UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

BÁRBARA MESQUITA DALVI
JORDAN CAMISQUI

ETIQUETAGEM ENERGÉTICA SEGUNDO O MÉTODO PBE EDIFICA (RTQ-C) APLICADO EM UMA EDIFICAÇÃO INSTITUCIONAL EM VITÓRIA - ES

VITÓRIA - ES
2020

BÁRBARA MESQUITA DALVI
JORDAN CAMISQUI

ETIQUETAGEM ENERGÉTICA SEGUNDO O MÉTODO PBE EDIFICA (RTQ-C) APLICADO EM UMA EDIFICAÇÃO INSTITUCIONAL EM VITÓRIA - ES

Projeto de Graduação apresentado ao curso de Engenharia Civil, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Espirito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Aparecida Netto de Jesus.

VITÓRIA - ES

2020

RESUMO

No cenário brasileiro, os edifícios comerciais, públicos e de serviço consomem aproximadamente, 50% da energia elétrica, segundo dados do PROCEL (2015), o que demonstra a necessidade de melhor análise e estudo de medidas a serem implementadas na fase de projeto ou ainda reformas, como RETROFIT, para aumentar a eficiência de tais edificações. O PBE-Edifica foi uma dessas medidas, que trata especificamente da etiquetagem na construção civil. Quando deu-se início à realização deste trabalho, vigorava então, o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C), sendo então, necessário fazer uma análise de viabilidade de implementação dos requisitos de tal regulamento, visto que até 2019, apenas 2 edificações comerciais, públicas ou de serviço foram certificadas no Espírito Santo. Assim, através do método de simulação do PBE-Edifica, lançando mão de softwares de modelagem e simulação computacional, classificou-se o desempenho energético de uma edificação pública federal localizada na cidade de Vitória/ES. Para gerar um protótipo computacional da edificação real em estudo, bem como os seus modelos de referência, foram feitas visitas técnicas ao prédio, bem como análises dos projetos arquitetônicos e complementares, a fim de obter os dados necessários para tal. A edificação recebeu, ao fim, a classificação energética parcial da envoltória nível A, não se fazendo necessário a implementação de medidas de melhorias na envoltória do edifício. Destacou-se as dificuldades encontradas para a realização da pesquisa para este trabalho, visto que há diversas informações desconexas dentro do RTQ-C no que tange a execução do método de simulação e o método prescritivo.

Palavras-chave: PBE-Edifica. Edificação pública. Simulação. Eficiência energética. Etiquetagem parcial. Envoltória.

ABSTRACT

In the Brazilian scenario, comercial, public and service buildings consume approximately 42.8% of electricity, which demonstrates the need for better analysis and study measures to be implemented in the design phase or reforms, like RETROFIT, to increase the efficiency of such buildings. When this work was started, the Technical Quality Regulation for the Energy Efficiency Level of Commercial, Service and Public Buildings (RTQ-C) was in force, therefore it was necessary to carry out an analysis of the feasibility of the requirements of such regulation, since by 2019, only 2 commercial, public or service buildings were certified in Espírito Santo. Therefore, through the PBE-Edifica's simulation method, using modeling softwares, the energy performance of a federal public building, located in the city of Vitória/ES was classified. To generate a computational prototype of the real edification under study, its reference models and simulate them, technical visits to the building were made, as well as analyzes of the architectural and complementary projects, in order to obtain the necessary data for it. The building received, at the end, the envelope parcial energy certification level A, which made it not necessary to implement improvement measures in the building envelope. The lighted, since there is several disconnected information within the RTQ-C regarding the execution of the simulation method and the prescriptive method, confusing the authors. Many solutions to such difficulties were found on the PBE-Edifica's forum, which is administered and answered only and exclusively by the members and administrators of PBE-Edifica.

Keywords: PBE-Edifica. Public building. Simulation. Energy efficiency. Partial labeling. Envelope.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Níveis de Eficiência do RTQ-C 19
Figura 2- Modelo de ENCE Geral para projeto e edificação construída..... 20
Figura 3 – Modelo de ENCE Parcial da Envoltória e Envoltória e Iluminação.. 21
Figura 4 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro 24
Figura 5 - ENCE geral de projeto e suas partes..... 35
Figura 6 - Etapas do trabalho 38
Figura 7 - Dados coletados sobre a edificação 39
Figura 8 - Interface do Software EnergyPlus..... 43
Figura 9 - Interface do Software SketchUp com o Plug-In Euclid destacado em vermelho..... 44
Figura 10 - Mapa do Centro Tecnológico 46
Figura 11 - Imagem aérea do CT-I 47
Figura 12 - Plantas baixas setorizadas pavimento superior e térreo CT-I 48
Figura 13 - Fachada norte do CT-I 49
Figura 14 - Fachada Sul da Edificação 50
Figura 15 - Dados necessários do Perfil de uso..... 51
Figura 16 - Zonas térmicas pavimento superior e térreo CT-I 57
Figura 17 - Fachada norte CT-I 57
Figura 18 - Fachada sul CT-I..... 58
Figura 19 - Fachada norte Modelo de Referência A..... 62
Figura 20 - Fachada norte Modelo de Referência B..... 63
Figura 21 - Fachada Sul Modelo de referência A 63
Figura 22 - Fachada Sul Modelo de Referência B..... 64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Equivalente numérico para cada nível de eficiência (EqNum) 19
Tabela 2 - Classificação Geral 20
Tabela 3 - Relação das exigências para transmitância térmica de cobertura para diferentes níveis de eficiência energética e Zonas Bioclimáticas 25
Tabela 4 - Síntese das exigências para transmitância térmica de paredes externas para os diferentes níveis de eficiência energética e Zonas Bioclimáticas 25
Tabela 5 - Absortância para radiação solar (ondas curtas) 26
Tabela 6 - Absortâncias das cores de tintas..... 27
Tabela 7 - Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL) para o nível de eficiência pretendido – Método da área do edifício 29
Tabela 8 - Tipo de sistema de condicionamento de ar a ser simulado para o caso de edifícios sem projeto de sistema..... 30
Tabela 9 - Características gerais do sistema a ser modelado..... 31
Tabela 10 - Características específicas em função do tipo de sistema de condicionamento de ar a ser modelado 31
Tabela 11 - Síntese das iniciativas para bonificação..... 33
Tabela 12 - Parâmetros para cálculo de ICmin e ICmaxD 40
Tabela 13 - Limites dos intervalos para os níveis de eficiência..... 41
Tabela 14 - Características do modelo real e de referência..... 41
Tabela 15 - COP para aparelhos de ar condicionado por nível energético 42
Tabela 16 - Perfil de uso coletado..... 52
Tabela 17- Parâmetros dos materiais construtivos. 53
Tabela 18 - Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL) para o nível de eficiência pretendido..... 54
Tabela 19 - Dados de equipamentos internos..... 55
Tabela 20 - Identificação das Zonas Térmicas..... 56
Tabela 21 - Variáveis para cálculo de ICenv 60
Tabela 22 - Cálculo do ICenv, ICmín e ICmáxD..... 61
Tabela 23 - Valores do PAFT e F PAFT por nível de eficiência 62
Tabela 24 - Resumo das variáveis para os casos de referência, por nível 64
Tabela 25 - Consumo de energia elétrica por uso final em kWh/ano e %. 65

Tabela 26 - Transmitância térmica das superfícies externas. 66
Tabela 27 - Consumos de energia elétrica anuais (kWh/ano) dos modelos real e de referência 66
Tabela 28 - Comparativo entre as atuais composições construtivas e as sugeridas..... 69
Tabela 29 - Composição dos Materiais Construtivos 78

