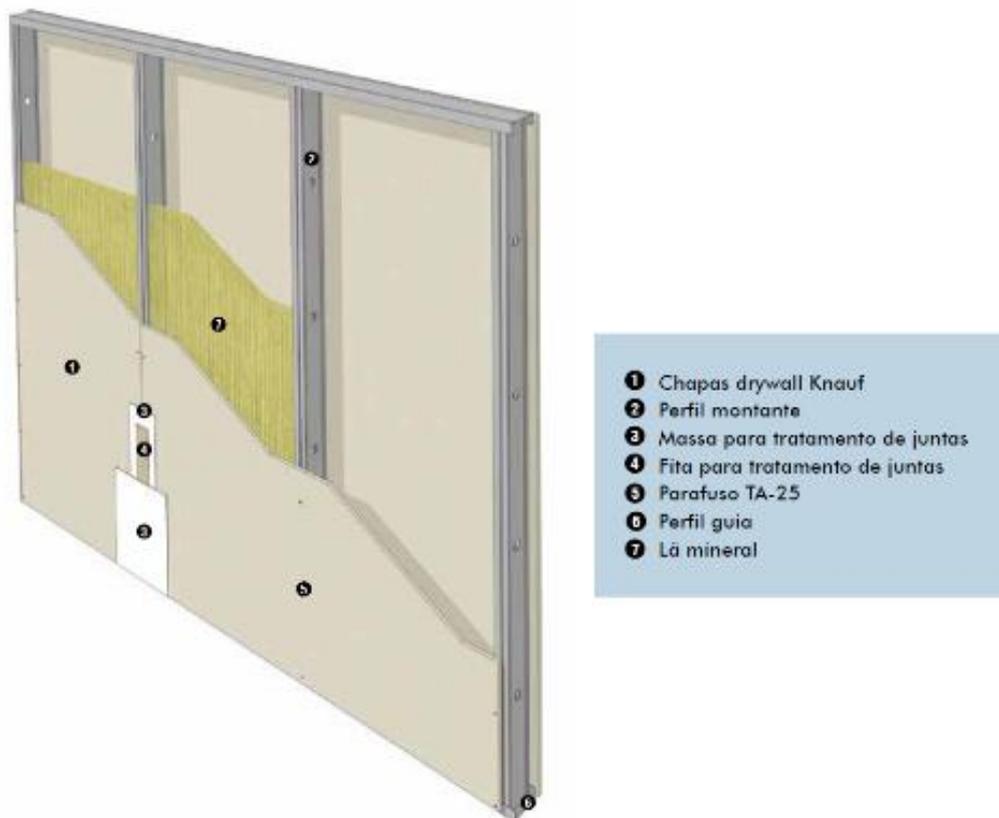
Tijolos de seis furos ($\rho = 1600 \text{ kg/m}^3$) - 0,09cm x 0,14cm x 0,19cm

Argamassa ($\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$)

Revestimentos cerâmicos esmaltados ($\rho = 1925 \text{ kg/m}^3$)

Quanto às paredes internas, são em sua maioria de alvenaria, porém o projeto sinaliza também algumas divisórias em drywall (Figura 13).

Figura 13- Representação esquemática da estrutura do drywall.



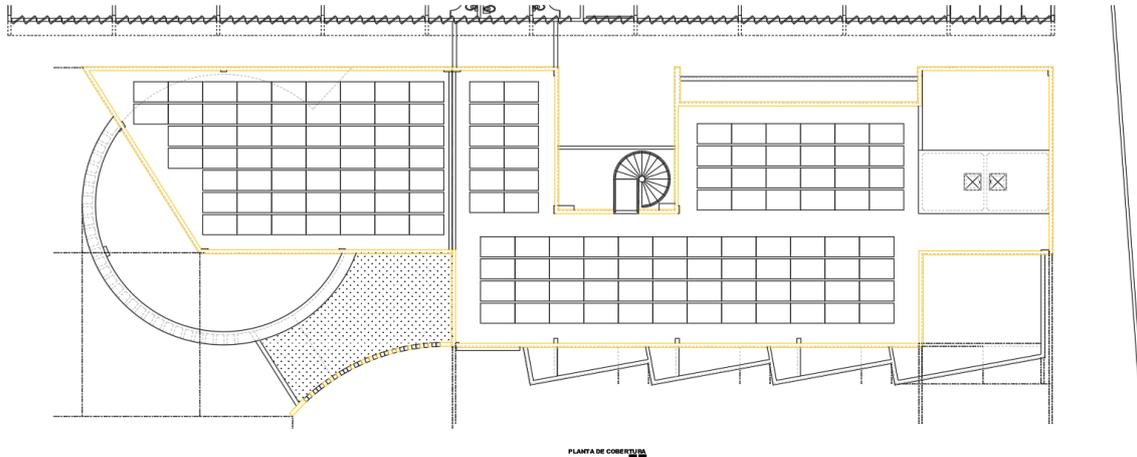
Fonte: <https://www.vivadecora.com.br/pro/curiosidades/especificacao-drywall> Acessado em: 22/11/2021.



b. COBERTURA:

O prédio possuirá uma cobertura formada por lajes impermeabilizadas e, em grande parte será ocupada por painéis fotovoltaicos (Figura 14). O forro será em gesso acartonado.

Figura 14 - Planta de cobertura



Fonte: Meia Dois Nove Arquitetura & Consultoria

De acordo com a norma brasileira NBR 15220-2 a Tabela 1 apresenta as propriedades dos componentes da envoltória identificados em projeto.

Tabela 1- Propriedades dos componentes da envoltória

Dados da envoltória	espessura (m)	P (kg/m ³) Densidade de massa aparente	λ [w/(m.k)] Condutividade térmica	C [kj/(kg.K)] Calor específico
Tijolo cerâmico 6 furos	0,19	1600	0,9	0,92
Argamassa	0,015	2000	1,15	1
Reboco	0,03	2000	1,15	1
Concreto	0,14	2200	1,75	1
Laje	0,2	2000	1,75	1
Revestimento cerâmico	0,005	1925	1,15	0,763
EPS (poliestireno expandido)	0,15	25	0,04	1,42
Gesso	0,02	875	0,35	0,84

Fonte: Adaptado da norma.

4.3. DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA DA ENVOLTÓRIA

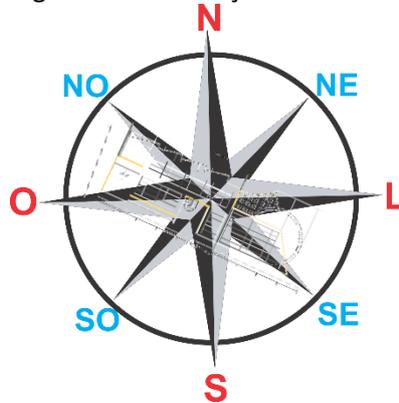
4.3.1. VERIFICAÇÃO DOS PRÉ-REQUISITOS:

Segundo o Manual do RTQ-C (2010), a orientação das fachadas influencia na eficiência da edificação. Sendo assim, é importante a definição da orientação de cada fachada adequadamente através da implantação do edifício. Para a definição da



orientação de fachadas, sobrepõe-se a edificação sobre a rosa dos ventos (Figura 15), a projeção da reta perpendicular à fachada identifica sua orientação. O edifício do Clube de Ciências encontra-se orientado com o eixo longitudinal no sentido Leste e Oeste, com deslocamento em torno de 20° no sentido horário.

Figura 15- Orientação do edifício



Fonte: Autora.

A edificação do Clube de Ciências, segundo a NBR 15220-3 que estabelece para o RTQ-C o zoneamento bioclimático das cidades e municípios do Brasil de acordo com a carta bioclimática adaptada a partir da sugerida por Givoni (“Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines”), está situada na Zona Bioclimática 8.

Para obter a determinação do nível de eficiência da envoltória, é necessário que seja verificado se o prédio analisado atende aos pré-requisitos específicos, são eles: Transmitância Térmica, Absortância térmica e Abertura Zenital.

Como o projeto não apresenta aberturas zenitais, esse pré-requisito não será considerado, apenas os dois pré-requisitos restantes serão analisados.

4.3.2. TRANSMITÂNCIA TÉRMICA (U):

A transmitância térmica de um material representa a capacidade que ele tem de permitir trocas térmicas. Quanto menor a transmitância, mais isolante é a envoltória, e esta deve ser calculada utilizando o método de cálculo da NBR 15220 - Parte 2, que o define como o inverso da resistência térmica (Rt).

$$U = \frac{1}{Rt} \quad (1)$$

Sendo:

U= Transmitância térmica

Rt= Resistência térmica

A resistência térmica por sua vez, é possível ser calculada de acordo com seus componentes. Por apresentar componentes com camadas homogêneas e não



homogêneas e serem perpendiculares ao fluxo de calor, adota-se a fórmula apresentada na equação 2:

$$Rt = \frac{Aa+Ab+\dots+An}{\frac{Aa}{Ra}+\frac{Ab}{Rb}+\dots+\frac{An}{Rn}} \quad (2)$$

Onde, Ra, Rb,..., Rn são as resistências térmicas de superfície à superfície para cada seção (a,b,...,n), enquanto que Aa, Ab,..., An são as áreas de cada seção.

Foram consideradas as seguintes camadas de fechamentos em cada seção:

A **seção a** é composta de argamassa de assentamento, reboco externo e interno e, revestimento cerâmico; a **seção b** é composta por tijolo, reboco externo e interno e revestimento cerâmico; e a **seção c** possui tijolo, reboco externo e interno, câmara de ar e revestimento cerâmico.

Para o cálculo da resistência térmica, utiliza-se a equação 3:

$$Rt = \frac{e}{\lambda} \quad (3)$$

Sendo e a espessura e λ a condutividade térmica do material.

Para a avaliação desta edificação que pretende atender os requisitos Nível “A” (mais eficiente), são realizados dois cálculos de transmitância térmica diferentes, devido a seus limites de propriedades térmicas característicos, são eles: cobertura e paredes.

a. TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DA PAREDE (U):

Para definir a transmitância térmica das paredes é necessário definir a resistência de todos os componentes dela. Para a determinação térmica total, de ambiente a ambiente, utiliza-se a equação 4:

$$RT = Rsi + Rt + Rse \quad (4)$$

Onde, Rt representa a resistência térmica superfície a superfície (seções a, b, c e d), e Rse e Rsi são as resistências superficiais externa e interna, respectivamente. Portanto, são primeiramente estabelecidas as resistências superficiais. A Tabela 2 retirada da NBR 15220 – Parte 2 apresenta valores médios recomendados, adotados para cálculo:

Tabela 2 - Resistências superficiais externa e interna

Rsi (m ² .K)/W			Rse (m ² .K)/W		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente



0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04
------	------	------	------	------	------

Fonte: Adaptado da tabela A.1 da NBR 15220-2.

A capacidade térmica do ar pode ser desprezada, devido apresentar uma densidade de massa aparente muito baixa ($\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$), conforme item 6.3 na NBR 15220 – 2.

Para a câmara de ar da **seção c**, adotou-se a $R_{\text{câm.ar}} = 0,16 \text{ m}^2.\text{K/W}$ conforme especificado na tabela B.1 da NBR 15220 – 2 (Tabela 3), para superfícies de alta emissividade, com espessura de 5cm e fluxo horizontal.

Tabela 3 - Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura “e” da câmara de ar (cm)	Resistência térmica $R_{\text{ar}} \text{ m}^2.\text{K/W}$		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
		→	↑	↓
Superfície de alta emissividade $\epsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\epsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61

Fonte: Adaptado tabela B.1 na NBR 15220-2.

Logo, a resistência térmica total das paredes e sua transmitância serão:

$$RT = R_{\text{si}} + R_{\text{t}} + R_{\text{se}} = 0,13 + 0,505 + 0,04 = 0,675 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$U = \frac{1}{RT} = 1,48 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

A Tabela 4 mostra os valores calculados levando em consideração a média das transmitâncias e das capacidades térmicas ponderadas pelas áreas que ocupam. As capacidades térmicas da edificação se encontram detalhadas no Anexo A.

Tabela 4 - Síntese da ponderação das transmitâncias e capacidades térmicas

Descrição do material	Área (m ²)	Transmitância (U) (W/m ² .K)	Capacidade Térmica (kj/m ² .K)	Coef. de ponderação
Paredes de tijolo cerâmico e revestimento cerâmico	687,68	1,48	415,10	0,8108



Estruturas (vigas e pilares) em concreto	160,48	3,36		0,1892
Transmitância final – U (W/m ² .K) = 1,84		Capacidade Térmica Final – CT (kJ/m ² .K) = 336,56		

Fonte: Relatório do projeto SIGGEE, 2020.

b. TRANSMITÂNCIA TÉRMICA DA COBERTURA (U):

Outro componente construtivo a ser analisado é a cobertura da edificação. É o mesmo processo de cálculo utilizado anteriormente para as paredes, no entanto as seções calculadas foram apenas duas sendo: a **seção a** composta por contrapiso, vigota, câmara de ar e forro de gesso e, **seção b** composta por laje, contrapiso, EPS (poliestireno expandido), câmara de ar e forro de gesso.

Para a câmara de ar é necessário determinar a emissividade, a espessura e a direção do fluxo de ar. Neste caso, a câmara possui alta emissividade, com espessura variável e fluxo descendente. Logo, o valor de resistência da câmara de ar pode ser encontrado na Tabela 5, adaptada da tabela B.1 da NBR 15220 – 2.

Tabela 5 - Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura “e” da câmara de ar (cm)	Resistência térmica Rar m ² .K/W		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
		→	↑	↓
Superfície de alta emissividade ε > 0,8	1,0 ≤ e ≤ 2,0	0,14	0,13	0,15
	2,0 < e ≤ 5,0	0,16	0,14	0,18
	e > 5,0	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade ε < 0,2	1,0 ≤ e ≤ 2,0	0,29	0,23	0,29
	2,0 < e ≤ 5,0	0,37	0,25	0,43
	e > 5,0	0,34	0,27	0,61

Fonte: Adaptado tabela B.1 na NBR 15220-2

Calcula-se a resistência térmica total e a transmitância da cobertura:

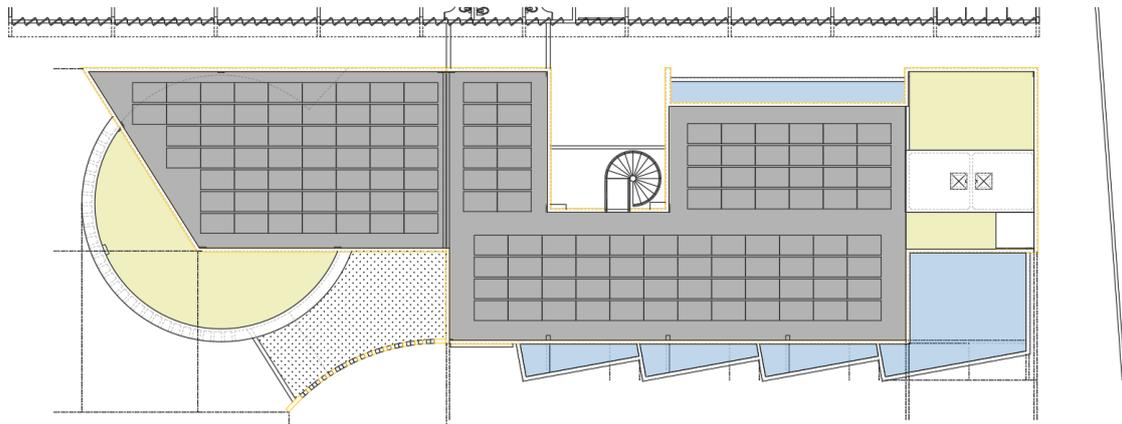
$$RT = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,17 + 0,5289 + 0,04 = 0,7389 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$U = \frac{1}{RT} = 1,35 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{k)}$$

A figura 16 ilustra as situações de condicionamento da cobertura e a mesma se divide em: área condicionada, área não condicionada e, área com painéis fotovoltaicos.



Figura 16 - Setorização da cobertura.



- Área não condicionada
- Área condicionada
- Área com painéis fotovoltaicos

Fonte: Adaptado Meia Dois Nove Arquitetura & Consultoria

A tabela 6 mostra os valores calculados levando-se em consideração a média das transmitâncias ponderadas pelas áreas de condicionamento de ar.

Tabela 6 - Síntese das ponderações das áreas da cobertura

Tipos de cobertura	Área (m ²)	U (W/m ² .K)	Coef. de ponderação	U final	Limite para Nível A
Ambientes não condicionados	84,1652	1,35	0,1574	0,21	2
Ambientes condicionados	68,4536		0,1280	0,17	1
Painéis fotovoltaicos	381,9872		0,7145	0,97	1
Transmitância Final – U (W/m ² .K) = 1,35					

Fonte: Relatório do projeto SIGGEE, 2020.

A Tabela 7 mostra os valores calculados das capacidades térmicas ponderadas pelas áreas que ocupam.

Tabela 7 - Síntese das ponderações das áreas da cobertura

Tipos de cobertura	Área (m ²)	Ct KJ/m ² K	Coef. de ponderação	Ct final
Ambientes não condicionados	84,1652	0,526	0,1574	0,08
Ambientes condicionados	68,4536		0,1280	0,07
Painéis fotovoltaicos	381,9872		0,7145	0,37



Capacidade térmica Final – Ct (W/m².K) = 0,52

Fonte: Autora.

4.3.3. ABSORTÂNCIA TÉRMICA

A absorvância está relacionada com a cor do material e sua capacidade de absorver calor. Quanto mais escuro o revestimento, maior será sua absorção de calor.

Para o cálculo da absorvância das paredes têm-se, conforme Tabela 8:

Tabela 8 - Cores das fachadas de acordo com Dornelles (2008)

Azul royal	Terracota	Amarelo	Preto
0,77	0,69	0,70	0,97

Fonte: Autora.

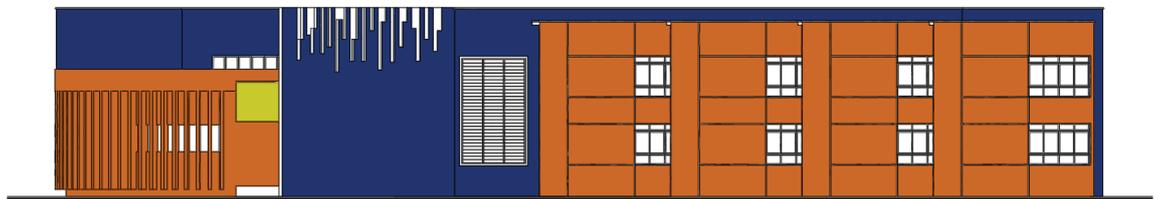
Deve-se ponderar os valores de absorvância das fachadas pela área que ocupam, desconsiderando beirais, marquises e ambientes de permanência transitória acima da laje da cobertura, como por exemplo casa de máquinas e reservatórios de água, conforme orienta na tabela 3.5 do RTQ-C.

A absorvância da parede é calculada conforme equação 5:

$$\alpha = \frac{A_{\text{parede1}} \alpha_{\text{cor1}} + A_{\text{parede2}} \alpha_{\text{cor2}} + A_{\text{parede3}} \alpha_{\text{cor3}} + A_{\text{parede4}} \alpha_{\text{cor4}}}{A_{\text{parede1}} + A_{\text{parede2}} + A_{\text{parede3}} + A_{\text{parede4}}} \quad (5)$$

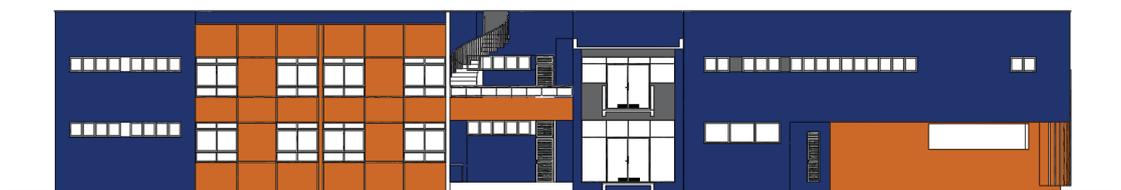
Nas figuras de 17 a 20, observa-se as cores e suas respectivas áreas na fachada Norte.

Figura 17 - Cores na fachada Norte



Fonte: Adaptado Meia Dois Nove Arquitetura & Consultoria

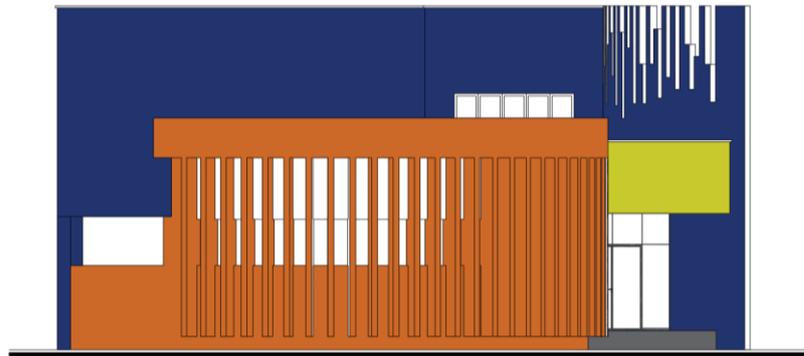
Figura 18 – Cores na fachada Sul



Fonte: Adaptado Meia Dois Nove Arquitetura & Consultoria

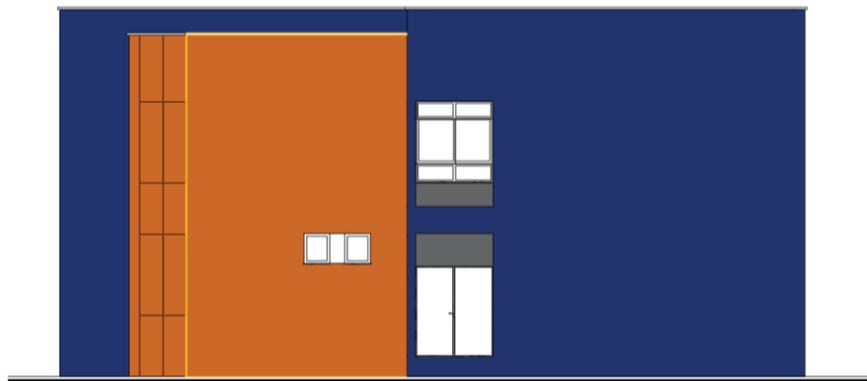


Figura 19 – Cores na fachada Leste



Fonte: Adaptado Meia Dois Nove Arquitetura & Consultoria

Figura 20 – Cores na fachada Oeste



Fonte: Adaptado Meia Dois Nove Arquitetura & Consultoria

Sendo assim, a absorvência das paredes da fachada norte é dada por:

$$\alpha = A_{\text{azul}} \alpha_{\text{azul}} + A_{\text{terracota}} \alpha_{\text{terracota}} + A_{\text{amarelo terra}} \alpha_{\text{amarelo terra}} + A_{\text{azul}} + A_{\text{terracota}} + A_{\text{amarelo terra}}$$

A parede azul = 187,16

A parede Terracota = 241,73

A parede Amarelo terra = 3,62

E assim, assume-se o mesmo raciocínio para as outras fachadas. Após calculado as áreas das respectivas cores em cada fachada, obtém-se a absorvência térmica total das paredes:

$$\alpha_{\text{final}} = \frac{689,93 \times 0,77 + 533,07 \times 0,69 + 9,26 \times 0,70 + 12,08 \times 0,97}{689,95 + 533,07 + 9,06 + 12,08} = 1,47$$



A tabela 9 mostra os valores calculados levando em consideração a média das absorções ponderadas pelas áreas correspondentes de suas cores.

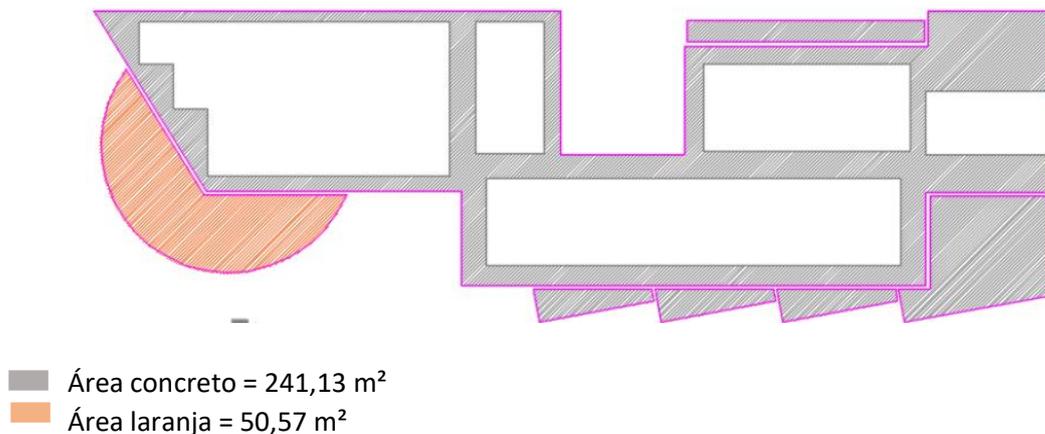
Tabela 9 - Síntese das ponderações das áreas da absorção das paredes

Materiais	Área (m²)	Absorção (α)	Coef. de ponderação	Absorção ponderada
Azul royal/Azul	689,95	0,77	0,55	0,43
Laranja/Terracota	533,07	0,69	0,43	0,30
Amarelo/Amarelo Terra	9,26	0,70	0,01	0,01
Preto	12,08	0,97	0,01	0,01
Absorção Térmica das Paredes Final = 0,75				

Fonte: Relatório do projeto SIGGEE, 2020.

Para o cálculo da absorção térmica da cobertura deve-se considerar a área com a subtração da área ocupada pelos módulos fotovoltaicos, conforme esquema a seguir (Figura 21):

Figura 21 - Esquema das áreas da cobertura



Fonte: Adaptado Meia Dois Nove Arquitetura & Consultoria por Equipe GE.

Para o cálculo da absorção térmica da cobertura, também deve-se desprezar áreas de ambientes de permanência transitória como casa de máquinas, reservatório de água e vãos de escada, segundo a tabela 3.5 do RTQ-C. Na tabela 10 estão os valores calculados considerando os dois tipos de absorções.

Tabela 10 - Síntese das ponderações das áreas da absorção da cobertura

Materiais	Área (m²)	Absorção (α)	Coef. de ponderação	Absorção ponderada
Laje – Cinza	230,19	0,79	0,82	0,65



Revestimento Cerâmico Laranja	50,57	0,69	0,18	0,12
Absortância Térmica da Cobertura Final = 0,77				

Fonte: Relatório do projeto SISGEE, 2020.

4.3.4. PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO

a. FATOR ALTURA (FA):

O Fator Altura, conforme o RTQ-C é a razão entre a área de projeção da cobertura e a área total construída (equação 6), exceto subsolos. Na Tabela 11 tem-se os componentes necessários para o cálculo.

$$FA = \frac{A_{pcob}}{A_{total}} \quad (6)$$

Tabela 11 - Componentes do Fator Altura

Pavimentos	Atot	Apcob
Térreo	591,09	564,67
1° pavimento	515,75	
Total	1.106,84	564,67

Fonte: Relatório do projeto SISGEE, 2020.

Logo, tem-se:

$$FA = \frac{564,67}{1106,84} = 0,51$$

b. FATOR DE FORMA (FF):

O Fator de Forma, segundo o RTQ-C, é dado pela razão entre a área da envoltória e o volume total da edificação.

$$FF = \frac{A_{env}}{V_{total}} \quad (7)$$

A área de envoltória é a soma das áreas das fachadas e cobertura e o volume total é a somatória da razão entre a área dos pavimentos e suas respectivas alturas do piso à laje (pé esquerdo) que pode ser encontrado na Tabela 12 e 13.

Tabela 12 - Áreas da Envoltória

Fachada	Aenv (m ²)
Norte	367,51



Sul	333,53
Leste	194,26
Oeste	169,88
Cobertura	564,67
Total	1.629,85

Fonte: Relatório do projeto SISGEE, 2020.

Tabela 13 - Volumetria

Pavimento	Área (m ²)	Pé esquerdo (m ²)	Vtotal (m ³)
Térreo	591,09	3,50	2.068,82
1° Pavimento	396,02	3,10	1.227,66
Auditório	119,73	3,50	419,06
Total	1.106,84		3.715,53

Fonte: Relatório do projeto SISGEE, 2020.

Calculando o Fator de Forma, tem-se:

$$FF = \frac{1.629,85}{3.715,53} = 0,44$$

c. PERCENTUAL DE ABERTURA DE FACHADA (PAF):

O percentual de Abertura de Fachada Total (PAFT) é determinado pelo resultado da razão entre a soma das áreas de abertura envidraçada, com fechamento transparente ou translúcido (exceto com a área de caixilho das esquadrias) de cada fachada e a área total da fachada da edificação.

Conforme determinado pelo RTQ-C, deve-se calcular primeiramente o PAF para a fachada oeste (PAFO) e em seguida o PAFT. Se o PAFO for pelo menos 20% maior que o PAFT, se torna necessário adotar o PAFO nos cálculos.

O cálculo desses dois percentuais se dá de acordo com as equações 8 e 9:

$$PAFT = \frac{\sum A \text{ de abertura total}}{\sum A \text{ de fachada total}} \quad (8)$$

$$PAFO = \frac{\sum A \text{ de abertura oeste}}{\sum A \text{ de fachada oeste}} \quad (9)$$

A tabela 14 apresenta os valores das aberturas e áreas das superfícies opacas para cada fachada, e os valores finais para PAFT e PAFO.

Tabela 14 - PAFT e PAFO

Fachada	A aberturas (m ²)	A fachada (m ²)	PAFO	PAFT
---------	-------------------------------	-----------------------------	------	------



Norte	47,12	479,64	0,05	0,10
Sul	57,27	409,24		
Leste	21,89	277,44		
Oeste	11,86	249,38		
Total	138,14	1.415,70		

Fonte: Relatório do projeto SISGEE, 2020.

De acordo com a tabela 14, o PAFo não supera o PAFT em 20%, portanto o valor adotado será de 0,10.

4.3.5. ÂNGULOS DE SOMBREAMENTO

No RTQ-C, tem-se o ângulo vertical de sombreamento (AVS – referente a proteções horizontais) e ângulo horizontal de sombreamento (AHS – referente a proteções verticais). Eles são responsáveis por mensurar a obstrução à radiação solar gerada pela proteção solar nas aberturas. Caso o valor de AHS e AVS ponderado seja maior que o limite, deve-se considerar 45° como ângulo final.

Os ângulos de sombreamento são resultado da ponderação do ângulo em função da área das aberturas, dado por:

$$AS = \frac{A_{jan1} \times \theta_{jan1} + A_{jan2} \times \theta_{jan2} + \dots + A_{janN} \times \theta_{janN}}{A_{jan1} + A_{jan2} + \dots + A_{janN}}$$

(10)

a. ÂNGULO VERTICAL DE SOMBREAMENTO (AVS):

O projeto da edificação contempla sombreamento de aberturas, que foram considerados como proteções horizontais, além da projeção das lajes e de outros elementos presentes na própria edificação. Os ângulos verticais de cada fachada estão apresentados na Tabela 15 com seu respectivo AVS final.