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AC	Área Condicionada
Aenv	Área da envoltória
AHS	Ângulo Horizontal de Sombreamento
ANC	Área Não Condicionada
Apcob	Área de projeção da cobertura
Ape	Área de projeção do edifício
APT	Área de Permanência Transitória
Atot	Área total construída
AU	Área Útil
AVS	Ângulo Vertical de Sombreamento
Ct	Capacidade térmica
COP	Coeficiente de Performance
DCI	Densidade de Carga Interna
DPI	Densidade de Potência de Iluminação
DPIL	Densidade de Potência de Iluminação Limite
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
Env	Envoltória
EP	EnergyPlus
EqNum	Equivalente Numérico
FA	Fator Altura (Apcob/Atot)
FF	Fator de Forma (Aenv/Vtot)
FS	Fator Solar
ICenv	Indicador de Consumo da envoltória
PAFo	Percentual de Abertura na Fachada oeste
PAFT	Percentual de Abertura na Fachada total
PAZ	Percentual de Abertura Zenital
PT	Pontuação Total
Ucob	Transmitância térmica da cobertura
Upar	Transmitância térmica das paredes
Vtot	Volume total da edificação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 10

1.1. OBJETIVO 11

1.1.1. Objetivo geral 11

1.1.2. Objetivos específicos 11

1.2. JUSTIFICATIVA 12

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO 12

2. REFERENCIAL TEÓRICO 14

2.1. MATRIZ ENERGÉTICA 14

2.1.1. Cenário dos edifícios no contexto do consumo energético 15

2.2. ETIQUETAGEM ENERGÉTICA (PBE EDIFICA) 16

2.2.1. Contextualização 16

2.2.2. Classificação para etiquetagem energética 18

2.2.3. Pré-requisitos e bonificações 22

2.3. SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA DE APOIO À ETIQUETAGEM ... 33

3. METODOLOGIA 38

4. ESTUDO DE CASO: CT-I 46

4.1. CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS 49

4.2. PERFIL DE USO 50

5. SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TERMO ENERGÉTICO DA EDIFICAÇÃO 51

5.1. LEVANTAMENTO DE DADOS 51

5.1.1. Materiais 52

5.1.2. Iluminação e ar condicionado 54

5.1.3. Equipamentos 54

5.2. MODELAGEM 55

5.3. CONFIGURAÇÃO DOS MODELOS DE REFERÊNCIA..... 59

6. ETIQUETAGEM ENERGÉTICA PARCIAL DA ENVOLTÓRIA 65

6.1. RESULTADOS GERAIS..... 65

6.2. RESULTADOS DA ENVOLTÓRIA 66

6.3. DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA 66

7. CONCLUSÃO 70

7.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 72

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 73

APÊNDICES 77

APÊNDICE A – COMPOSIÇÃO DAS CONSTRUÇÕES..... 78

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o Brasil vem passando, novamente, por um período de crise energética. Tendo uma matriz predominantemente hídrica, na qual cerca de 61,5% de toda a energia gerada provém de hidrelétricas, conforme o Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2017), o clima vem se mostrando cada vez mais desfavorável, com grandes períodos de escassez de chuva, o que prejudica e diminui a capacidade de geração das grandes usinas.

Somado à crise energética está a alta demanda de energia elétrica que, tratando-se do setor da construção civil, o consumo de energia elétrica das edificações é consideravelmente alto, correspondendo a aproximadamente 42,8% da demanda energética do país, conforme dados divulgados no Balanço Energético Nacional de 2017, ano base 2016 (BRASIL, 2017). Desses, os setores comercial, público e de serviços são responsáveis por 21,4% da demanda total. Nas edificações públicas, segundo dados do PROCEL (2011), estima-se que cerca de 70% do gasto energético é em função da climatização e iluminação do edifício.

Sendo assim, uma solução muito cautelosa é atenuar o problema através de medidas de Eficiência Energética (EE) no uso final, para conter a demanda. Para incentivar a sociedade civil, foram criadas iniciativas para a racionalização da energia, como o Programa Brasileiro de Etiquetagem, que obriga a exibição nos equipamentos do seu nível de EE. Posteriormente o programa foi expandido, chegando nas edificações comerciais, públicas e de serviços com a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) que avalia a eficiência da edificação em três quesitos: envoltória, iluminação e condicionamento de ar.

Para Brandli (2007), a verificação do desempenho energético de uma edificação é fundamental para o desenvolvimento sustentável, para minimizar os impactos ambientais e controlar os altos níveis de desperdício causados pela construção civil. As medições fornecem informações necessárias aos

gestores para que possam tomar melhores decisões em prol do desempenho sustentável do edifício.

Segundo a Eletrobrás (2011), uma edificação em fase de projeto pode vir a economizar até 50% de seu gasto original e uma edificação já construída, que venha sofrer um retrofit, pode ter uma economia de até 30%, se forem seguidos as recomendações e padrões da etiquetagem do PROCEL EDIFICA.

1.1. OBJETIVO

1.1.1. Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo a determinação do nível de eficiência energética parcial de um edifício público federal, através da envoltória, situado na Universidade Federal do Espírito Santo, em Vitória - ES, segundo o RTQ-C.

1.1.2. Objetivos específicos

São apresentados como objetivos específicos os itens a seguir:

- Identificar os Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) necessários para cumprimento da avaliação parcial da envoltória;
- Selecionar softwares de modelagem e simulação para classificar o estudo de caso selecionado;
- Realizar o levantamento do estudo de caso, identificando sistemas construtivos, perfil de uso e equipamentos internos;
- Avaliar a classificação energética parcial da envoltória de um edifício público federal, segundo o método de simulação do PBE Edifica.

1.2. JUSTIFICATIVA

O Brasil, detentor de um Programa de Conservação de Energia Elétrica, PROCEL, desde 1985, tendo passado por uma crise energética em 2001, tem várias leis, decretos aplicáveis a prédios públicos e várias iniciativas ministeriais, que buscam a racionalização do consumo de recursos energéticos nos prédios públicos. A busca da eficiência energética nas edificações públicas tem um papel fundamental como política pública tanto como efeito demonstrativo quanto como indutor do mercado. Mais importante ainda, mostra para a sociedade a coerência do governo entre o discurso e a ação (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2010).

De acordo com o PROCEL (2017), no Brasil, o consumo de energia elétrica nas edificações residenciais e comerciais, de serviços e públicas, é bastante significativo, correspondendo a aproximadamente 50% do total da eletricidade consumida no país. Em contrapartida, o potencial de economia de energia desse setor também é expressivo, uma vez que edificações novas construídas de acordo com os padrões instituídos pela Etiquetagem PBE Edifica podem obter uma economia de até 50%, já as edificações existentes que sofrerem grandes reformas, uma economia de até 30%.

Em vista disso, neste projeto de graduação serão apresentados os aspectos técnicos acerca da implementação de requisitos de eficiência energética em um edifício público localizado em Vitória - ES.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente projeto divide-se em 7 capítulos:

Capítulo 1: Apresenta-se a introdução ao tema de estudo, juntamente com um resumo de seu contexto. Mostram-se os objetivos gerais e específicos, assim

como a justificativa para a prática da gestão energética sustentável no cenário do Espírito Santo. Demonstra-se a estruturação do projeto.

Capítulo 2: Apresenta-se o atual cenário energético brasileiro, bem como seus principais programas e legislações acerca da conservação de energia elétrica. Descreve-se a etiquetagem energética em vigor às edificações comerciais, de serviço e públicas, assim como seus pré requisitos gerais e específicos referentes à envoltória. Descreve-se também, as bonificações e todo o procedimento para a obtenção da ENCE. Neste capítulo, apresenta-se, também, os softwares de simulação higrotérmica e energética em conformidade com os requisitos do RTQ-C.

Capítulo 3: Apresenta-se a metodologia adotada e desenvolvida para a execução do estudo.

Capítulo 4: Caracteriza-se a edificação de estudo, apresentando suas características funcionais, construtivas, o perfil de seus usuários, descreve-se seus sistemas de iluminação e ar condicionado e apresenta-se sua localização geográfica.

Capítulo 5: Apresenta-se os dados gerais da envoltória utilizados na modelagem e simulação do edifício, bem como os parâmetros obrigatórios para a configuração da mesma nos modelos de referência. Mostra-se os dados obtidos nas simulações. Faz-se a classificação parcial da eficiência da edificação, a partir da envoltória.

Capítulo 6: Mostra-se os dados obtidos nas simulações. Faz-se a classificação parcial da eficiência da edificação, a partir da envoltória.

Capítulo 7: Apresentam-se os comentários e as conclusões finais acerca do presente estudo, e também sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, apresentam-se as referências utilizadas para o estudo e os apêndices.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. MATRIZ ENERGÉTICA

A matriz energética exprime o quadro de geração de energia de um país. Atualmente, diferente da maioria das matrizes energéticas mundiais que queimam combustíveis fósseis para gerar eletricidade, o Brasil dispõe de uma matriz energética de origem predominantemente renovável (EPE, 2019). Segundo o governo (BRASIL, 2019), 45,3% da produção de energia é proveniente de fontes como recursos hídricos, biomassa e etanol, além das energias eólica e solar.

Em 2017, a oferta interna de energia (total de energia disponibilizada no país) atingiu 292,1 Mtep, registrando um acréscimo de 1,3% em relação ao ano anterior. Parte deste aumento foi influenciada pelo comportamento das ofertas internas de gás natural e energia eólica, que subiram 6,7% e 26,5% no período, respectivamente. Contribuiu ainda para a expansão da oferta interna bruta a retomada da atividade econômica em 2017, ano em que o PIB nacional cresceu 1,0%, segundo o último dado divulgado pelo IBGE (EPE, 2019).

Já a geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores atingiu 588,0 TWh em 2017, resultado 1,6% superior ao de 2016, com destaque para a fonte hídrica que responde por 65,2% da oferta interna (EPE, 2019).

Seguindo a tendência verificada na oferta, o consumo final, energético e não energético, avançou 1,2% em relação ao ano anterior, destaque para a expansão de 2,3% e 1,0% nos consumos dos setores de transporte e industrial, respectivamente. Tratando-se do consumo final de eletricidade no país, em 2017 houve uma progressão de 0,9%. Os setores que mais contribuíram para este aumento foram o comercial (1,5%) e o industrial (1,1%). O setor residencial também teve um aumento de 0,8% no consumo de energia elétrica em relação a 2016 (EPE, 2019).

2.1.1. Cenário dos edifícios no contexto do consumo energético

No setor da construção civil, segundo dados disponíveis no Balanço Energético Nacional 2018 (BRASIL, 2019) publicado pelo Ministério de Minas e Energia dentro da composição setorial do consumo de energia do país, as edificações e sua cadeia construtiva são responsáveis por aproximadamente metade da energia consumida, no qual 25,5% correspondem a edificações residenciais, 17,1% a edificações comerciais e 8,2% a edificações públicas, totalizando em 50,8% do consumo de energia do país. É importante perceber que além da energia consumida ao longo do ciclo de vida das edificações, estas são concretizadas com a utilização de uma série de materiais que possuem uma alta quantidade de energia incorporada, isto é, energia consumida no processo de produção destes materiais. Dentre estes, podemos citar o concreto, alumínio e o aço que aliado à grande demanda de energia, são responsáveis também por grandes quantidades de emissões de CO2 (PARDINI, 2009).

Além disso, o crescimento da demanda de energia no setor das edificações é relativamente maior que o crescimento do PIB. Com isso, a real necessidade de estabelecer medidas que aumentem a eficiência energética das edificações proporcionando um crescimento sustentável, com menor emissão de CO2 e consequentemente menor impacto ao meio ambiente, compatibilizando o crescimento da economia e da demanda energética, com a capacidade de geração de energia do país (SALOMÃO et al., 2009).

Portanto, de acordo com Leão Junior e Bittencourt (2008) aumentar a eficiência energética do ambiente construído, através da utilização de edifícios mais inteligentes no sentido de reduzir o desperdício de energia, é uma questão crucial para a sustentabilidade do planeta.

De acordo com Grillo (2005), grande parte da energia consumida nas edificações é destinada à geração do conforto ambiental. Este considerável desperdício de energia ocorre devido à não incorporação de importantes avanços ocorridos nas áreas de arquitetura bioclimática, materiais, equipamentos e tecnologias construtivas, vinculados à eficiência energética,

nos projetos desenvolvidos. Os novos conceitos de projetos sustentáveis sugerem uma integração da natureza com os materiais e técnicas construtivas, resultando em ambientes confortáveis, energeticamente eficientes e com baixo custo de manutenção. Para as edificações já existentes, também podem ser encontradas soluções para reabilitação ambiental preservando a arquitetura original, tais como: a otimização da iluminação natural e aplicação de tecnologias inovadoras.

2.2. ETIQUETAGEM ENERGÉTICA (PBE EDIFICA)

2.2.1. Contextualização

O selo PROCEL de Economia de Energia, desenvolvido pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, foi criado através de um Decreto presidencial de 8 de dezembro de 1993, com o intuito de indicar produtos que apresentam melhores níveis de eficiência energética ao consumidor. Contudo, a princípio, a etiquetagem era restrita a equipamentos domésticos, e apenas em 2003, passou-se a avaliar imóveis, com o Procel Edifica.

O Procel Edifica, um subprograma do Procel que tem por objetivo desenvolver atividades com vistas à divulgação e ao estímulo à aplicação dos conceitos de eficiência energética em edificações, viabilizar a implementação da “Lei de Eficiência Energética”, no que concerne a edificações, e contribuir com a expansão, de forma energeticamente eficiente, do setor habitacional do país, reduzindo os custos operacionais na construção e utilização dos imóveis (PBE EDIFICA, 2013).

No Brasil, o processo de identificação acabou consolidado apenas no ano de 2010, com etiquetas emitidas pela Fundação CERTI, que examinava construções comerciais, domiciliares, de serviços e públicas – indústrias e fábricas não são incluídas na lista – observando os desempenhos dos sistemas de envoltória (itens usados na fachada e cobertura), de iluminação e

condicionamento de ar. Nas edificações, no entanto, estas análises se estendem para aquecimento e uso racional de água, ventilação e elevadores.

No âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), quando deu-se início a este trabalho, vigoravam então, os Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) e seus documentos complementares, como os Requisitos de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações (RAC) e os Manuais para aplicação do RTQ-C e do RTQ-R (PBE EDIFICA, 2013). Ressalta-se, no entanto, que na data de apresentação deste trabalho, outro regulamento tramitava para aprovação do INMETRO, a Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-C), que substituirá o RTQ-C. Porém, como já havia sido feita toda a pesquisa e desenvolvimento do trabalho com base no RTQ-C, o qual ainda vigorava, optou-se por manter o estudo como estava.

Os RTQ-C e RTQ-R contém os quesitos necessários para classificação do nível de eficiência energética das edificações. O RAC apresenta os procedimentos para submissão para avaliação, direitos e deveres dos envolvidos, o modelo da ENCE, a lista de documentos que devem ser encaminhados, modelos de formulários para preenchimento, dentre outros. É o documento que permite à edificação obter a ENCE do Inmetro (PBE EDIFICA, 2013).