Tabela 15 - Ângulos verticais de sombreamento

Fachada	AVS	A abertura
Norte	30,93	61,05
Sul	22,43	75,38
Leste	41,48	35,03
Oeste	39,36	15,60
Área Total	187,06	

Fonte: Relatório do projeto SISGEE, 2020.

$$AVS = \frac{5.646,11}{187,06} = 30,18$$



b. ÂNGULO HORIZONTAL DE SOMBREAMENTO (AHS):

Diferente do AVS, as aberturas no AHS sempre terão dois ângulos devido a consideração de suas extremidades. O AHS surge, da média dos ângulos das duas proteções solares.

Os elementos considerados como proteções verticais foram o auto sombreamento proporcionado pela volumetria da edificação e o sombreamento oferecido pela edificação do Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências e Matemáticas (PPGECM) que se encontra a menos de 2,30m de distância.

Os ângulos horizontais resultantes de cada fachada estão na Tabela 16, assim como o AHS final.

Tabela 16 - Ângulos horizontais de sombreamento

Fachada	AHS	Aabertura
Norte	27,99	61,05
Sul	35,96	75,38
Leste	52,92	35,03
Oeste	49,49	15,60
Total	187,06	

Fonte: Relatório do projeto SIGGEE, 2020.

$$AHS = \frac{7.044,7567}{187,06} = 37,66$$

4.3.6. FATOR SOLAR (FS):

O Fator Solar refere-se ao ganho de calor através da radiação solar incidente em uma abertura. A NBR 15220-2 fornece uma equação para se obter o fator solar, no entanto, na maioria das vezes é possível obtê-lo nos catálogos dos fabricantes dos vidros e esse foi o procedimento adotado na análise. Juntamente com as informações dos vidros informadas pelo escritório responsável pelo projeto, encontrou-se os valores através da tabela de especificações técnicas fornecida pelos fabricantes Guardian Glass Brasil e AGC Vidros.

O projeto apresenta três variações de vidros, e conseqüentemente, três FS diferentes. Para a obtenção do Fator Solar final foi realizada uma ponderação de cada um por sua área ocupada correspondente, presente na Tabela 17.

Tabela 17 - Síntese da ponderação de Fatores Solares

Materiais	Área (m ²)	Fator Solar (FS)	Coef. de ponderação	Fator solar ponderado
-----------	------------------------	------------------	---------------------	-----------------------



Vidro laminado incolor	101,81	0,60	0,71	0,42
Vidro laminado fumê	29,56	0,59	0,21	0,12
Vidro temperado preto	12,75	0,31	0,09	0,03
Fator solar final = 0,57				

Fonte: Relatório do projeto SISGEE, 2020.

Após os cálculos das variáveis que serão utilizadas no cálculo do Índice de Consumo da Envoltória (ICenv), deve ser definida a equação para o cálculo do ICenv que é estabelecida pelo valor da área de projeção do edifício (Ape) e do limite mínimo e máximo do Fator de Forma (FF). A área de projeção do edifício é dada pela equação 11:

$$Ape = \frac{A1^\circ pav + A2^\circ pav + \dots + ANpav}{Npav} \quad (11)$$

Dessa forma, a Ape do edifício analisado é:

$$Ape = \frac{1.154,97}{2} = 577,485$$

4.4. INDICADOR DE CONSUMO DA ENVOLTÓRIA (ICENV):

As equações utilizadas no cálculo de ICenv são definidas conforme zona bioclimática, a área de projeção do edifício e limites do Fator de Forma. Como a edificação em análise se insere na zona bioclimática 8 (Belém), sua Ape apresenta valor maior que 500m² e seu Fator de Forma se adequa ao mínimo, a equação utilizada deve ser a 3.2 do regulamento.

$$\begin{aligned} I_{cenv} = & (-160,36 \times FA) + (1277,29 \times FF) - (19,21 \times PA_{ft}) + (2,95 \times FS) \\ & - (0,36 \times AVS) - (0,16 \times AHS) + (290,25 \times FF \times PA_{ft}) \\ & + (0,01 \times PA_{ft} \times AVS \times AHS) - 120,58 \end{aligned}$$

(12)

Para aplicação desta equação, faz-se necessário reunir as variáveis adquiridas através do método prescritivo:

FA: 0,51

FF: 0,44



PAFT: 0,10
FS: 0,57
AVS: 30,18
AHS: 37,66

Os demais parâmetros são fornecidos pelo próprio regulamento.

$$\begin{aligned} I_{cenv} &= (-160,36 \times 0,51) + (1277,29 \times 0,44) - (19,21 \times 0,10) + (2,95 \times 0,57) \\ &\quad - (0,36 \times 30,18) - (0,16 \times 37,66) + (290,25 \times 0,44 \times 0,10) \\ &\quad + (0,01 \times 0,10 \times 30,18 \times 37,66) - 120,58 \\ &\quad \mathbf{I_{cenv} = 354,36} \end{aligned}$$

O indicador de consumo obtido deverá ser comparado a uma escala numérica dividida em intervalos que descrevem um nível de classificação de desempenho que varia de A a E. Assim, o limite máximo e mínimo do indicador de consumo é calculado a seguir.

4.4.1. INDICADOR DE CONSUMO MÁXIMO (ICMÁXD):

Representa o indicador de consumo máximo que a edificação deverá atingir para obter a classificação D. Acima deste valor, a edificação passa a ser classificada como nível E. Calcula-se o limite máximo a partir da mesma equação, mas com os parâmetros de entrada fornecidos pela tabela 3.2 do RTQ-C.

Considera-se:

PAFT = 0,60
FS = 0,61
AVS = 0
AHS = 0

$$\begin{aligned} I_{cenv} &= (-160,36 \times 0,51) + (1277,29 \times 0,44) - (19,21 \times 0,60) + (2,95 \times 0,61) \\ &\quad - (0,36 \times 0) - (0,16 \times 0) + (290,25 \times 0,44 \times 0,60) \\ &\quad + (0,01 \times 0,60 \times 0 \times 0) - 120,58 \\ &\quad \mathbf{ICmáx = 424,57} \end{aligned}$$

4.4.2. INDICADOR DE CONSUMO MÍNIMO (ICMÍN):

Este indicador, representa o consumo mínimo. Calcula-se o limite mínimo por meio da mesma equação, com os parâmetros de entrada fornecidos pela tabela 3.3 do RTQ-C.

Considera-se:



$$PAFt = 0,05$$

$$FS = 0,87$$

$$AVS = 0$$

$$AHS = 0$$

$$\begin{aligned}
 I_{cenv} &= (-160,36 \times 0,51) + (1277,29 \times 0,44) - (19,21 \times 0,05) + (2,95 \times 0,87) \\
 &\quad - (0,36 \times 0) - (0,16 \times 0) + (290,25 \times 0,44 \times 0,05) \\
 &\quad + (0,01 \times 0,05 \times 0 \times 0) - 120,58 \\
 \mathbf{ICmín} &= \mathbf{365,88}
 \end{aligned}$$

O intervalo é dividido em quatro partes, cada parte se refere a um nível de classificação e uma escala de desempenho que varia de A a E. A subdivisão i do intervalo é calculada com a equação 3.13 do RTQ-C, reproduzida na equação 13 a seguir:

$$i = \frac{ICmáxD - ICmín}{4} \quad (13)$$

$$i = \frac{424,57 - 365,88}{4} = 14,67$$

Para o cálculo dos limites dos intervalos dos níveis de classificação, deve-se observar a tabela 3.4 do RTQ-C. Nas tabelas 18 e 19 são apresentados os valores dos índices obtidos na edificação.

Tabela 18 - Limites dos intervalos

Eficiência	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D	Nível E
Limite Mínimo	-	380,55	395,23	409,91	424,58
Limite máximo	380,55	395,22	409,90	424,57	-

Fonte: Relatório do projeto SISGEE, 2020.

Tabela 19 - Índices gerais

Dados	Clube de ciências	ICmáx	ICmín
FA	0,51	0,51	0,51
FF	0,44	0,44	0,44
PAFt	0,10	0,60	0,05
FS	0,57	0,61	0,87
AVS	30,18	0	0
AHS	37,66	0	0
ICenv	354,36	424,57	365,88

Fonte: Relatório do projeto SISGEE, 2020.



Ao comparar o valor do Indicador de Consumo da Envoltória (ICenv = 354,36) com os limites dos níveis de eficiência da tabela 18, verifica-se que o ICenv não ultrapassa o limite máximo para o nível A. Sendo assim, a envoltória se classifica com o melhor nível de desempenho energético. Contudo, ainda é necessário fazer a verificação do cumprimento dos pré-requisitos específicos.

4.5. ANÁLISE DOS PRÉ-REQUISITOS

O projeto analisado obteve o nível A para envoltória no cálculo de ICenv. No entanto, todos os pré-requisitos específicos devem ser atendidos para manter a classificação.

A tabela 20 apresenta uma comparação entre os limites de transmitância do RTQ-C e os dados da edificação. Neste caso, a transmitância da parede e da cobertura possuem valores inferiores ao solicitado no RTQ-C e, portanto, o nível A poderia ser mantido através desse pré-requisito.

Tabela 20 - Limites da Transmitância Térmica

Dados	Nível A	Nível B	Nível C e D	Clube de Ciências
Transmitância das paredes	$\leq 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, para $CT < 80 \text{ KJ/m}^2\text{K}$			-
	$\leq 3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, para $CT < 80 \text{ KJ/m}^2\text{K}$			$1,75 \text{ W/m}^2\text{K}$
Transmitância da cobertura condicionada	$\leq 1,0$	$\leq 1,5$	$\leq 2,0$	0,17
Transmitância da cobertura não condicionada	$\leq 2,0$	$\leq 2,0$		0,21
Transmitância dos painéis fotovoltaicos	$\leq 1,0$			0,97

Fonte: Relatório do projeto SISGEE, 2020.

A tabela 21 apresenta por sua vez, uma comparação entre os limites de absorvância do RTQ-C e os dados da edificação. Pode-se perceber que tanto a cobertura quanto as paredes não atendem os pré-requisitos, sendo inseridas automaticamente entre a classificação C e D.

Tabela 21 - Limites da Absortância Térmica

Dados	Nível A	Nível B	Nível C e D	Clube de ciências
Absortância das paredes	$\leq 0,50$	-	-	0,75



Absortância das coberturas	≤ 0,50	≤ 0,50	-	0,77
----------------------------	--------	--------	---	------

Fonte: Relatório do projeto SISGEE, 2020.

Após análise de todos os pré-requisitos, conclui-se que a Envoltória não manterá classificação “A” em consequência do não atendimento ao pré-requisito de absortância das paredes e coberturas. Desse modo, o nível de eficiência para o projeto da envoltória é “C”, e seu equivalente numérico 3.

4.6. RECOMENDAÇÕES

Considerando-se os resultados obtidos pela análise de envoltória do RTQ-C, em que o nível de classificação foi nível C, algumas recomendações foram feitas, a fim de, se obter a classificação nível “A” na edificação.

a. PAREDES:

De acordo com a NBR 15220 – 2 as cores das fachadas especificados em projeto, apresentam valor de absortância alto. Para alterar os resultados encontrados, recomenda-se que as especificações dos elementos das fachadas devam estar com os valores de absortância entre 0,2 e 0,5, cores claras, a fim de atender aos pré-requisitos da ENCE.

Sendo assim, pode-se substituir as cores inicialmente propostas pelas da tabela 22:

Tabela 22 - Absortâncias de cores alternativas para a fachada, segundo Dornelles (2008)

Azul Bali	Camurça	Mel	Cinza BR
0,49	0,54	0,45	0,71

Fonte: Autora.

Seguindo, o cálculo da absortância das paredes da fachada é dado por:

Fachada Norte:

$$\alpha = A_{\text{azulbali}} \alpha_{\text{azulbali}} + A_{\text{camurça}} \alpha_{\text{camurça}} + A_{\text{marrocos}} \alpha_{\text{marrocos}} + A_{\text{azul bali}} + A_{\text{camurça}} + A_{\text{marrocos}}$$

$$A_{\text{parede azul bali}} = 187,16$$

$$A_{\text{parede Camurça}} = 241,73$$

$$A_{\text{parede Marrocos}} = 3,62$$

$$\alpha_{\text{final}} = \frac{689,95 \times 0,49 + 533,07 \times 0,54 + 9,26 \times 0,45 + 12,08 \times 0,71}{689,95 + 533,07 + 9,26 + 12,08} = 0,51$$



A tabela 23 mostra os valores calculados levando em consideração a média das absorvâncias ponderadas pelas áreas correspondentes de suas cores.

Tabela 23 - Síntese das ponderações das áreas da absorvância das paredes

 Materiais	 Área (m²)	 Absorvância (α)	 Coef. de ponderação	 Absorvância ponderada
Azul bali	689,95	0,49	0,45	0,22
Camurça	533,07	0,54	0,43	0,23
Marrocos	9,26	0,55	0,01	0,005
Cinza BR	12,08	0,71	0,01	0,007
Absorvância Térmica das Paredes Final = 0,46				

Fonte: Autora.

Sendo assim, observa-se após recomendações que a absorvância térmica das paredes apresenta índice inferior ao índice de absorvância considerado como limite pelo RTQ-C podendo dessa forma, não penalizar e manter a classificação da edificação em nível A.

b. COBERTURA:

Outro ponto importante na classificação do nível de uma edificação quanto sua eficiência energética, se dá devido à absorvância na cobertura. Sendo assim, propôs-se uma pintura na laje com tinta na cor Branco gelo e alteração na tonalidade do revestimento cerâmico, para um tom mais claro. A tabela 24 apresenta os valores calculados com a aplicação da recomendação:

Tabela 24 - Síntese das ponderações das áreas da absorvância da cobertura

 Materiais	 Área (m²)	 Absorvância (α)	 Coef. de ponderação	 Absorvância ponderada
Laje – pintada na cor Branco gelo	230,19	0,48	0,82	0,39
Revest. Cerâmico Pêssego	50,57	0,31	0,18	0,05
Absorvância Térmica da Cobertura Final = 0,44				

Fonte: Autora.

4.7. NOVO DIAGNÓSTICO APÓS RECOMENDAÇÕES:

Comparando agora, os índices de absorvância da edificação com o RTQ-C, percebe-se que tanto a cobertura quanto as paredes atendem aos pré-requisitos e mantém a classificação nível “A”, conforme demonstra a Tabela 25.



Tabela 25 - Limites da Absortância Térmica

Dados	Nível A	Nível B	Nível C e D	Clube de ciências
Absortância das paredes	$\leq 0,50$	-	-	0,46
Absortância das coberturas	$\leq 0,50$	$\leq 0,50$	-	0,44

Fonte: Autora.

O estudo de classificação de eficiência energética de um edifício, se dá levando em consideração os materiais empregados e suas absortância e transmitâncias térmicas. As cores dos materiais, é um fator que influencia diretamente nesta classificação pois, os tons escuros possuem maior absorção térmica e por isto promovem um maior aquecimento nas superfícies e no ar em volta.

A busca por utilizar revestimentos e tintas com cores claras, é fundamental para que o edifício inserido na zona bioclimática 8, não absorva tanta energia para as superfícies (paredes e coberturas).

No geral, nas recomendações para o projeto arquitetônico optou-se pela substituição de cores semelhantes e/ou na mesma paleta de cores que foi especificada pelo escritório de arquitetura responsável pelo projeto, para que, não interferisse em sua assinatura, mas ainda assim, proporcionasse valores suficientes para obtenção de classificação máxima de eficiência desta edificação.

A partir dessas medidas, o sistema construtivo como um todo aquecerá em menor proporção logo, promoverá um menor consumo de energia e maior conforto térmico aos usuários.