A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) é obtida mediante a avaliação da edificação a partir dos requisitos contidos nos regulamentos técnicos RTQ-C e RTQ-R e segundo as regras estabelecidas no RAC. Essa atividade é feita por um Organismo de Inspeção Acreditado (OIA) pelo Inmetro (PBE EDIFICA, 2013).

A relação dos OIAs pode ser obtida no sítio eletrônico do Inmetro. O processo de etiquetagem é composto de duas etapas consecutivas - inspeção de projeto

e inspeção da edificação construída – ao fim das quais são emitidas a ENCE de projeto (facultativa para edificações existentes) e a ENCE da Edificação Construída, respectivamente. A inspeção de projeto pode ser feita segundo dois métodos – prescritivo e simulação termo energética, enquanto a inspeção da edificação construída deve ser feita através da inspeção amostral in loco (PBE EDIFICA, 2013).

2.2.2. Classificação para etiquetagem energética

Os regulamentos RTQ-C (Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos) e RTQ-R (Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Residências) têm por objetivo estabelecer as exigências para a classificação do nível de eficiência energética de edificações, a fim de possibilitar a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), que é fornecida pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro).

Para obter a classificação, deve-se analisar a eficiência de três sistemas individuais da edificação: Envoltória, Sistema de Iluminação e Sistema de Condicionamento de Ar. Cada um desses sistemas possui um nível de eficiência que varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente), como mostra a Figura 1. Para resultar em uma classificação final, pesos são atribuídos para cada sistema individual e, de acordo com a pontuação final, é obtida uma classificação que também varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente), apresentada na ENCE. Os pesos são distribuídos da seguinte maneira: Envoltória = 30%; Sistema de Iluminação = 30%; Sistema de Condicionamento de Ar = 40% (BRASIL, 2017).

Figura 1 - Níveis de Eficiência do RTQ-C

Fonte: Brasil (2017).

Além dos pesos, a avaliação de cada sistema individual utiliza equivalentes numéricos, que são pontos correspondentes aos cinco níveis de eficiência, atribuídos de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1- Equivalente numérico para cada nível de eficiência (EqNum)

A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Fonte: Brasil (2017).

Conhecendo os pesos e os equivalentes numéricos de cada sistema individual, a classificação geral do edifício é calculada através da Equação 1:

$$PT = 0{,}30 * \left\{\left(EqNumEnv * \frac{AC}{AU}\right) + \left(5 * \frac{APT}{AU} + EqNumV\frac{ANC}{AU}\right)\right\} + 0{,}30 * (EqNumDPI) + 0{,}40 * \left\{\left(EqNumCA\frac{AC}{AU}\right) + \left(5 * \frac{APT}{AU} + EqNumV\frac{ANC}{AU}\right)\right\} + b_0^1$$

Eq. 1

Onde:

EqNumEnv: Equivalente numérico da envoltória;

EqNumDPI: Equivalente numérico do sistema de iluminação;

EqNumCA: Equivalente numérico do sistema de ar condicionado;

EqNumV: Equivalente numérico dos ambientes não condicionados ou naturalmente ventilados;

APT: Área útil dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados;

ANC: Área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada;

AC: Área útil dos ambientes condicionados;

AU: Área útil;

b: Pontuação obtida pelas bonificações, sendo de zero a 1.

Com o número de pontos obtidos na Equação 1, chega-se à classificação final da edificação, de acordo com a Tabela 2.

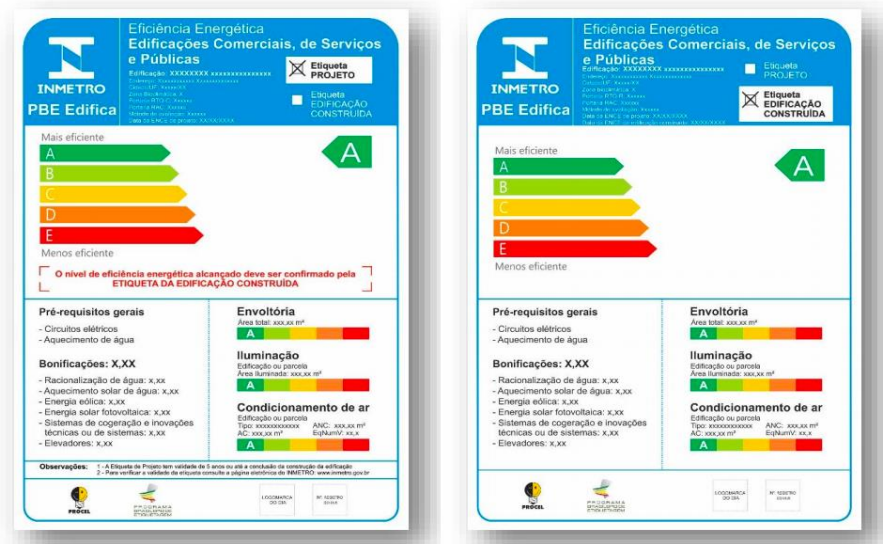
Tabela 2 - Classificação Geral

PT	Classificação Final
≥ 4,5 a 5	A
≥ 3,5 a < 4,5	B
≥ 2,5 a < 3,5	C
≥ 1,5 a < 2,5	D
< 1,5	E

Fonte: Brasil (2017).

A classificação final é apresentada na ENCE Geral, juntamente com a descrição dos pré-requisitos gerais atendidos, bonificações recebidas e o nível de eficiência de cada sistema. Além disso, a edificação recebe uma ENCE geral durante a fase de projeto e outra após a construção, conforme ilustrado na Figura 2.

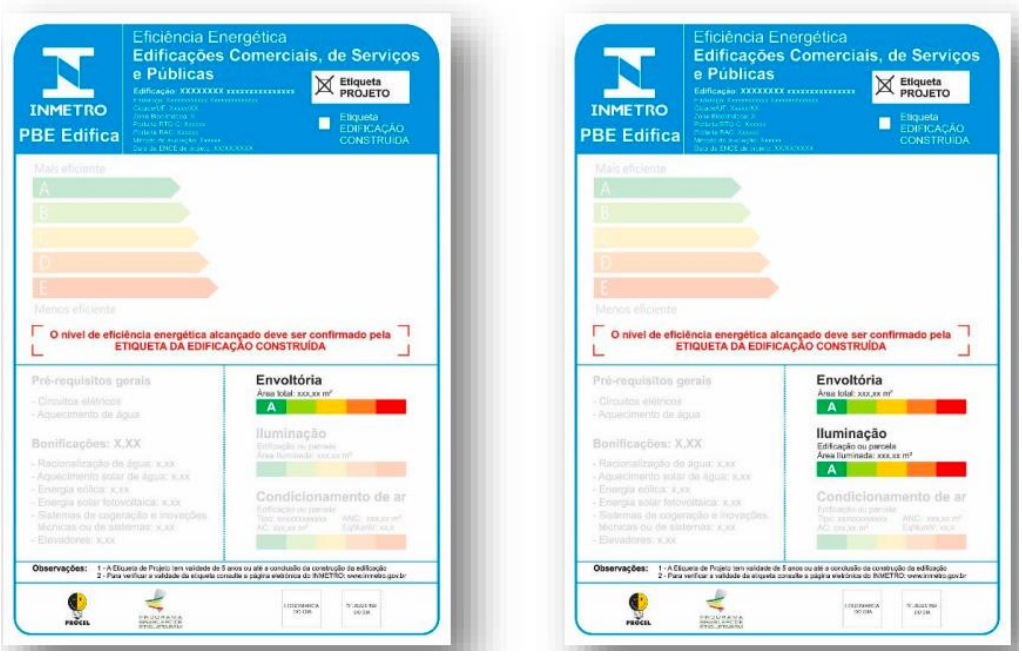
Figura 2- Modelo de ENCE Geral para projeto e edificação construída



Fonte: Brasil (2017).

A edificação também pode receber apenas a classificação parcial, ou seja, quando apenas um sistema ou a combinação de dois desses sistemas é avaliada, conforme demonstra a Figura 3. Neste caso, três classificações parciais são permitidas: Envoltória; Envoltória + Sistema de Iluminação; Envoltória + Condicionamento de Ar. Vale ressaltar que a avaliação da envoltória é obrigatória e só pode ser realizada para todo o edifício (BRASIL, 2017).

Figura 3 – Modelo de ENCE Parcial da Envoltória e Envoltória e Iluminação



Fonte: Brasil (2017).

A Instrução Normativa nº 02 de 2014 tornou obrigatória a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para edificações construídas ou adaptadas com recursos públicos federais para exercício de atividade administrativa ou prestação de serviços públicos, maiores que 500 m² e contratados a partir de agosto de 2014. Para novas edificações, é obrigatório a obtenção da ENCE Geral de Projeto e de Edifício Construído Nível A. Já para as obras de retrofit, aquelas que alteram os sistemas de iluminação, condicionamento de ar ou envoltória da edificação, deve-se avaliar os sistemas alterados de forma a obter etiquetas parciais de nível A. Entretanto, recomenda-se a etiquetagem do edifício completo (BRASIL, 2014).

2.2.3. Pré-requisitos e bonificações

Para a classificação do nível de eficiência energética da edificação, o RTQ-C estabelece pré-requisitos gerais e específicos. Quanto mais elevado o nível pretendido, mais rigorosas são as condições a serem atendidas. Além disso, o regulamento determina uma série de soluções que entram como bonificação na classificação do edifício.

PRÉ-REQUISITOS GERAIS:

Os pré-requisitos gerais são itens necessários para que uma edificação possa obter a classificação geral do nível de eficiência energética. Caso algum desses pré-requisitos não seja atendido, a edificação não poderá receber uma etiqueta completa de nível de eficiência A, B ou C. Essa regra só vale para a classificação geral, portanto, mesmo não atendendo a algum pré-requisito geral, as classificações parciais podem indicar nível de eficiência A, B ou C. Assim, nota-se que a classificação final poderá ser alterada e seu nível de eficiência energética reduzido dependendo do pré-requisito que não for atendido (BRASIL, 2017).

No presente trabalho, apenas a classificação parcial da envoltória da edificação será apresentada, logo, os pré-requisitos gerais não se aplicam a este estudo.

PRÉ-REQUISITOS ESPECÍFICOS:

Para cada sistema avaliado, o RTQ-C especifica uma série de condições que também serão mais criteriosas conforme o nível de eficiência almejado. Tais requisitos são necessários tanto para as classificações parciais quanto para a classificação geral.

I) ENVOLTÓRIA

A envoltória é definida como um conjunto de elementos construtivos que estão em contato com o meio exterior, ou seja, que compõem os fechamentos dos ambientes internos em relação ao ambiente externo, referindo-se exclusivamente às partes construídas acima do solo. Independente do material ou função de uma edificação, todos os elementos que estão acima do nível do solo e em contato com o exterior ou com outro edifício pertencem à envoltória (BRASIL, 2017).

A classificação da envoltória é feita levando-se em consideração as características físicas da edificação. São determinados pré-requisitos específicos para a transmitância térmica da cobertura e paredes exteriores, cores e absortância de superfícies e iluminação zenital. Estes parâmetros são complementados pelo volume, pela área de piso da edificação e pela orientação das fachadas.

No presente trabalho, apenas a classificação parcial da envoltória da edificação através do método de simulação será apresentada, e, de acordo com o PBE Edifica e o Manual 4.1 do RTQ-C, os pré-requisitos específicos da envoltória não precisam ser avaliados, pois seu estudo destina-se exclusivamente ao método prescritivo de avaliação. Ou seja, os pré-requisitos a seguir foram utilizados apenas para a construção dos modelos de referência, todavia, não faz-se necessário a comparação dos parâmetros da envoltória que foram obtidos através da simulação computacional do modelo real do edifício para checar se atendem às condições estabelecidas.

a) Transmitância térmica

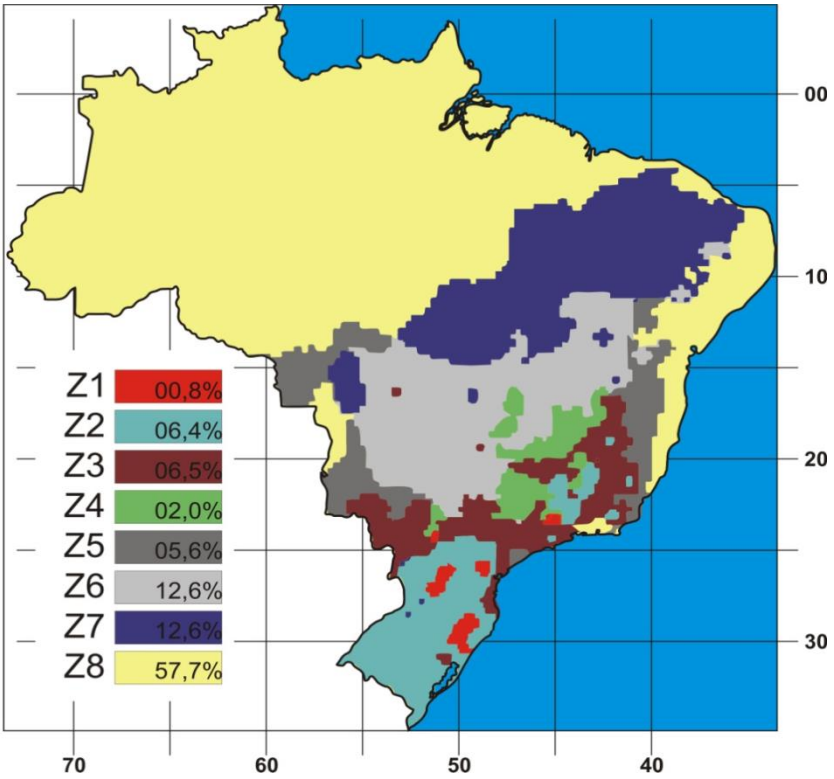
Transmitância térmica é a transmissão de calor em unidade de tempo através de um elemento ou componente construtivo, neste caso, de componentes opacos das fachadas (paredes externas) ou coberturas. Desta maneira é possível conhecer o nível de isolamento térmico em relação ao calor que atravessa a envoltória. Se a transmitância térmica for baixa, a superfície é bem

isolada. Ao contrário, um número alto revela uma superfície termicamente deficiente (BRASIL, 2017).

Expresso em W/m²·K, o valor U depende da diferença de temperatura entre o ambiente externo e interno e da resistência térmica de cada um dos elementos que compõem a envoltória.

O RTQ-C estabelece limites máximos de transmitância térmica para cada nível de eficiência, que vão variar de acordo com a Zona Bioclimática em que o edifício se encontra. De acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), no Brasil existem 8 zonas relativamente homogêneas quanto ao clima, e, para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática. As oito Zonas Bioclimáticas brasileiras são ilustradas na Figura 4 a seguir:

Figura 4 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro



Fonte: NBR 15220-3 (2005).