4.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O capítulo se propôs a apresentar a edificação estudada com seus devidos parâmetros construtivos, introduziu a metodologia do RTQ-C e posteriormente iniciou-se o cálculo de aplicação do método para a edificação apresentada, sendo realizada também a análise dos pré-requisitos. É importante destacar que a envoltória foi objeto principal de análise dessa pesquisa e único sistema analisado através do RTQ-C.

Em seguida, após constatar-se que a edificação foi classificada em Nível C após penalização do pré-requisito de absortância das paredes e cobertura foram apresentadas recomendações de substituição de materiais a fim de melhorar a classificação da edificação quanto à sua eficiência energética.

O capítulo se encerra com a apresentação de um novo diagnóstico após as recomendações, onde se observa que a classificação do prédio do Clube de Ciências subiu para A.



No capítulo seguinte, será apresentada a metodologia do INI-C e aplicada ao projeto do Clube de Ciências para posteriormente, comparar ambas as metodologias e observar os itens que foram alterados/ adicionados após atualização.



CAPÍTULO 5: ANÁLISE DO INI-C E COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste estudo, foi avaliada a envoltória utilizando-se o método simplificado do INI-C, através de duas condições: a condição real com as características reais da edificação estudada e, a condição de referência que apresenta as características de acordo com a tabela A.2 do regulamento (Figura 22).

Figura 22 - Tabela A.2 do INI-C

Tabela A.2 – Valores de referência para edificações educacionais

Uso típico	Edificações educacionais			
	Condição real	Condição de referência		
		Educação infantil	Ensino fundamental e médio	Ensino superior
Geometria				
Área (m ²)	Condição real			
Orientação solar	Condição real			
Pé-direito (piso a teto) (m)	Condição real			
Aberturas				
PAF - Percentual de área de abertura da fachada (%)	Condição real	40 (0,40)		
Componentes construtivos				
Parede	Condição real	Argamassa interna (2,5 cm), bloco cerâmico furado (9 cm), argamassa externa (2,5 cm)		
Upar - Transmitância da parede externa (W/m ² K)	Condição real	2,39		
αPAR - Absortância da parede (adimensional)	Condição real	0,5		
CTpar - Capacidade térmica da parede externa (kJ/m ² K)	Condição real	150		
Cobertura	Condição real	Telha de fibrocimento, câmara de ar (>5 cm) e laje maciça de concreto (10 cm)		
Ucob - Transmitância da cobertura (W/m ² K)	Condição real	2,06		
αCOB - Absortância da cobertura (adimensional)	Condição real	0,8		
CTcob - Capacidade térmica da cobertura (kJ/m ² 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/m ² 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			
Iluminação e ganhos				
DPI - Densidade de potência de iluminação (W/m ²)	Condição real	15,5**		
Ocupação (m ² /pessoa)	Condição de referência	2,5	1,5	1,5
DPE - Densidade de potência de equipamentos (W/m ²)*	Condição de referência	15,0		
Horas de ocupação (horas)	8			
Dias de ocupação (N _{ano})*	200			
Situação do piso	Condição real			
Situação da cobertura	Condição real			
Isolamento do piso	Condição real	Sem isolamento		
Condicionamento de ar (refrigeração)				
COP - Coeficiente de performance (W/W)	Condição real	2,60		
Temperatura setpoint (°C)*	24,0			
Aquecimento de água*****				
Eficiência do sistema de aquecimento de água sem acumulação ^a	Condição real	0,95		
Eficiência do sistema de aquecimento de água com acumulação ^b	Condição real	0,85		
Temperatura de armazenamento	50 °C			



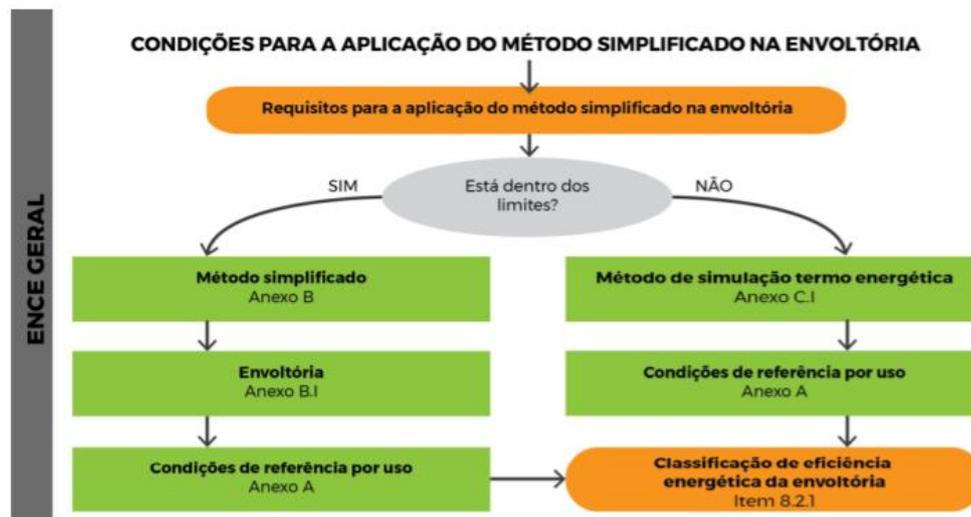
Fonte: Manual do INI-C.

A condição real é definida a partir da análise da edificação construída ou em projeto, levando em consideração suas características construtivas e suas reais demandas energéticas. Enquanto a condição de referência, é segundo o INI-C:

“Condição de referência: Características construtivas típicas de determinada tipologia arquitetônica em função de diferentes usos. A condição de referência possui a mesma forma, orientação solar e pé direito da edificação avaliada; porém, as demais características construtivas da condição de referência são pré-fixadas em função do uso, de forma que esta seja equivalente à classificação D de eficiência energética” (INI-C, 2021).

Para a escolha do método a ser utilizado no diagnóstico da envoltória, precisa-se primeiramente considerar algumas condições, conforme o fluxograma de aplicação disponibilizado pelo INMETRO (Figura 23).

Figura 23 - Fluxograma padrão de aplicação da INI-C.



Fonte: Manual INI-C.

Para esse trabalho, foi possível a análise através do método simplificado pois a edificação estudada se encontra dentro dos limites previstos no regulamento, conforme critérios definidos no item 6, subitem 6.1 do texto do INI-C.

As edificações enquadradas no método simplificado não devem possuir aberturas zenitais, vidros em frente às paredes das fachadas (método das fachadas ventiladas), não devem possuir ambientes de elevadas gerações de carga interna, dispositivos móveis de sombreamento interno automatizados, vidros com comportamento dinâmico como eletrocromáticos ou outras soluções de desempenho



tecnológicos, assim como não devem possuir sistema de aquecimento ambiental, conforme orientações do manual do INI-C disponível no site do PBE Edifica.

Conforme anteriormente citado, a avaliação da envoltória é obrigatória em todas as avaliações que visam a etiquetagem, enquanto os outros sistemas individuais como como condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água não são obrigatórios. Tornam-se obrigatórios somente para a obtenção da classificação de eficiência energética geral.

O método simplificado abrange a maioria das soluções arquitetônicas mais difundidas, devendo ser total ou parcialmente condicionadas artificialmente e, somente poderá ser aplicado se a edificação avaliada obedecer aos parâmetros limites indicados na Tabela 6.1 do INI-C, demonstrados na Tabela 26 abaixo.

Tabela 26 - Parâmetros limites para uso do método simplificado.

Parâmetros	Limites	
	Valor mínimo	Valor máximo
Absortância solar da cobertura (α)	0,2	0,8
Absortância solar da parede (α)	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 (CTcob)	0,22 kJ/m ² K	450 kJ/m ² K
Capacidade térmica da parede (CTpar)	0,22 kJ/m ² K	450 kJ/m ² K
Contato com o solo	Sem contato	Em contato
Densidade de potência de equipamentos (DPE)	4 W/m ²	40 W/m ²
Densidade de potência de iluminação (DPI)	4 W/m ²	40 W/m ²
Fator solar do vidro (FS)	0,21	0,87
Percentual de abertura zenital	0%	3%
Pé-direito	2,6 m	6,6 m
Percentual de abertura da fachada (PAF)	0%	80%
Piso com isolamento	Não, se isolamento < 5 mm	Sim, se isolamento > 5 mm
Transmitância térmica da cobertura (Ucob)	0,51 W/m ² K	5,07 W/m ² K
Transmitância térmica da parede externa (Upar)	0,50 W/m ² K	4,40 W/m ² K
Transmitância térmica do vidro (Uvid)	1,9 W/m ²	5,7 W/m ²

Fonte: Adaptado INI-C, 2021.

Para garantir a possibilidade de aplicação do método simplificado, foi necessário verificar o cálculo dos parâmetros da edificação.

A absortância solar da cobertura e das paredes foram calculadas ao fazer a análise do RTQ-C e, apenas serão resgatados esses resultados de cálculo já apresentados. Os ângulos de sombreamento horizontal e vertical (AHS e AVS) devem ser definidos por meio da ponderação do ângulo em função da área de abertura de cada zona térmica analisada:



O AHS de cada abertura deve ser calculado como a média entre os dois ângulos encontrados, um para cada lateral da abertura e no caso de zonas com mais de uma abertura, os ângulos devem ser calculados para cada uma e depois ponderados pela área total de abertura.

O auto sombreamento (sombreamento ocasionado pelo edifício sobre si mesmo) foi considerado conforme tabela, 0°.

Após verificar cada item, chegou-se aos seguintes resultados (Tabela 27):

Tabela 27 - Parâmetros calculados

Parâmetros	Clube de Ciências
Absortância solar da cobertura (α)	0,77
Absortância solar da parede (α)	0,75
Ângulo de obstrução vizinha (AOV)	0°
Ângulo horizontal de sombreamento (AHS)	37,09
Ângulo vertical de sombreamento (AVS)	32,32
Capacidade térmica da cobertura (CTcob)	0,52 kJ/m ² K
Capacidade térmica da parede (CTpar)	336,56 kJ/m ² K
Fator solar do vidro (FS)	0,57
Percentual de abertura zenital	0%
Pé-direito	2,6 m (térreo) e 2,88 m (superior)
Percentual de abertura da fachada (PAF)	0,17
Transmitância térmica da cobertura (Ucob)	1,35 W/m ² K
Transmitância térmica da parede externa (Upar)	1,84 W/m ² K
Transmitância térmica do vidro (Uvid)	5,5 W/m ²

Fonte: Autora.

Ao comparar-se a tabela de parâmetros limites do INI-C com os resultados obtidos através do cálculo da edificação estudada, constatou-se que o Clube de Ciências se enquadra no modelo simplificado de análise.

Sendo assim, prosseguiu-se com os cálculos a fim de se obter a escala de classificação de eficiência energética da envoltória, e foi calculada a carga térmica total anual da envoltória ($CgTT$) na sua condição real $CgTT_{real}$ e condição de referência $CgTT_{ref}$.

Antes de dar continuidade ao cálculo, é importante compreender que carga térmica equivale ao calor que deve ser acrescentado ou retirado de um ambiente a fim de manter sua temperatura constante.

Prosseguindo, deve-se encontrar o coeficiente de redução de carga térmica total anual da classificação D para A, conforme equação 14:

$$i = \frac{(CgTT_{ref} \times CRCgT_{D-A})}{3} \quad (14)$$



Onde:

i é o coeficiente que representa os intervalos entre as classes;

$CgTT_{ref}$ é a carga térmica total da edificação em sua condição de referência (kWh/ano);

$CRCgT_{D-A}$ é o coeficiente de redução de carga térmica total anual da classificação D para a A.

Para a condição real, a carga térmica total anual deve ser calculada a partir do somatório das cargas térmicas de refrigeração anual ($CgTT_{real}$ em kWh/ano), com base em todas as zonas térmicas condicionadas artificialmente. Para a condição de referência, a carga térmica total ($CgTT_{ref}$) deve ser equivalente ao valor da carga térmica de refrigeração anual ($CgTR_{ref}$) da edificação, em sua condição de referência.

Segundo o INI-C, a estimativa de carga térmica de refrigeração anual baseia-se em um metamodelo de análise que se utiliza de redes neurais artificiais para diferentes realidades climáticas brasileiras.

A carga térmica de refrigeração anual (CgTR) deve ser determinada com base nos parâmetros construtivos físicos, geométricos e de carga interna da edificação. Sendo que, para calcular a carga térmica de refrigeração anual da edificação deve-se dividi-la em zonas térmicas e a cada zona térmica deve-se estipular os parâmetros de entrada, considerando a edificação em sua condição real e em sua condição de referência.

5.1. DIVISÃO DE ZONAS TÉRMICAS

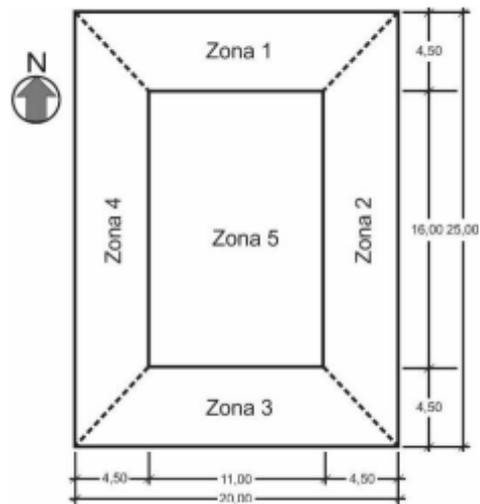
As zonas térmicas são áreas da edificação que possuem comportamentos similares em relação à sua carga interna e à exposição ao meio externo, definidas de acordo com: a tipologia da edificação, o tipo e/ou especificações técnicas do sistema de condicionamento de ar, o pé-direito da edificação, espaços com pisos em contato com o solo, isolados ou em contato com o exterior e, espaços com cobertura e contato com o exterior (INI-C, 2021).

As áreas de permanência prolongada do Clube de Ciências como as salas de aula e salas administrativas são 100% condicionadas, sendo assim, as áreas de permanência transitória como circulações e banheiros serão desconsideradas conforme indica o item B.1.2.2.1 do regulamento.

O regulamento orienta ainda, que as zonas térmicas sejam divididas em zonas centrais e perimetrais. As zonas perimetrais devem possuir 4,50m de profundidade com relação à face interna da parede externa enquanto, as zonas centrais são os espaços além dos 4,50 perimetrais (Figura 24).



Figura 24 - Processo de divisão de zonas térmicas.