Para cada nível de eficiência, os limites máximos de transmitância térmica de coberturas (U_{cob}) também vão depender da existência ou não de sistema de condicionamento de ar do ambiente, conforme ilustrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Relação das exigências para transmitância térmica de cobertura para diferentes níveis de eficiência energética e Zonas Bioclimáticas

Zonas Bioclimáticas	U_{cob} A (W/m²K)		U_{cob} B (W/m²K)		U_{cob} C e D (W/m²K)	
	Ambientes Condicionados	Ambientes Não Condicionados	Ambientes Condicionados	Ambientes Não Condicionados	Ambientes Condicionados	Ambientes Não Condicionados
ZB 1 e 2	0,5	1,0	1,0	1,5	2,0	
ZB 3 a 8	1,0	2,0	1,5	2,0		

Fonte: Brasil (2017).

Já para a transmitância térmica de paredes externas (U_{par}), o RTQ-C apresenta uma particularidade para as Zonas Bioclimáticas 7 e 8. Por englobar as regiões mais quentes do Brasil, essas duas zonas têm limites de transmitância térmica que variam de acordo com a capacidade térmica do material usado na envoltória, conforme ilustrado na Tabela 4. A escolha do material tem participação significativa no desempenho térmico das edificações e, consequentemente, nos valores de sua transmitância térmica.

Tabela 4 - Síntese das exigências para transmitância térmica de paredes externas para os diferentes níveis de eficiência energética e Zonas Bioclimáticas

Zonas Bioclimáticas	U_{par} A (W/m²K)	U_{par} B (W/m²K)	U_{par} C e D (W/m²K)
ZB 1 e 2	1,0	2,0	3,7
ZB 3 a 6	3,7		
ZB 7 e 8	2,5 W/m²K, para C_t< 80 kJ/m²K		
	3,7 W/m²K, para C_t > 80 kJ/m²K		

Fonte: Brasil (2017).

b) Absortância Térmica

Absortância térmica é uma propriedade do material referente à parcela de radiação absorvida pelo mesmo, geralmente relacionada a cor. A norma técnica NBR 15220-1 (ABNT, 2005) define-a como o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície. Quanto maior a absortância, maior a parcela da energia incidente que se transforma em calor após incidir sobre a superfície de um material opaco. A NBR 15220-2 (ABNT, 2005) apresenta uma lista de absortâncias para algumas cores e materiais, conforme mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 - Absortância para radiação solar (ondas curtas)

Tipo de Superfície	**α**
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25
Caiação nova	0,12 / 0,15
Concreto aparente	0,65 / 0,80
Telha de barro	0,75 / 0,80
Tijolo aparente	0,65 / 0,80
Reboco claro	0,30 / 0,50
Revestimento asfáltico	0,85 / 0,98
Pintura:	
Branca	0,20
Amarela	0,30
Verde clara	0,40
"Alumínio"	0,40
Verde escura	0,70
Vermelha	0,74
Preta	0,97

Fonte: Brasil (2017).

A Tabela 6 mostra as especificações de absortância de tintas como revestimento de paredes e coberturas.

Tabela 6 - Absortâncias das cores de tintas

Tipo	Número	Cor	Nome	α
Acrílica Fosca	01		Amarelo Antigo	51,4
	02		Amarelo Terra	64,3
	03		Areia	44,9
	04		Azul	73,3
	05		Azul Imperial	66,9
	06		Branco	15,8
	07		Branco Gelo	37,2
	08		Camurça	57,4
	09		Concreto	74,5
	10		Flamingo	49,5
	11		Jade	52,3
	12		Marfim	33,6
	13		Palha	36,7
	14		Pérola	33,0
	15		Pêssego	42,8
	16		Tabaco	78,1
	17		Terracota	64,6
Acrílica Semi-brilho	18		Amarelo Antigo	49,7
	19		Amarelo Terra	68,6
	20		Azul	79,9
	21		Branco Gelo	36,2
	22		Cinza	86,4
	23		Cinza BR	61,1
	24		Crepúsculo	66,0
	25		Flamingo	47,3
	26		Marfim	33,9
	27		Palha	39,6
	28		Pérola	33,9
	29		Preto	97,1
	30		Telha	69,6
	31		Terracota	68,4
	32		Verde Quadra	75,5
	33		Vermelho	64,2
Látex PVA Fosca	34		Amarelo Canário	29,3
	35		Amarelo Terra	61,4
	36		Areia	39,0
	37		Azul angra	32,3
	38		Bianco Sereno	26,6
	39		Branco	11,1
Látex PVA Fosca	40		Branco Gelo	34,0
	41		Erva doce	21,9
	42		Flamingo	46,8
	43		Laranja	39,9
	44		Marfim	29,7
	45		Palha	28,5
	46		Pérola	25,7
	47		Pêssego	39,5
Acrílica Fosca	48		Alecrim	64,0
	49		Azul bali	48,9
	50		Branco Neve	10,2
	51		Branco Gelo	29,7
	52		Camurça	55,8
	53		Concreto	71,5
	54		Marfim	26,7
	55		Marrocos	54,7
	56		Mel	41,8
	57		Palha	27,2
	58		Pérola	22,1
	59		Pêssego	35,0
	60		Telha	70,8
	61		Vanila	23,9
Látex PVA Fosca	62		Amarelo Canário	25,2
	63		Areia	35,7
	64		Azul Profundo	76,0
	65		Branco Neve	16,2
	66		Branco Gelo	28,1
	67		Camurça	53,2
	68		Cerâmica	65,3
	69		Concreto	71,6
	70		Flamingo	44,4
	71		Marfim	24,5
	72		Palha	26,4
	73		Pérola	22,9
	74		Pêssego	29,8
	75		Preto	97,4
	76		Vanila	27,7
	77		Verde Musgo	79,8
	78		Vermelho Cardinal	63,3

* As imagens das cores aqui apresentadas podem não representar com exatidão a cor da tinta quando aplicada sobre as superfícies construtivas.

Fonte: INMETRO (2013).

Para desenvolver os modelos de referência níveis A e B, o RTQ-C determina que, dentro das Zonas Bioclimáticas 2 a 8, os materiais utilizados no revestimento externo de paredes devem possuir baixa absortância solar, sendo o valor máximo de α = 0,5. A Zona Bioclimática 1 é exclusa deste pré-requisito por englobar regiões frias do país e, permitindo altos valores de absortância,

pode-se aumentar os ganhos térmicos por radiação nos edifícios durante o inverno (BRASIL, 2017).

Para coberturas em geral, o valor máximo de absortância solar também não deve ultrapassar 0,5. Além disso, existem dois tipos de coberturas que apresentam-se como alternativas, o teto jardim e as telhas cerâmicas não esmaltadas (BRASIL, 2017).

II) SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Em edifícios comerciais, de serviços e públicos, a iluminação artificial desenvolve um papel importantíssimo, visto que é ela a responsável por garantir níveis corretos de iluminação dentro de ambientes internos onde a luz natural não consegue alcançar, proporcionando aos usuários condições de conforto e salubridade. Todavia, este tipo de sistema consome energia de duas formas: consumo direto, utilizando eletricidade para gerar luz, e consumo indireto, devido ao calor gerado durante o processo que, por sua vez, aumenta a demanda do sistema de condicionamento de ar e, consequentemente, eleva o consumo geral de energia da edificação.

Sendo assim, um sistema de iluminação eficiente é essencial para garantir os níveis adequados de luz para cada tarefa, consumindo o mínimo de energia e gerando a menor carga térmica possível. A eficiência energética do sistema de iluminação é obtida através da Densidade de Potência de Iluminação (DPI), razão entre o somatório da potência das lâmpadas e a área do mesmo ambiente, de acordo com as diferentes atividades exercidas pelos usuários de cada cômodo. Quanto menor a potência utilizada, menor é a energia consumida e mais eficiente é o sistema, desde que garantidas as condições adequadas de iluminação.

Para a obtenção da Etiqueta Parcial da Envoltória através da análise por simulação, deve-se adotar valores para o sistema de iluminação segundo o

nível pretendido. Define-se, então, o uso e adota-se valores de Densidade de Potência de Iluminação Limite (DPIL) segundo a Tabela 7.

Tabela 7 - Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL) para o nível de eficiência pretendido – Método da área do edifício

Função do Edifício	DPIL Nível A (W/m²)	DPIL Nível B (W/m²)	DPIL Nível C (W/m²)	DPIL Nível D (W/m²)
Academia	9,5	10,9	12,4	13,8
Armazém	7,1	8,2	9,2	10,3
Biblioteca	12,7	14,6	16,5	18,4
Bombeiros	7,6	8,7	9,9	11,0
Centro de Convenções	11,6	13,3	15,1	16,8
Cinema	8,9	10,2	11,6	12,9
Comércio	15,1	17,4	19,6	21,9
Correios	9,4	10,8	12,2	13,6
Venda e Locação de Veículos	8,8	10,1	11,4	12,8
Escola/Universidade	10,7	12,3	13,9	15,5
Escritório	9,7	11,2	12,6	14,1
Estádio de esportes	8,4	9,7	10,9	12,2
Garagem – Ed. Garagem	2,7	3,1	3,5	3,9
Ginásio	10,8	12,4	14,0	15,7
Hospedagem, Dormitório	6,6	7,6	8,6	9,6
Hospital	13,0	15,0	16,9	18,9
Hotel	10,8	12,4	14,0	15,7
Igreja/Templo	11,3	13,0	14,7	16,4
Restaurante	9,6	11,0	12,5	13,9
Restaurante: Bar/Lazer	10,7	12,3	13,9	15,5
Restaurante: Fast-food	9,7	11,2	12,6	14,1
Museu	11,4	13,1	14,8	16,5
Oficina	12,9	14,8	16,8	18,7
Penitenciária	10,4	12,0	13,5	15,1
Posto de Saúde/Clínica	9,4	10,8	12,2	13,6
Posto Policial	10,3	11,8	13,4	14,9
Prefeitura – Inst. Gov.	9,9	11,4	12,9	14,4
Teatro	15,0	17,3	19,5	21,8
Transportes	8,3	9,5	10,8	12,0
Tribunal	11,3	13,0	14,7	16,4

Fonte: Brasil (2017).

III) SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR

O RTQ-C divide a classificação da eficiência do sistema de condicionamento de ar em duas classes diferentes. Uma delas é adotada quando a edificação utiliza sistemas individuais e split, já classificados pelo INMETRO. Desta forma, deve-se apenas consultar os níveis de eficiência fornecidos nas etiquetas do INMETRO para cada um dos aparelhos instalados na edificação para posteriormente aplicar o resultado na equação geral. A outra classe trata de sistemas de condicionamento de ar como os centrais, que não são classificados pelo INMETRO. A classificação do nível de eficiência destes sistemas é mais complexa, pois sua definição depende da verificação de um número de requisitos descritos no RTQ-C e não pode ser simplesmente obtida pela consulta da etiqueta (BRASIL, 2017).

Para a obtenção de Etiqueta Parcial de Envoltória através de análise por simulação deve-se adotar valores para o sistema de condicionamento de ar segundo o nível pretendido. O sistema simulado precisa atender às Tabelas 8, 9 e 10 quando for o caso, e com o COP como do modelo de referência do nível pretendido.

Tabela 8 - Tipo de sistema de condicionamento de ar a ser simulado para o caso de edifícios sem projeto de sistema

Área total condicionada na edificação	**Tipo de sistema**
Área < 4.000 m²	Expansão direta, split, condensação a ar.
Área ≤ 4.000 m²	Água gelada com caixas VAV, condensação a água.

Fonte: Brasil (2017).

Tabela 9 - Características gerais do sistema a ser modelado

Característica	Descrição
Capacidade do sistema	Dimensionar o sistema do modelo virtual para que no máximo 10% das horas não sejam atendidas.
Temperatura de insuflamento	Considerar temperatura de insuflamento com 11°C de diferença para a temperatura de controle do ar (*setpoint*) da zona térmica.
Vazão de ar externo	Adotar as taxas de renovação de ar indicadas na NBR 16401, conforme o tipo de atividade de cada zona térmica. Considerar o ar externo admitido diretamente nas casas de máquinas do sistema de insuflamento, ou seja, desconsiderar potência elétrica para ventilação de ar externo e exaustão de ar interno.
Eficiência	Adotar eficiência nível A para todos os equipamentos do sistema.

Fonte: Brasil (2017).

Tabela 10 - Características específicas em função do tipo de sistema de condicionamento de ar a ser modelado

Tipo de sistema de condicionamento de ar	Característica	Descrição
Expansão direta, split, condensação a ar	Quantidade de sistemas de condicionamento de ar	Definir um sistema para cada zona térmica.
	Potência de ventilação	Modelar a potência de ventilação independente do COP. Considerar ventiladores com pressão estática total de 250 Pa e eficiência de 65%. Manter a vazão de ar constante.

Fonte: Brasil (2017).

IV) PROGRAMA DE SIMULAÇÃO

Segundo o RTQ-C, os programas de simulação devem atender aos seguintes requisitos mínimos (Brasil, 2017):

- Ter reconhecimento pela ASHRAE Standard 140 (norma da Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado);
- Ser um software que avalia o consumo de energia de uma edificação;
- Ter capacidade de modelar potências de iluminação e equipamentos, modificações de ocupação e sistemas de condicionamento de ar, todos estabelecidos para cada dia da semana e feriados, isoladamente;
- Modelar 8760 horas por ano;

● Modelar alterações de inércia térmica;

● Ter capacidade de modelar as soluções bioclimáticas empregadas no projeto, de modo a conseguir avaliar tanto a edificação real como a de referência;

● Poder modelar multi zonas térmicas;

●Ser capaz de determinar a capacidade demandada pelo sistema de condicionamento de ar;

● Gerar relatórios horários do emprego final de energia;

● Permitir modelar todos os sistemas listados no apêndice G da norma ASHRAE 90.1, para edifícios com sistemas de condicionamento de ar.

V) ARQUIVO CLIMÁTICO

O RTQ-C impõe requisitos mínimos para a criação do arquivo de dados climáticos. São eles (Brasil, 2017):

● Fornecer a direção e a velocidade do vento, a radiação solar, os valores horários de temperatura e umidade, entre outros;

● Devem ser utilizados dados que representem a zona bioclimática local do edifício, e no caso da não existência de dados próprios da região, utilizar arquivos de uma área com características similares, próxima à região;

● Utilizar formatos e arquivos climáticos publicados no domínio <www.energy.gov> ou que tenham a aprovação do laboratório de referência.

BONIFICAÇÕES:

Conforme apontado anteriormente, a Equação 1 apresenta uma variável referente às bonificações, ou seja, pontuações extras para a obtenção da etiqueta que visam incentivar o uso de soluções que aumentem a eficiência energética da edificação. A pontuação recebida pela implementação destas soluções varia de 0 a 1. Sendo: 0 quando não existe nenhum sistema complementar para o aumento da eficiência da edificação, e 1 quando uma das

bonificações for implantada em sua totalidade, ou mais de uma bonificação for atendida parcialmente de forma complementar a alcançar 1 ponto (BRASIL, 2017).