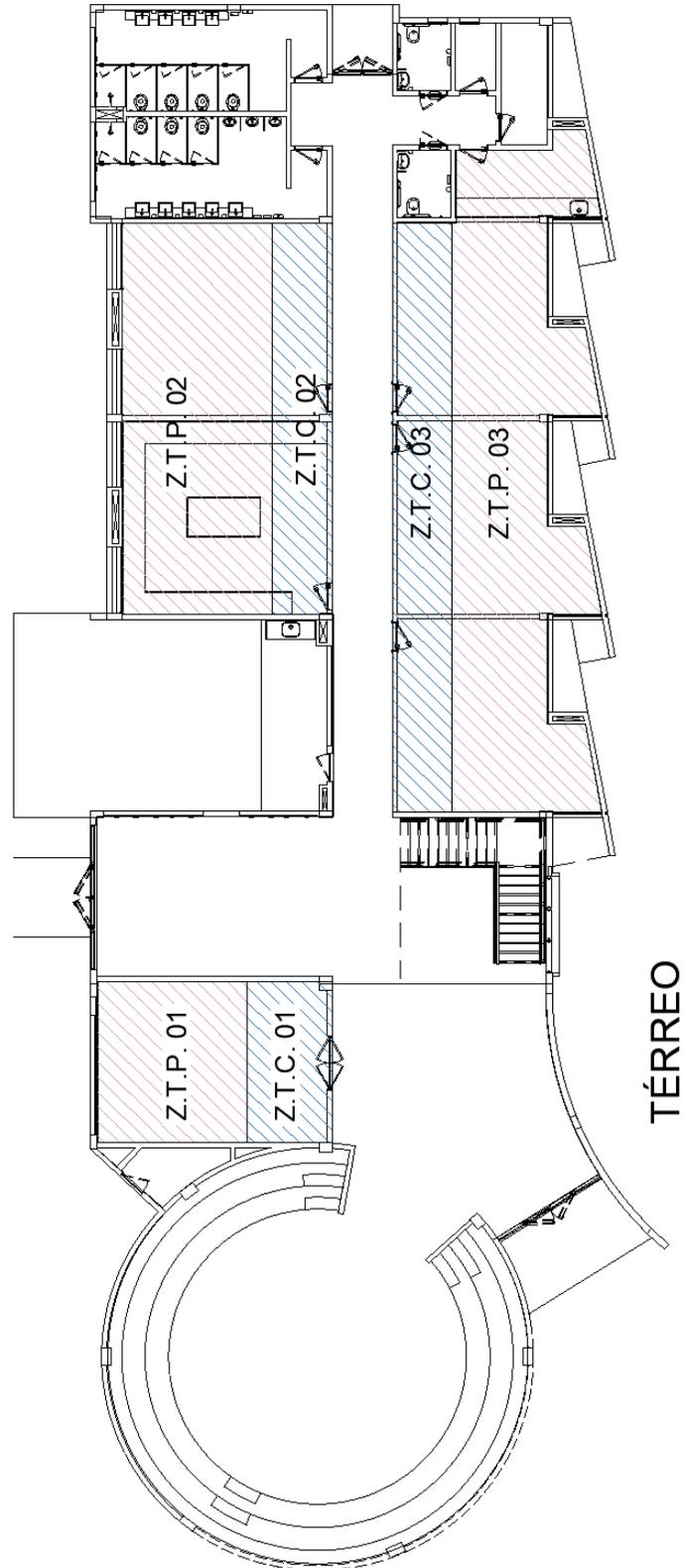


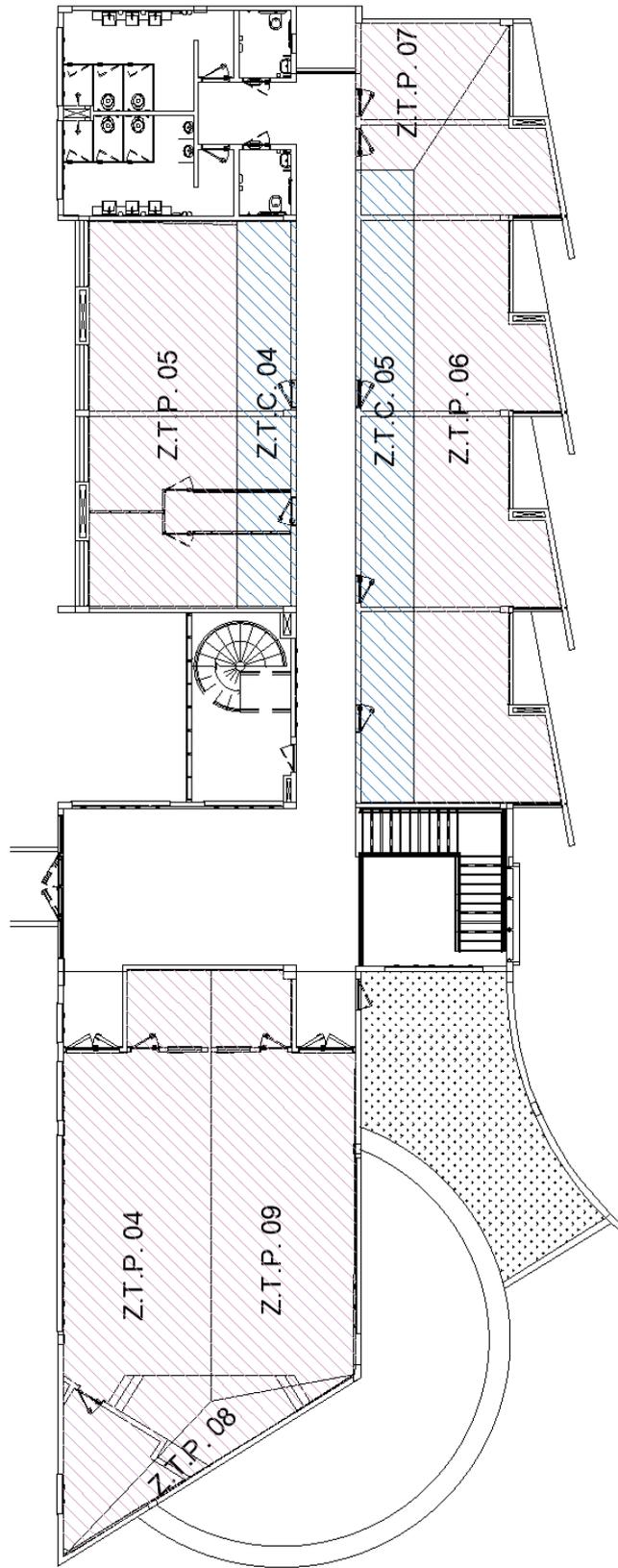
Fonte: Manual do INI-C.

Na figura 25, identificam-se as divisões de zonas térmicas do Clube de Ciências:



Figura 25 - Divisões de zonas térmicas.





PAVIMENTO SUPERIOR

Fonte: Autora.



Ao cumprir as orientações de divisões de zonas térmicas no Clube de Ciências, obteve-se 9 zonas térmicas perimetrais e 5 zonas térmicas centrais, somando térreo e pavimento superior.

5.1.1. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE ENTRADA

Para cada zona foram considerados seus parâmetros específicos como:

- Área de zona térmica (m^2);
- Tipo de zona térmica (perimetral/interna);
- Contato com o solo;
- Cobertura voltada ou não para o exterior;
- Orientação solar;
- Horas de ocupação por dia (horas);
- Densidade de potência de equipamentos (W/m^2);
- Densidade de potência de iluminação (W/m^2);
- Percentual de área de abertura de fachada da zona térmica (PAF);
- Fator solar do vidro;
- Transmitância térmica do vidro, cobertura e paredes externas ($W/(m^2.K)$);
- Absortância solar da cobertura e paredes externas;
- Pé-direito (m);
- Ângulos de sombreamento: horizontal, vertical e de obstrução e,
- Capacidade térmica da cobertura e paredes externas ($kJ/(m^2.K)$).

Algumas especificações foram retiradas da Tabela A.2 conforme orienta o regulamento para valores de referência (Figura 26), como por exemplo, a densidade de potência de equipamentos (DPE). Em caso de inexistência de laudo técnico de projetista pode-se usar no cálculo o valor indicado na referida tabela como base, por tipologia.

A DPE relaciona equipamentos instalados em um determinado ambiente ou zona térmica com sua respectiva área, considerando seu tempo de uso. Sendo o edifício de uso educacional, a DPE de todos os ambientes tanto nas condições de reais quanto de referência corresponde a $15W/m^2$. Essas informações estão contidas no Anexo B, retirado do item B.1.2.2.2. do INI-C.



Figura 26 - Relação dos parâmetros na condição real e de referência

REAL = REFERÊNCIA Projeto/Edificação	Área Orientação solar Pé-direito Situação do piso Situação da cobertura Ângulo de obstrução vizinha
REAL = REFERÊNCIA	Percentual de abertura da fachada Absortância da parede externa Transmitância da parede externa Capacidade da parede externa Absortância da cobertura Transmitância da cobertura Capacidade da cobertura Fator solar do vidro Transmitância do vidro Ângulo horizontal de sombreamento Ângulo vertical de sombreamento Coeficiente de performance
REAL = REFERÊNCIA	Ocupação Densidade de potência de equipamentos Horas de ocupação Dias de ocupação no ano Temperatura de <u>setpoint</u>

Fonte: Adaptado Manual do INI-C.

5.1.2. PREDIÇÃO DA CARGA TÉRMICA ANUAL POR ZONA, UTILIZANDO A INTERFACE WEB

No site do PBE edifica, é disponibilizada uma interface onde foram inseridos os valores dos parâmetros de entrada para cada zona térmica da edificação (Figura 27).



Figura 27 – Interface de inserção de dados

	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6
Área ⁽¹⁾	12,40	21,37	31,70	21,97	53,33	71,87
Contato com o solo? ⁽²⁾	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Sim			
Zona sobre pilotis? ⁽³⁾	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Não			
Possui cobertura exposta? ⁽⁴⁾	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Não			
Possui isolamento do piso? ⁽⁵⁾	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Não			
Tipo de zona? ⁽⁶⁾	<input checked="" type="checkbox"/> Interna	<input checked="" type="checkbox"/> Interna	<input checked="" type="checkbox"/> Interna	<input checked="" type="checkbox"/> Perimetral	<input checked="" type="checkbox"/> Perimetral	<input checked="" type="checkbox"/> Perimetral
Orientação solar ⁽⁷⁾				<input checked="" type="checkbox"/> SO	<input checked="" type="checkbox"/> SO	<input checked="" type="checkbox"/> NE
Densidade de potência de equipamentos ⁽⁸⁾	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Densidade de potência de iluminação ⁽⁹⁾	15,50	15,50	15,50	15,50	15,50	15,50
Fator Solar do vidro ⁽¹⁰⁾				0,57	0,57	0,57
Transmitância térmica do vidro ⁽¹¹⁾				5,50	5,50	5,50
Absorvância solar de cobertura ⁽¹²⁾						
Absorvância solar da parede ⁽¹³⁾						
Pêndulo ⁽¹⁴⁾	<input checked="" type="checkbox"/> 2,88	<input checked="" type="checkbox"/> 2,88	<input checked="" type="checkbox"/> 2,88	<input checked="" type="checkbox"/> 0,75	<input checked="" type="checkbox"/> 0,75	<input checked="" type="checkbox"/> 0,75
Percentual de abertura de fachada ⁽¹⁵⁾				2,88	2,88	2,88
Ângulo horizontal de sombreamento ⁽¹⁶⁾				0,30	0,30	0,10
Ângulo vertical de sombreamento ⁽¹⁷⁾				37,09	37,09	37,09
Ângulo de obstrução vizinha ⁽¹⁸⁾				32,32	32,32	32,32
Horas de ocupação ⁽¹⁹⁾	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Transmitância térmica da cobertura ⁽²⁰⁾						
Transmitância térmica da parede ⁽²¹⁾				1,84	1,84	1,84
Capacidade Térmica da cobertura ⁽²²⁾						
Capacidade Térmica da parede ⁽²³⁾				338,95	338,95	338,95

Fonte: Site PBE Edifica



E, após inserir os dados e gerar resultados dentro da interface obteve-se os valores de densidade de carga térmica para refrigeração ($DCgTR$) e carga térmica de refrigeração anual em kWh/ano ($CgTT_{real}$), conforme figura 28.

Figura 28 - Resultado da avaliação parcial de envoltória

Resultado de avaliação da envoltória (método simplificado)		Valor:		Valor:	Valor:	Valor:	Valor:	Valor:
Densidade de carga térmica (real, por zona): <small>(kWh/m².ano)</small>		513.56		513.56	513.56	543.81	550.01	556.08
CgTRreal (por zona): <small>(kWh/ano)</small>		6368.10		10974.69	16279.73	11947.53	29332.06	40021.17
Resultado de avaliação da envoltória (método simplificado)		Valor:						
Densidade de carga térmica (real, por zona): <small>(kWh/m².ano)</small>		525.29	525.29	549.56	561.70	571.14	535.75	533.02
CgTRreal (por zona): <small>(kWh/ano)</small>		11104.61	18038.42	33627.79	29837.58	43880.75	7795.22	4418.74
								28932.58

Fonte: Interface do Metamodelo INI-C

Logo, tem-se:

$$CgTT_{real} = 292.558,95 \text{ kWh/ano}$$

Valores de área, orientação solar, pé-direito, percentual de aberturas da fachada e componentes construtivos da edificação (transmitância, absorvância, capacidade térmica, fator solar e ângulos de sombreamento) devem ser considerados o da edificação real.

O percentual de abertura das fachadas é encontrado através da análise de fachada de cada zona térmica, diferente da forma realizada antes da atualização do regulamento, quando se analisava por orientação geográfica de cada fachada.

Cada zona térmica, apresenta suas respectivas aberturas com suas áreas ponderadas conforme apresentado nas Tabelas 28 e 29 abaixo:

Tabela 28 - Área de abertura de fachada

Fachadas	Área de abertura (m ²)	Área de fachada (m ²)	PAF
Zona térmica perimetral 01	4,32	21,60	0,20
Zona térmica perimetral 02	15,20	50,74	0,30
Zona térmica perimetral 03	16,02	101,42	0,16
Zona térmica perimetral 04	6,30	82,15	0,08
Zona térmica perimetral 05	15,20	50,74	0,30



Zona térmica perimetral 06	21,36	74,51	0,29
Zona térmica perimetral 07	0	13,90	0
Zona térmica perimetral 08	0	48,30	0
Zona térmica perimetral 09	3,78	38,57	0,10
Total	167,95	1.088,56	0,17

Fonte: Autora.

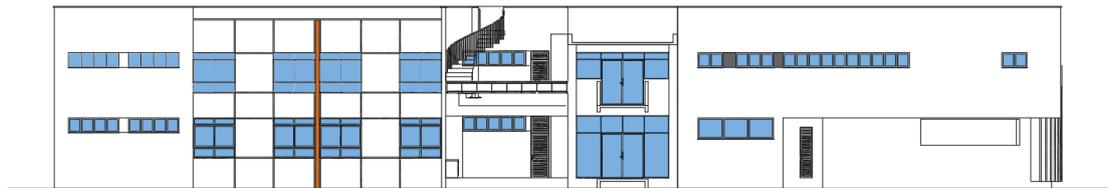
Tabela 29 - Área de zona térmica central

Zona	Área
Zona térmica central 01	12,40
Zona térmica central 02	21,19
Zona térmica central 03	31,70
Zona térmica central 04	21,14
Zona térmica central 05	34,34

Fonte: Autora.

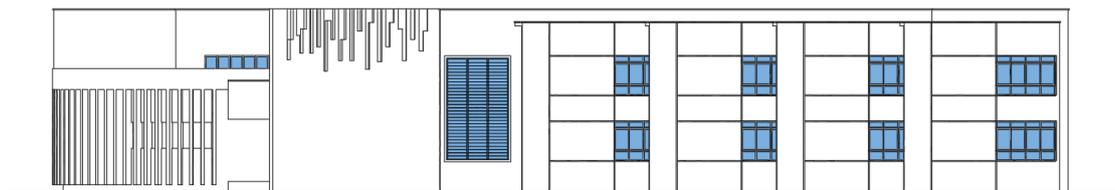
Nas figuras de 29 a 32, tem-se as aberturas das fachadas destacadas para melhor visualização.

Figura 29 - Aberturas na fachada Sul



Fonte: Adaptado Meia Dois Nove Arquitetura & Consultoria

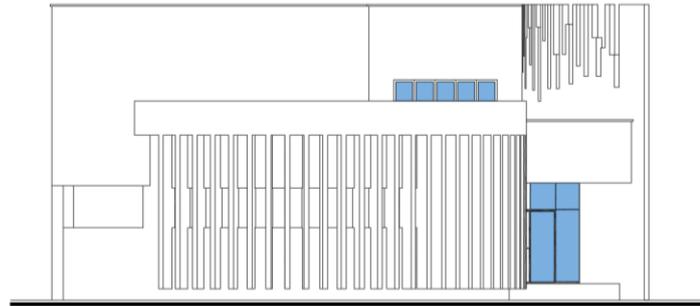
Figura 30 - Aberturas na fachada Norte



Fonte: Adaptado Meia Dois Nove Arquitetura & Consultoria

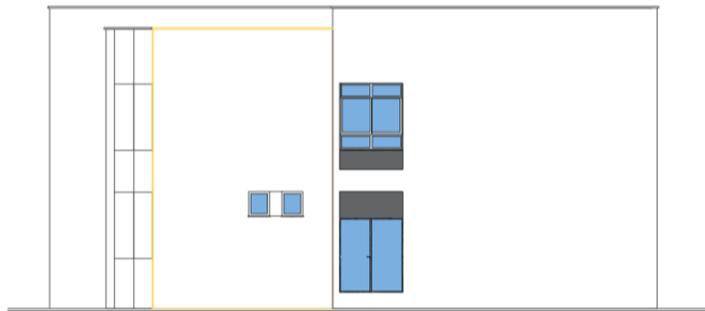


Figura 31 - Aberturas na fachada Leste



Fonte: Adaptado Meia Dois Nove Arquitetura & Consultoria

Figura 32 - Aberturas na fachada Oeste



Fonte: Adaptado Meia Dois Nove Arquitetura & Consultoria

O metamodelo pede como informações básicas para cálculo de carga térmica da edificação os valores de densidade de potência de equipamentos e de iluminação e, no caso de análise parcial da envoltória deve-se utilizar os valores de referência dessas duas variáveis disponível na tabela A.2 do regulamento.

No regulamento do RTQ-C fazia-se a classificação por zonas climáticas de cada cidade/município brasileiro baseado na norma NBR 15220-3, porém devido a necessidade de atualização, surgiu um novo Mapeamento dos Climas no Brasil. O regulamento atualizado em 2021 passou então, a usar a classificação de Roriz (2014) que subdivide o Brasil em 24 grupos climáticos, Belém se enquadra no grupo climático 17 (Figura 33).

Figura 33- Grupo climático de acordo com o município

17	251	Alto Alegre (RR), Ananindeua (PA), Barcarena (PA), Belém (PA), Boa Vista (RR), Fortaleza (CE), Iracema (RR), Laranjal do Jari (AP), Recife (PE), Santa Rita (PB), São Luís (MA),
-----------	------------	--

Fonte: Manual INI-C.

5.1.3. DETERMINAÇÃO DO PERCENTUAL DE REDUÇÃO DE CARGA TÉRMICA TOTAL ANUAL

Prosseguindo no cálculo de classificação de eficiência energética, é necessário calcular o coeficiente de redução de carga térmica total anual da classificação D para a



A, que deve ser determinado a partir do fator de forma da edificação (FF), conforme equação retirada do INI-C, e que é definido conforme o grupo climático no qual a edificação está inserida.

$$FF = \frac{A_{env}}{V_{total}} \quad (15)$$

Onde:

FF é o fator de forma da edificação (m² /m³);

A_{env} é a área da envoltória (m²);

V_{tot} é o volume total construído da edificação (m³).

A área de envoltória é a soma das áreas das fachadas e cobertura e o volume total é a somatória do produto entre a área dos pavimentos e suas respectivas alturas do piso à laje (pé esquerdo). As tabelas 30 e 31 apresentam cada fachada e suas respectivas áreas, assim como sua volumetria.

Tabela 30 - Áreas da Envoltória

Fachada	A _{env} (m ²)
Norte	367,51
Sul	333,53
Leste	194,26
Oeste	169,88
Cobertura	564,67
Total	1.629,85

Fonte: Relatório do projeto SISGEE, 2020.

Tabela 31 - Volumetria

Pavimento	Área (m ²)	Pé esquerdo (m ²)	V _{total} (m ³)
Térreo	591,09	3,50	2.068,82
1º Pavimento	396,02	3,10	1.227,66
Auditório	119,73	3,50	419,06
Total	1.106,84		3.715,53

Fonte: Relatório do projeto SISGEE, 2020.

Calculando o Fator de Forma, tem-se:

$$FF = \frac{1.629,85}{3.715,53} = 0,44$$

A classificação de eficiência energética se dá por meio de uma escala, essa escala é definida de acordo com os percentuais de economia em relação à condição de referência.



O coeficiente de redução, a ser calculado para obtenção da classificação, também é definido conforme tipologia. O grupo climático no qual Belém do Pará está inserida, é o grupo 17 sendo a edificação enquadrada em **edificações educacionais**. Sendo assim, tem-se na Tabela 32 retirada do INI-C as faixas referentes à classificação.

Tabela 32 - Coeficiente de redução de carga térmica total com base no fator de forma e grupo climático correspondente da tipologia

Grupo climático	Coeficiente de redução da carga térmica total anual da classificação D para a A (CRCgTTd-a)				
	FF ≤ 0,20	0,20 < FF ≤ 0,30	0,30 < FF ≤ 0,40	0,40 < FF ≤ 0,50	FF > 0,50
GC - 17	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07

Fonte: Adaptado Tabela 8.12 do INI-C.

Considerando-se que conforme calculado, o fator de forma se enquadra entre 0,40 e 0,50 conclui-se que seu coeficiente de redução de carga térmica é 0,07.

Calculou-se então, a carga térmica em condição de referência e obteve-se $CgTT_{ref} = 326.906,22$ kWh/ano

Logo, tem-se:

$$i = \frac{(326906,22 \times 0,07)}{3}$$

$$i = 7.627,81$$

Prosseguindo nos cálculos, tem-se o intervalo de classificação da edificação “i” que foi subdividido em 4 partes; cada parte se refere a um intervalo de classificação da escala de eficiência que varia de A até D.

Com o valor de “i”, preencheu-se a Tabela 8.10 disponibilizada pelo INI-C (Tabela 33).

Tabela 33 - Tabela de classificação

Classificação de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	> CgTTref- 3i	> CgTTref- 2i	> CgTTref- i	>CgTTref
Limite inferior	≤ CgTTref- 3i	≤ CgTTref- 2i	≤ CgTTref- i	≤ CgTTref	-

Fonte: Adaptado Tabela 8.10 do INI-C.

E obteve-se a faixa de classificação conforme Tabela 34 a seguir, de acordo com o nível de eficiência.



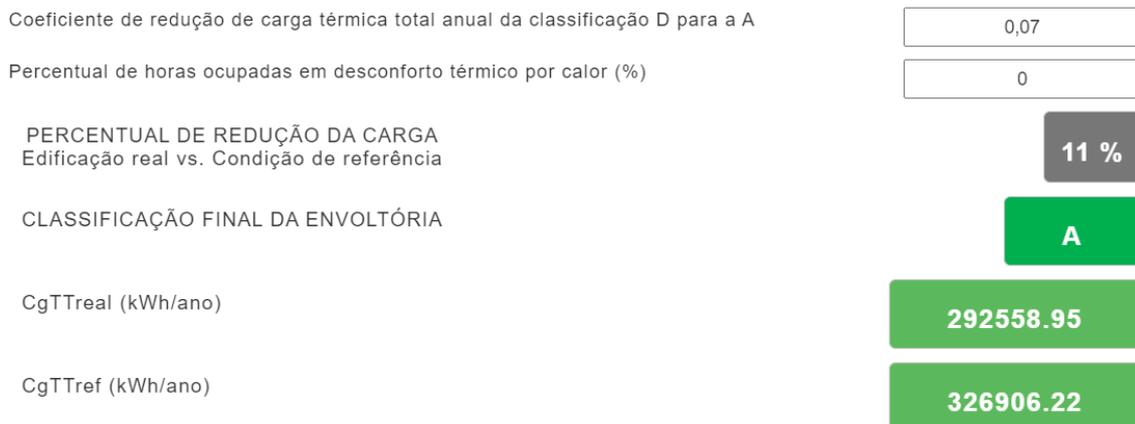
Tabela 34 - Tabela de classificação preenchida com os intervalos

Classificação de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	> 304.022,79	> 311.650,60	> 319.278,41	> 326.906,22
Limite inferior	≤ 304.022,79	≤ 311.650,60	≤ 319.278,41	≤ 326.906,22	-

Fonte: Autora.

Após análise, considerando que a carga térmica total em condição real resultou em 292.558,95 kWh/ano, sendo, portanto, inferior ao limite que classificaria o nível seguinte, a classificação da edificação alcançada é A. Na figura 34 é possível verificar, além das cargas térmicas real e de referência, o percentual de economia entre as duas situações do Clube de Ciências que são obtidas a partir do consumo de energia primária real e de referência, calculados ao final de cada etapa de avaliação.

Figura 34 - Resultado da avaliação parcial de envoltória



Fonte: Interface do Metamodelo INI-C

5.1.4. ANÁLISE E COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS

Ao analisar os dados da figura 34 acima, nota-se que o percentual de redução de carga da edificação é de 11% se comparado com o consumo da edificação de referência que, de acordo com o resultado obtido no site do PBE Edifica, classifica a mesma como nível A de eficiência energética.

Essa pesquisa, teve como premissa comparar os parâmetros presentes em cada versão do regulamento e analisar item a item, conforme apresentado na tabela 35:



Tabela 35 - Comparação das duas últimas versões do regulamento

Parâmetro	RTQ-C	INI-C
Zoneamento	Zona 8 – NBR 15220	GC 17 – RORIZ 2014
Dados construtivos da edificação	✓	✓
Pré-requisitos: valores mínimos de absorvância e transmitância	✓	✗
Absorvância e transmitância	✓	✓
Área e volume da envoltória	✓	✓
Resistência térmica	✓	✓
Percentual de abertura da fachada	✓	✗
Ângulos de sombreamento	✓	✓
Fator solar	✓	✓
Orientação solar	✓	✓
Carga térmica total (condição de referência)	✗	✓
Coef. de redução de carga térmica	✗	✓
Zonas térmicas	✗	✓
Densidade de potência de equipamentos e iluminação	✗	✓
Percentual de abertura de fachada por zona térmica	✗	✓

Fonte: Autora.

Ao se comparar os textos da metodologia de análise de eficiência energética em edificações, pode-se perceber algumas diferenças e a principal delas é no que tange ao consumo de energia primária que a atualização aprovada em 2021 aborda. Além disso, a INI-C possibilita a avaliação de diferentes fontes de energia como elétrica, térmica, gás e energia solar.

O indicador de consumo energético do INI-C compara a edificação em suas características reais a ela mesma, em sua condição de referência o que a torna mais próxima da realidade.

Um ponto importante a se destacar quando se trata das divergências entre os regulamentos, é o zoneamento. O zoneamento bioclimático utilizado no RTQ-C é estabelecido pela NBR 15220-3 e utiliza como critérios de definição:



- Médias mensais das temperaturas máximas;
- Médias mensais das temperaturas mínimas;
- Médias mensais das umidades relativas do ar.

Já no INI-C, é utilizado o zoneamento de Roriz (2014) obtido através de simulações computacionais que tem como critérios de definição:

- Temperaturas médias anuais e,
- Amplitude média anual.

Uma questão importante a se destacar, é a forma de análise da envoltória. No RTQ-C, analisa-se fachada por fachada individualmente enquanto, na sua atualização, subdivide-se a edificação em zonas térmicas onde há zonas térmicas centrais e zonas térmicas perimetrais. Essa nova forma de análise considera o edifício como um volume inteiro e posteriormente, dividido em regiões internas e não apenas suas fachadas individualmente. Cada zona térmica tem seus parâmetros preenchidos no metamodelo disponibilizado pelo PBE no site <http://pbeedifica.com.br/redes/comercial/index_with_angular.html#> onde, se considera alguns valores de referência disponibilizados pelo regulamento e utilizados de forma padronizada para todas as zonas térmicas para que seja possível superar as limitações que possam mascarar os resultados da análise.

Com relação aos ambientes condicionados artificialmente, o método orienta que sejam desconsideradas as áreas de circulação não condicionadas, porém um ponto a ser indagado é se, essa área não computada com suas devidas especificações poderia eventualmente gerar uma classificação mais generalista neste novo método. Enquanto no regulamento anterior, era computada cada área independente de ser condicionada ou não.

A carga térmica da edificação, é uma variável específica da atualização do regulamento. Analisa-se a carga térmica total anual através da carga térmica de refrigeração obtida pelo preenchimento dos dados da edificação na interface do metamodelo. Essa atualização insere no cálculo de classificação de eficiência, as trocas de calor da edificação em cada zona térmica analisada, e considera que todo ambiente da edificação do Clube de Ciências corresponde às áreas condicionadas artificialmente.

Outro fator a ser analisado está relacionado a absorção dos materiais que são pré-requisitos que podem manter ou baixar a classificação da edificação no RTQ-C. Os materiais aplicados nas fachadas podem ser responsáveis pelo acúmulo de energia e assim, transportar calor para o interior do edifício. Com a nova atualização do regulamento, observa-se uma análise considerando o edifício como um todo (materiais e suas respectivas cargas térmicas trocando energia) e, assim, resultando em um conjunto que resulta em uma edificação mais ou menos eficiente, avançando com relação ao texto anterior que considerava que os parâmetros construtivos fossem



ponderados para toda a edificação e ainda por cima, não se considerava o entorno, que é um fator que influencia no comportamento das edificações.

De acordo com a análise do RTQ-C dessa dissertação, os pré-requisitos das paredes e cobertura penalizaram a classificação. No entanto, observou-se junto à análise do INI-C que esses itens não possuíam tanta importância para a classificação do prédio em nível A.

A análise do Clube de Ciências foi realizada pelo método prescritivo (RTQ-C) e simplificado (INI-C) e seus resultados podem ser reiterados com a análise de simulação computacional, pois como se sabe, o método simplificado/prescritivo tem suas limitações.

5.2. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O capítulo apresentou o cálculo da análise de envoltória através do INI-C, a inserção dos dados da edificação no metamodelo disponível no site do PBE Edifica e classifica a edificação de acordo com a carga térmica obtida em comparação entre a edificação real e a edificação de referência. Essa análise apresenta o percentual de redução de carga da edificação e classifica, de acordo com os limites encontrados no cálculo do Clube de Ciências. O cálculo de carga térmica leva em consideração parâmetros físicos dos ambientes condicionados artificialmente onde divide toda a edificação em zonas térmicas e cada zona térmica é inserida na interface do site.

Posterior à análise, compara as duas versões do regulamento (RTQ-C e INI-C) onde analisa o avanço da atualização do método e as diferenças da classificação de eficiência energética do prédio do Clube de Ciências.

Cita ainda, item a item na mudança do método como por exemplo o zoneamento climático utilizado nas duas metodologias, apresentando os critérios de cada um.



CAPÍTULO 6: CONCLUSÃO

As mudanças climáticas, atualmente, são um fato. Estudos demonstram problemas graves advindos com essas mudanças como o aquecimento do planeta, a escassez de recursos energéticos e neste cenário temos os edifícios como grandes consumidores de recursos, seja na fase de construção ou na fase de operação.

Estratégias de arquitetura bioclimática com o intuito de reduzir os impactos negativos advindos das edificações, tem se tornado cada vez mais valorizados desde a preocupação com o clima a que essa edificação estará inserida a fim de compreender as melhores condições a serem aplicadas em cada projeto.

A proposta inicial desse estudo era o de analisar o projeto da edificação do Clube de Ciências da UFPA conforme o Regulamento Técnico de Qualidade vigente, o RTQ-C e, sugerir possíveis melhorias a fim de obter classificação Nível A para a edificação, caso a classificação encontrada na análise do projeto concebido fosse inferior a classificação máxima.

Em 2021, a Instrução Normativa Inmetro para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas traz uma reformulação da metodologia anterior (RTQ-C) com a intenção de sanar as limitações existentes no método. Com a atualização e acesso à versão final do INI-C em 2021, acrescentou-se a este estudo a análise do Clube de Ciências a partir do novo método a fim de se obter uma reafirmação dos cálculos e da classificação. No entanto, devido as divergências apresentadas na classificação resultante da aplicação de cada um dos métodos, este trabalho se propôs a comparar os resultados e buscar compreender os aspectos das análises que contribuíram para resultados que levaram a diferentes classificações de um mesmo prédio.

Esse trabalho teve então, como foco aplicar em uma edificação institucional pública a INI-C e o RTQ-C a fim de analisar seus resultados e posteriormente destacar as principais diferenças entre os textos através da classificação de eficiência energética alcançada em cada uma.

Conforme apresentado, o INI-C avalia a eficiência energética da edificação considerando seu consumo de energia primária, diferente do que era analisado no RTQ-C e, ao se comparar as duas metodologias notou-se um avanço significativo na classificação pois, a nova proposta informa além disso, a redução de consumo em cada sistema avaliado. Informa também as emissões de dióxido de carbono, que não era produto no RTQ-C, além de considerar variáveis importantes como ventilação, entorno dentre outros.

O INI-C com sua atualização passa a apresentar variáveis importantes para os estudos de projeto, uma vez que expande as possibilidades de análise de cada tipologia de edificação.

No caso da análise via RTQ-C, foi obtida a classificação Nível C onde foi necessário a substituição do parâmetro que penalizou a edificação e realizado um novo diagnóstico posterior às propostas de intervenção onde se obteve então, a classificação mais alta.



Porém na análise do INI-C onde logo se obteve a classificação Nível A, não foi necessária nenhuma sugestão de alteração de materiais ou outros parâmetros de envoltória.

O RTQ-C apresenta classificação nível C pois foi penalizado quanto aos pré-requisitos de absorvância térmica dos materiais de paredes e cobertura enquanto, o INI-C apresenta classificação nível A pois o novo método, que utiliza um metamodelo disponibilizado pelo PBE, possui maior aproximação com a realidade da edificação estudada.

O prédio do Clube de Ciências apresentou divergências nos resultados das duas metodologias aplicadas e levantou questionamentos a cerca dessa atualização.

Dessa forma, apesar das limitações que o estudo simplificado do INI-C possui, o presente trabalho alcançou seu objetivo de promover a discussão das melhorias encontradas na nova proposta de avaliação e classificação da eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas. Vale ressaltar, que teses e dissertações de mestrado trazem estudos de verificação de informações seja por meio de análise, medições, experimentos etc.

Por fim, é importante citar a necessidade dessas análises e de reformulação de metodologias para atualizações das normas e manuais técnicos que norteiam as pesquisas e os estudos de implantação como ferramentas também de projeto.

6.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Aplicar a INI-C para avaliar os sistemas de iluminação e ar-condicionado da edificação;

Verificar os resultados pelo método de simulação computacional e comparar com o método simplificado;

Verificar a contribuição para a redução dos impactos ambientais da edificação através da influência de outros usos como água e geração fotovoltaica.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003.

BANCO MUNDIAL. Disponível em: www.worldbank.org. Acesso em: 18 dez. 2021.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia – MME (Coord.). Guia para Eficientização Energética nas Edificações Públicas. 1ª Ed. Centro de Pesquisa de Energia Elétrica – CEPEL. Rio de Janeiro. 2014;

CBCS. Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. Disponível em: <http://www.cbcs.org.br>. Acesso: 1 dez. 2021

CB3E. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. Proposta de método para a avaliação da eficiência energética com base em energia primária de edificações comerciais, de serviços e públicas. Versão 3. UFSC, LABEE. 2017, 151 p.

DORNELLES, Kelen Almeida. Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA. 2008. 160p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

EPE. (2021). BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL – ANO BASE 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/>. Acesso em: 10 dez. 2021.

FIGUEIREDO, Daniel F. de Q. P. M. Dissertação: O NOVO DESAFIO DOS NZEBs (NEARLY ZERO ENERGY BUILDINGS), Junho, 2018.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. Manual de Conforto Térmico. 5ª edição. Studio Nobel, São Paulo, 2001.

GBC BRASIL, 2021. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br> . Acesso em: 02 de novembro de 2021.



GUEDES, D. L. Mudança da etiqueta PBE EDIFICA: análise crítica com estudo de caso em edificação comercial visando NZEB. Dissertação, 2020.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Disponível em: www.iea.org. Acesso: 21 nov. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). Instrução Normativa Inmetro para Classificação de Eficiência Energética em Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. Anexo da Portaria Inmetro nº 42 de 24 de fevereiro de 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos. Anexo da Portaria INMETRO nº 372/2010. 2010.

LADE. Laboratório de Avaliações e Desenvolvimento Energético. Disponível em: www.lade.com.br. Acesso: 18 nov. 2021.

LAMBERTS, R.; FONSECA, R. W.; RUPP, Ricardo Forgiarini; et al... Determinação do nível de eficiência energética de um edifício exemplo utilizando o RTQ-C (Versão 02 - 2015/2016). 2015. (Manual).

MANUAL DE APLICAÇÃO DA INI-C. Edificações comerciais, de serviços e públicas. Junho, 2021.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Plano Nacional de Energia 2030.

MONTEIRO. Suzane, C. de A. Tese de doutorado: Metodologia para a eficiência energética em edificações fundamentada no RTQ-C: um algoritmo de otimização multiobjetivo sobre os sistemas de iluminação e de condicionamento de ar. 2020.

ONU, 2020. Disponível em: brasil.un.org. Acesso: 15 nov. 2021.

PBE EDIFICA. Disponível em: www.pbeedifica.com.br. Acesso em: 1 de dezembro de 2021.

RORIZ, M. Classificação de climas do Brasil, versão 3.0. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Carlos, SP. Março de 2014.



SOUZA, A. C. D. B. de. Eficiência Energética de Edificações visando a certificação pelo RTQC e a análise energético-financeira e ambiental. 2017. 179 folhas. Dissertação (Mestre em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal do Pará

STERN, Nicholas. The Stern Review on the Economic Effects of climate change, 2006.

ZEMERO, Bruno R. Tese de doutorando: Metodologia para o projeto preliminar de edifícios utilizando otimização multiobjetivo baseada na simulação de desempenho. 2019.



ANEXO A

TÉRREO

Zona térmica central 01

Área: 195,97 m²

Tipo de zona térmica: central

Contato com o solo: sim

Cobertura voltada para o exterior: não

Horas de ocupação por dia: 8 horas

Densidade de potência de equipamentos: 15 W/m²

Densidade de potência iluminação: 15,5 W/m²

Pé-direito: 2,88 m

Zona térmica perimetral 01

Área: 129,46 m²

Tipo de zona térmica: perimetral

Contato com o solo: sim

Cobertura voltada para o exterior: não

Horas de ocupação por dia: 8 horas

Densidade de potência de equipamentos: 15 W/m²

Densidade de potência iluminação: 15,5 W/m²

Percentual de área de abertura de fachada da zona térmica (PAF): 0,14

$$PAFT = \frac{\sum A \text{ de abertura total}}{\sum A \text{ de fachada total}}$$

Fachada	A aberturas da zona térmica (m ²)	A fachada da zona térmica (m ²)	PAF



Norte	35,47	239,82	0,14
-------	-------	--------	------

Fator solar do vidro: 0,57

Transmitância do vidro: 5,5 W/m²·K

Transmitância da parede: 1,75 W/m²·K

Absortância paredes externas: 0,75

Pé-direito: 2,88 m

AVS = 26,50

AHS= 23,35

AVO: 0

Capacidade térmica paredes: 150

Zona térmica perimetral 02

Área: 39,12 m²

Tipo de zona térmica: perimetral

Contato com o solo: sim

Cobertura voltada para o exterior: não

Horas de ocupação por dia: 8 horas

Densidade de potência de equipamentos: 15 W/m²

Densidade de potência iluminação: 15,5 W/m²

Percentual de área de abertura de fachada da zona térmica (PAF): 0,06

$$PAFT = \frac{\sum A \text{ de abertura total}}{\sum A \text{ de fachada total}}$$

Fachada	A aberturas da zona térmica (m ²)	A fachada da zona térmica (m ²)	PAF
Oeste	8,40	124,69	0,06



Fator solar do vidro: 0,57

Transmitância do vidro: 5,5 W/m²·K

Transmitância da parede: 1,75 W/m²·K

Absortância paredes externas: 0,75

Pé-direito: 2,88 m

AVS= 35,20

AHS= 47,55

AVO: 0

Capacidade térmica paredes: 150

Zona térmica perimetral 03

Área: 164,45 m²

Tipo de zona térmica: perimetral

Contato com o solo: sim

Cobertura voltada para o exterior: não

Horas de ocupação por dia: 8 horas

Densidade de potência de equipamentos: 15 W/m²

Densidade de potência iluminação: 15,5 W/m²

Percentual de área de abertura de fachada da zona térmica (PAF): 0,18

$$PAFT = \frac{\sum A \text{ de abertura total}}{\sum A \text{ de fachada total}}$$

Fachada	A aberturas da zona térmica (m²)	A fachada da zona térmica (m²)	PAF
Sul	36,80	166,76	0,18

Fator solar do vidro: 0,57

Transmitância do vidro: 5,5 W/m²·K



Transmitância da parede: 1,75 W/m²·K

Absortância paredes externas: 0,75

Pé-direito: 2,88 m

AVS= 23,10

AHS= 38,02

AVO: 0

Capacidade térmica paredes: 150

Zona térmica perimetral 04

Área: 33,02 m²

Tipo de zona térmica: perimetral

Contato com o solo: sim

Cobertura voltada para o exterior: não

Horas de ocupação por dia: 8 horas

Densidade de potência de equipamentos: 15 W/m²

Densidade de potência iluminação: 15,5 W/m²

Percentual de área de abertura de fachada da zona térmica (PAF): 0,18

$$PAFT = \frac{\sum A \text{ de abertura total}}{\sum A \text{ de fachada total}}$$

Fachada	A aberturas da zona térmica (m²)	A fachada da zona térmica (m²)	PAF
Leste	21,74	97,13	0,18

Fator solar do vidro: 0,57

Transmitância do vidro: 5,5 W/m²·K

Transmitância da parede: 1,75 W/m²·K

Absortância paredes externas: 0,75



Pé-direito: 2,88 m

AVS= 47,67

AHS= 42,74

AVO: 0

Capacidade térmica paredes: 150

PAVIMENTO SUPERIOR

Zona térmica central 02

Área: 108,24 m²

Tipo de zona térmica: central

Contato com o solo: não

Cobertura voltada para o exterior: sim

Horas de ocupação por dia: 8 horas

Densidade de potência de equipamentos: 15 W/m²

Densidade de potência iluminação: 15,5 W/m²

Pé-direito: 2,60 m

Absortância da cobertura: 0,77

Transmitância da cobertura: 1,35 W/m²·K

Capacidade térmica cobertura: 233

Zona térmica perimetral 05

Área: 162,60 m²

Tipo de zona térmica: perimetral

Contato com o solo: não

Cobertura voltada para o exterior: sim

Horas de ocupação por dia: 8 horas

Densidade de potência de equipamentos: 15 W/m²

Densidade de potência iluminação: 15,5 W/m²

Percentual de área de abertura de fachada da zona térmica (PAF): 0,16



$$PAFT = \frac{\sum A \text{ de abertura total}}{\sum A \text{ de fachada total}}$$

Fachada	A aberturas da zona térmica (m ²)	A fachada da zona térmica (m ²)	PAF
Norte	25,57	239,82	0,16

Fator solar do vidro: 0,57

Transmitância do vidro: 5,5 W/m²·K

Transmitância da parede: 1,75 W/m²·K

Transmitância da cobertura: 1,35 W/m²·K

Absortância da cobertura: 0,77

Absortância paredes externas: 0,75

Pé-direito: 2,60 m

AVS= 37,07

AHS= 34,43

AVO: 0

Capacidade térmica cobertura: 233

Capacidade térmica paredes: 150

Zona térmica perimetral 06

Área: 38,82 m²

Tipo de zona térmica: perimetral

Contato com o solo: não

Cobertura voltada para o exterior: sim

Horas de ocupação por dia: 8 horas

Densidade de potência de equipamentos: 15 W/m²

Densidade de potência iluminação: 15,5 W/m²



Percentual de área de abertura de fachada da zona térmica (PAF): 0,05

$$PAFT = \frac{\sum A \text{ de abertura total}}{\sum A \text{ de fachada total}}$$

Fachada	A aberturas da zona térmica (m ²)	A fachada da zona térmica (m ²)	PAF
Oeste	7,20	124,69	0,05

Fator solar do vidro: 0,57

Transmitância do vidro: 5,5 W/m²·K

Transmitância da parede: 1,75 W/m²·K

Transmitância da cobertura: 1,35 W/m²·K

Absortância da cobertura: 0,77

Absortância paredes externas: 0,75

Pé-direito: 2,60 m

AVS= 44,21

AHS= 51,75

AVO: 0

Capacidade térmica cobertura: 233

Capacidade térmica paredes: 150

Zona térmica perimetral 07

Área: 161,54 m²

Tipo de zona térmica: perimetral

Contato com o solo: não

Cobertura voltada para o exterior: sim

Horas de ocupação por dia: 8 horas

Densidade de potência de equipamentos: 15 W/m²



Densidade de potência iluminação: 15,5 W/m²

Percentual de área de abertura de fachada da zona térmica (PAF): 0,24

$$PAFT = \frac{\sum A \text{ de abertura total}}{\sum A \text{ de fachada total}}$$

Fachada	A aberturas da zona térmica (m ²)	A fachada da zona térmica (m ²)	PAF
Sul	38,58	166,76	0,24

Fator solar do vidro: 0,57

Transmitância do vidro: 5,5 W/m²·K

Transmitância da parede: 1,75 W/m²·K

Transmitância da cobertura: 1,35 W/m²·K

Absortância da cobertura: 0,77

Absortância paredes externas: 0,75

Pé-direito: 2,60 m

AVS= 21,79

AHS= 33,99

AVO: 0

Capacidade térmica cobertura: 233

Capacidade térmica paredes: 150

Zona térmica perimetral 08

Área: 39,66 m²

Tipo de zona térmica: perimetral

Contato com o solo: não

Cobertura voltada para o exterior: Sim

Horas de ocupação por dia: 8 horas



Densidade de potência de equipamentos: 15 W/m²

Densidade de potência iluminação: 15,5 W/m²

Percentual de área de abertura de fachada da zona térmica (PAF): 0,04

$$PAFT = \frac{\sum A \text{ de abertura total}}{\sum A \text{ de fachada total}}$$

Fachada	A aberturas da zona térmica (m ²)	A fachada da zona térmica (m ²)	PAF
Leste	13,29	97,13	0,04

Fator solar do vidro: 0,57

Transmitância do vidro: 5,5 W/m²·K

Transmitância da parede: 1,75 W/m²·K

Transmitância da cobertura: 1,35 W/m²·K

Absortância da cobertura: 0,77

Absortância paredes externas: 0,75

Pé-direito: 2,60 m

AVS= 39,42

AHS= 61,50

AVO: 0

Capacidade térmica cobertura: 233

Capacidade térmica paredes: 150



Ângulo Vertical de sombreamento Final (AVS):

Zona Térmica	AVS	Área de abertura (m ²)	AVS Final
01	26,50	35,47	939,95
02	35,20	8,40	295,68
03	23,10	36,80	850,08
04	47,67	21,74	1.036,35
05	37,07	25,57	947,88
06	44,21	7,20	318,31
07	21,79	38,58	840,66
08	61,50	13,29	817,33
Total		187,05	32,32

Ângulo Horizontal de sombreamento Final (AHS):

Zona Térmica	AHS	Área de abertura (m ²)	AVS Final
01	23,35	35,47	828,22
02	47,55	8,40	399,42
03	38,02	36,80	1.399,14
04	42,74	21,74	929,17
05	34,43	25,57	880,37
06	51,75	7,20	372,60
07	33,99	38,58	1.311,33
08	61,50	13,29	817,33
Total		187,05	37,09



Memorial de Cálculo de Transmitância Térmica da Parede (Upar):

Aplicação do cálculo da transmitância e resistência térmica nas variações das paredes externas presentes no projeto do Clube de Ciências da Universidade Federal do Pará.

- Seção A (Reboco + Argamassa + Reboco + Revest. Cerâmico)

Resistência Térmica da seção "a" (Ra):

$$A_a = 0,015 \times 0,19 + 0,015 \times 0,155 = 0,005$$

$$R_a = \frac{E_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + \frac{E_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{E_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + \frac{E_{revest.cerâm}}{\lambda_{revest.cerâm}} = 0,030 \frac{1,15}{1,15} + 0,09 \frac{1,15}{1,15} + 0,030 \frac{1,15}{1,15} + 0,005 \frac{1,15}{1,15} = 0,070$$

Capacidade Térmica da seção "a" (CTa):

$$CT_{reboco \text{ int.}} = e_{reboco} \times C_{reboco} \times p_{reboco} = 0,030 \times 1 \times 2000 = 60 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$CT_{argamassa} = e_{argamassa} \times C_{argamassa} \times p_{argamassa} = 0,015 \times 1 \times 2000 = 30 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$CT_{reboco \text{ ext.}} = e_{reboco} \times C_{reboco} \times p_{reboco} = 0,030 \times 1 \times 2000 = 60 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$CT_{revest \text{ cerâm}} = e_{revest \text{ cerâm}} \times C_{revest \text{ cerâm}} \times p_{revest \text{ cerâm}} = 0,005 \times 0,763 \times 1925 = 7,34 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$CT_a = 60 + 30 + 60 + 7,34 = 157,34$$

- Seção B (Reboco + Tijolo + Reboco + Revest. Cerâmico)

$$A_b = 0,19 \times 0,07 = 0,0133$$

$$R_b = \frac{E_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + \frac{E_{tijolo}}{\lambda_{tijolo}} + \frac{E_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + \frac{E_{revest.cerâm}}{\lambda_{revest.cerâm}} = 0,030 \frac{1,15}{1,15} + 0,09 \frac{0,90}{0,90} + 0,030 \frac{1,15}{1,15} + 0,005 \frac{1,15}{1,15} = 1,3072$$

Capacidade Térmica da seção "b" (CTb):

$$CT_{reboco \text{ int.}} = e_{reboco} \times C_{reboco} \times p_{reboco} = 0,030 \times 1 \times 2000 = 60 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$CT_{tijolo} = e_{tijolo} \times C_{tijolo} \times p_{tijolo} = 0,090 \times 0,92 \times 1600 = 132,48 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$CT_{reboco \text{ int.}} = e_{reboco} \times C_{reboco} \times p_{reboco} = 0,030 \times 1 \times 2000 = 60 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$CT_{revest \text{ cerâm}} = e_{revest \text{ cerâm}} \times C_{revest \text{ cerâm}} \times p_{revest \text{ cerâm}} = 0,005 \times 0,763 \times 1925 = 7,34 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$CT_b = 60 + 132,48 + 60 + 7,34 = 259,82$$



- Seção C (Reboco + Tijolo + Câmara de Ar + Tijolo + Câmara de ar + Tijolo + Reboco + Revest. Cerâmico)

$$Ac = 0,19 \times 0,038 = 0,00722$$

$$Rc = \frac{Ereboco}{\lambda_{reboco}} + \frac{Etijolo}{\lambda_{tijolo}} + R_{câm. \text{ de ar}} + \frac{Etijolo}{\lambda_{tijolo}} + \frac{R_{câm. \text{ de ar}}}{\lambda_{tijolo}} + \frac{Ereboco}{\lambda_{reboco}} + \frac{Erevest.cerâm}{\lambda_{revest.cerâm}} = 0,030 \frac{1,15}{0,09} + 0,16 + 0,09 \frac{0,90}{0,16} + 0,09 \frac{0,90}{0,16} + 0,030 \frac{1,15}{0,09} + 0,005 \frac{1,15}{0,09} = 0,677$$

Capacidade Térmica da seção "c" (CTc):

$$CT_{reboco \text{ int.}} = \frac{ereboco}{\lambda_{reboco}} \times C_{reboco} \times \rho_{reboco} = 0,030 \times 1 \times 2000 = 60 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$CT_{tijolo} = \frac{etijolo}{\lambda_{tijolo}} \times C_{tijolo} \times \rho_{tijolo} = 0,007 \times 0,92 \times 1600 = 10,30 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$CT_{câmara \text{ de ar}} = 0 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$CT_{tijolo} = \frac{etijolo}{\lambda_{tijolo}} \times C_{tijolo} \times \rho_{tijolo} = 0,007 \times 0,92 \times 1600 = 10,30 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$CT_{câmara \text{ de ar}} = 0 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$CT_{tijolo} = \frac{etijolo}{\lambda_{tijolo}} \times C_{tijolo} \times \rho_{tijolo} = 0,007 \times 0,92 \times 1600 = 10,30 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$CT_{reboco \text{ int.}} = \frac{ereboco}{\lambda_{reboco}} \times C_{reboco} \times \rho_{reboco} = 0,030 \times 1 \times 2000 = 60 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$CT_{revest \text{ cerâm}} = \frac{erevest \text{ cerâm}}{\lambda_{revest \text{ cerâm}}} \times C_{revest \text{ cerâm}} \times \rho_{revest \text{ cerâm}} = 0,005 \times 0,763 \times 1925 =$$

$$7,34 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$CT_b = 60 + 10,30 + 0 + 10,30 + 0 + 10,30 + 60 + 7,34 = 158,26$$

$$RT = 0,005 + 4 \times 0,0133 + 3 \times 0,00722 + 0,005 + 0,070 + 4 \times 0,0133 + 1,3072 + 3 \times 0,00722 + 0,677 = 0,544$$

$$RT = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,544 + 0,04 = 0,714 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$U = \frac{1}{RT} = \frac{1}{0,714} = 1,40 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{k)}$$

- Seção D (Reboco+Concreto+Reboco):

$$R_d = \frac{Ereboco}{\lambda_{reboco}} + \frac{Econcreto}{\lambda_{concreto}} + \frac{Ereboco}{\lambda_{reboco}} + \frac{Erevest.cerâm}{\lambda_{revest.cerâm}} = 0,030 \frac{1,15}{0,09} + 0,14 \frac{1,75}{0,14} + 0,030 \frac{1,15}{0,09} + 0,005 \frac{1,15}{0,09} = 0,1365$$

$$RT = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,137 + 0,04 = 0,307 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$U = \frac{1}{RT} = \frac{1}{0,307} = 3,26 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{k)}$$

Capacidade Térmica da seção "d" (CTd):

$$CT_{reboco \text{ int.}} = \frac{ereboco}{\lambda_{reboco}} \times C_{reboco} \times \rho_{reboco} = 0,030 \times 1 \times 2000 = 60 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$CT_{concreto} = \frac{econcreto}{\lambda_{concreto}} \times C_{concreto} \times \rho_{concreto} = 0,14 \times 1 \times 2200 = 308,00 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$CT_{reboco} = \frac{ereboco}{\lambda_{reboco}} \times C_{reboco} \times \rho_{reboco} = 0,030 \times 1 \times 2000 = 60 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$



$$CT_{\text{revest cerâm}} = e_{\text{revest cerâm}} \times C_{\text{revest cerâm}} \times p_{\text{revest cerâm}} = 0,005 \times 0,763 \times 1925 = 7,34 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

$$CT_d = 60 + 308,00 + 60 + 7,34 = 435,34$$

$$CT_{\text{Final}} = 0,005 + 4 \times 0,0133 + 3 \times 0,00722 + 160,48 \times 0,005 + 157,34 + 3 \times 0,0133 + 259,82 + 2 \times 0,00722 + 158,26 + 160,48 \times 435,34 = 435,34 \text{ kJ/m}^2 \cdot k$$

Transmitância Térmica da Cobertura (Ucob):

Cálculo da transmitância e resistência térmica das variações da cobertura encontradas na edificação analisada.

- Resistência Térmica da Cobertura com contra piso (concreto), vigota (concreto), câmara de ar e gesso.

$$R_{\text{cobT}} = R_{\text{contrapiso}} + R_{\text{vigota}} + R_{\text{câm. ar}} + R_{\text{gesso}} + R_{\text{si}}$$

$$R_{\text{contrapiso}} = E_{\text{contrapiso}} \lambda_{\text{contrapiso}} = 0,05 \times 1,75 = 0,0286 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$$

$$R_{\text{vigota}} = E_{\text{vigota}} \lambda_{\text{vigota}} = 0,15 \times 1,75 = 0,0857 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$$

$$R_{\text{câm. de ar}} = \lambda_{\text{câm. de ar}} = 0,21 = 0,2100 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$$

$$R_{\text{gesso}} = E_{\text{gesso}} \lambda_{\text{gesso}} = 0,02 \times 0,35 = 0,0571 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$$

$$R_{\text{cobt}} = 0,0286 + 0,0857 + 0,2100 + 0,0571 = 0,3814 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$$

$$\text{Área Sa} = 0,09 \times 0,25 = 0,023$$

- Resistência Térmica da Cobertura com contra piso (concreto), laje (concreto), EPS, câmara de ar e gesso.

$$R_{\text{contrapiso}} = E_{\text{contrapiso}} \lambda_{\text{contrapiso}} = 0,05 \times 1,75 = 0,0286 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$$

$$R_{\text{laje}} = E_{\text{laje}} \lambda_{\text{laje}} = 0,05 \times 1,75 = 0,0286 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$$

$$R_{\text{eps}} = E_{\text{eps}} \lambda_{\text{eps}} = 0,15 \times 0,040 = 3,75 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$$

$$R_{\text{câm. de ar}} = \lambda_{\text{câm. de ar}} = 0,21 = 0,2100 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$$

$$R_{\text{gesso}} = E_{\text{gesso}} \lambda_{\text{gesso}} = 0,02 \times 0,35 = 0,0571 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$$

$$R_{\text{cobt}} = 0,0286 + 0,0286 + 3,75 + 0,2100 + 0,0571 = 4,0743 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$$

$$\text{Área Sb} = 0,04 \times 0,25 = 0,010$$

Para a resistência térmica total da cobertura, temos:

$$R_t = 0,023 + 0,010 + 0,023 + 0,3814 + 0,010 + 4,0743 = 0,5289$$

$$RT = R_{\text{si}} + R_t + R_{\text{se}} = 0,17 + 0,53 + 0,04 = 0,74 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$$

$$U = 1/RT = 1/0,74 = 1,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$



ANEXO B

Tabela A.2 – Valores de referência para edificações educacionais

Uso típico	Edificações educacionais			
	Condição real	Condição de referência		
		Educação infantil	Ensino fundamental e médio	Ensino superior
Geometria				
Área (m ²)	Condição real			
Orientação solar	Condição real			
Pé-direito (piso a teto) (m)	Condição real			
Aberturas				
PAF - Percentual de área de abertura da fachada (%)	Condição real	40 (0,40)		
Componentes construtivos				
Parede	Condição real	Argamassa interna (2,5 cm), bloco cerâmico furado (9 cm), argamassa externa (2,5 cm)		
Upar - Transmitância da parede externa (W/m ² K)	Condição real	2,39		
αPAR - Absortância da parede (adimensional)	Condição real	0,5		
CTpar - Capacidade térmica da parede externa (kJ/m ² K)	Condição real	150		
Cobertura	Condição real	Telha de fibrocimento, câmara de ar (>5 cm) e laje maciça de concreto (10 cm)		
Ucob - Transmitância da cobertura (W/m ² K)	Condição real	2,06		
αCOB - Absortância da cobertura (adimensional)	Condição real	0,8		
CTcob - Capacidade térmica da cobertura (kJ/m ² 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/m ² 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			
Iluminação e ganhos				
DPI - Densidade de potência de iluminação (W/m ²)	Condição real	15,5**		
Ocupação (m ² /pessoa)	Condição de referência	2,5	1,5	1,5
DPE - Densidade de potência de equipamentos (W/m ² ***)	Condição de referência	15,0		
Horas de ocupação (horas)	8			



	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6
Área ^(m²)	12,40	21,37	31,70	21,97	53,33	71,97
Contato com o solo?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input checked="" type="checkbox"/> Sim			
Zona sobre pilotis?	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Não			
Possui cobertura exposta?	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Não			
Possui isolamento do piso?	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Não			
Tipo de zona?	<input checked="" type="checkbox"/> Interna	<input checked="" type="checkbox"/> Interna	<input checked="" type="checkbox"/> Interna	<input checked="" type="checkbox"/> Perimetral	<input checked="" type="checkbox"/> Perimetral	<input checked="" type="checkbox"/> Perimetral
Orientação solar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> SO	<input checked="" type="checkbox"/> SO	<input checked="" type="checkbox"/> NE
Densidade de potência de equipamentos ^(W/m²)	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00
Densidade de potência de iluminação ^(W/m²)	16,50	16,50	16,50	16,50	16,50	16,50
Fator Solar do vidro	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Transmitância térmica do vidro ^(U_g, W/m².K)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Absorvância solar de cobertura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Absorvância solar da parede	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Perfilito ^(%)	2,88	2,88	2,88	0,75	0,75	0,75
Porcentagem de abertura de fachada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0,50	0,50	0,16
Ângulo horizontal de sombreamento ^(°)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	37,09	37,09	37,09
Ângulo vertical de sombreamento ^(°)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	32,32	32,32	32,32
Ângulo de obstrução vizinha ^(°)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0,00	0,00	0,00
Horas de ocupação	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Transmitância térmica da cobertura ^(U₀, W/m².K)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Transmitância térmica da parede ^(U₀, W/m².K)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1,84	1,84	1,84
Capacidade Térmica da cobertura ^(KWh/m²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Capacidade Térmica da parede ^(KWh/m²)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	338,59	338,59	338,59



	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Zona 8
Área ^(m²) ❶	2114	3434	6119	6312	7683	1456	826	6130
Cenário com o sol? ❷	<input type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não
Zona sobre pilotis? ❸	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não
Possui cobertura exposta? ❹	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Sim
Possui isolamento de piso? ❺	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Não
Tipo de zona? ❻	<input type="checkbox"/> Interna	<input type="checkbox"/> Interna	<input type="checkbox"/> Perimetral					
Orientação solar ❼	<input type="checkbox"/> SO	<input type="checkbox"/> SO	<input type="checkbox"/> SO	<input type="checkbox"/> SO	<input type="checkbox"/> NE	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> NE	<input type="checkbox"/> SE
Densidade de potência de equipamentos ^(W/m²) ❶	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Densidade de potência de iluminação ^(W/m²) ❷	15,50	15,50	15,50	15,50	15,50	15,50	15,50	15,50
Fator Solar do vidro ❸			0,57	0,57	0,57			
Transmitância térmica do vidro ^(W/m²·K) ❹			5,50	5,50	5,50			
Absortância solar de cobertura ❺	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
Absortância solar da parede ❻			0,75	0,75	0,75			
Fé-direito ^(m) ❷	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80
Percentual de abertura da fachada ❸			0,08	0,30	0,28			
Ângulo horizontal de sombreamento ❹			37,09	37,09	37,09			
Ângulo vertical de sombreamento ❺			32,32	32,32	32,32			
Ângulo de obstrução vizinha ❻			0,00	0,00	0,00			
Horas de ocupação ^(h) ❷	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Transmitância térmica da cobertura ^(W/m²·K) ❸	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Transmitância térmica da parede ^(W/m²·K) ❹			1,84	1,84	1,84			
Capacidade Térmica da cobertura ^(kWh/m²) ❺	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
Capacidade Térmica da parede ^(kWh/m²) ❻			339,59	339,59	339,59			