Todas as bonificações desejadas devem ser comprovadas através de dois memoriais de cálculo: um contendo a análise da edificação sem a bonificação e outro considerando a bonificação. A Tabela 11 descreve as possíveis iniciativas para receber as bonificações:

Tabela 11 - Síntese das iniciativas para bonificação

Soluções	Descrição	Exigências
Sistemas e equipamentos que racionalizem o uso da água:	Torneiras com arejadores e/ou temporizadores, sanitários com sensores, aproveitamento de água pluvial e de outras fontes alternativas de água;	Proporcionar uma economia mínima de 40% no consumo anual de água do edifício;
Sistemas ou fontes renováveis de energia:	Edificações em que a parcela de água quente representa um percentual igual ou maior a 10% do consumo energia e que utilizarem aquecimento solar de água;	Provar atendimento com fração solar igual ou superior a 70%;
	Energia eólica ou painéis fotovoltaicos;	Proporcionar uma economia mínima de 10% no consumo anual de energia elétrica do edifício;
Sistemas de cogeração e inovações técnicas ou de sistemas:	Sistemas que comprovadamente aumentem a eficiência energética da edificação, como iluminação natural;	Proporcionar uma economia mínima de 30% do consumo anual de energia elétrica;

Fonte: Brasil (2017).

2.3. SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA DE APOIO À ETIQUETAGEM

Existem dois métodos que podem ser utilizados para realizar a avaliação da edificação, que são: o método prescritivo e o método de simulação.

O método prescritivo baseia-se na Equação 1, válida para edifícios condicionados, que atribui notas para cada item avaliado. Conforme descrito, tal equação pondera a envoltória, iluminação e ar condicionado, com o intuito de gerar uma pontuação que varia de 1 a 5, sendo 5 = A, mais eficiente, até 1 = E, menos eficiente.

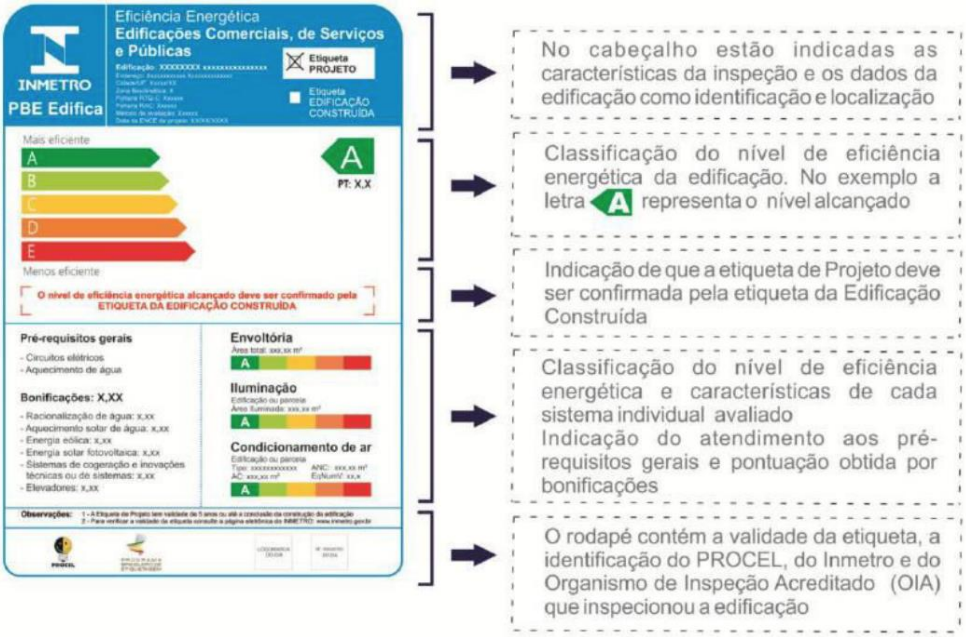
No método de simulação, a classificação final do nível de eficiência energética é obtida através da comparação entre o consumo de energia elétrica anual da edificação real com o consumo de energia elétrica característico dos modelos de referência em cada nível de eficiência.

Para avaliar o nível de eficiência da envoltória, o RTQ-C estabeleceu um Indicador de Consumo da envoltória (ICenv), que aponta como a envoltória impacta no consumo de energia da edificação, associando as trocas térmicas entre os meios interno e externo, com relação à sua localização, e determina a necessidade de maior ou menor gasto de energia para manter o conforto e qualidade do ambiente interno (Procel Edifica, 2019).

Através deste método, obtém-se os dados necessários para o desenvolvimento da envoltória dos modelos de referência. Após a simulação computacional, são apresentados os consumos dos modelos de referência e do modelo real. Procede-se, então, com a comparação entre esses resultados, possibilitando a classificação final do modelo real. Por fim, é possível atribuir a ENCE para a edificação por meio de um OIA.

A ENCE, seja ela parcial ou geral, contém informações como tipo da etiqueta (projeto ou edificação construída), dados da edificação como endereço, cidade/UF e zona bioclimática, portarias do INMETRO, metodologia adotada para a avaliação, datas das inspeções realizadas, classificação do nível de eficiência energética de cada sistema e áreas relativas ao sistema avaliado, observações de validade, bonificações e identificação da OIA que emitiu a ENCE, conforme Figura 5 (BRASIL, 2017).

Figura 5 - ENCE geral de projeto e suas partes



Fonte: RAC (2013).

Para realizar a etiquetagem pelo método de simulação, é necessária a contribuição de uma ferramenta computacional para simular o consumo energético. Utilizou-se, portanto, um software de simulação termo energética, que pode ser definido como um programa que reproduz condições de eficiência energética e conforto térmico de uma edificação existente, para melhoria e avaliação de seu desempenho.

Ao empregar este software na execução deste trabalho, é possível fazer uma completa avaliação do objeto de estudo, neste caso, a edificação CT-I, com uma maior liberdade para aberturas, formas, proteções solares e outros sistemas. Possibilita, também, a implementação de inovações e soluções tecnológicas não previamente previstas no RTQ-C.

São indicados pelo PROCEL, dois softwares que atendem aos requisitos para a projetação da eficiência energética em edificações: o Domus e o EnergyPlus.

A PUC-PR (Pontífica Universidade Católica do Paraná), em parceria com a Eletrobrás, desenvolveu o Domus, o primeiro programa brasileiro de simulação higrotérmica e energética de edifícios, adaptado para a realidade do Brasil. O

programa possui interface de fácil utilização e fornece suporte técnico para profissionais, além de base instrutiva para novos projetistas. Possui também, suporte especial para projetos que possuem baixo custo e baixo consumo energético, exemplo, moradias populares (LST, 2013).

O Departamento de Energia dos Estados Unidos desenvolveu o EnergyPlus (EP), que é um software de simulação, baseado a partir dos programas BLAST e DOE-2. Seu público alvo são arquitetos e engenheiros em busca de dimensionar sistemas HVAC (sigla em inglês, que significa Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado), otimizar desempenho energético, desenvolver retrofit, dentre outros.

O EP é, segundo o Departamento de Energia dos Estados Unidos (2018), um programa de simulação energética e análise térmica que, a partir dos dados de entrada fornecidos pelo usuário acerca da edificação em estudo, são calculadas as cargas de aquecimento e/ou resfriamento para manter o conforto térmico, além de fornecer o consumo de energia dos equipamentos, e outros detalhes necessários.

Ao primeiro contato do usuário, a interface do EP aparenta ser pouco amigável, pois não possui um ambiente gráfico para modelagem, porém, segundo Gomes (2010), o EP é a ferramenta de simulação higrotérmica mais utilizada pelo público, dentre as disponíveis no mercado. Sua larga utilização é devida ao fato de que ele permite a estimativa de vários parâmetros sobre a edificação, seus consumos de energia, e outros. Segundo Gomes (2010), a principal vantagem em se trabalhar com o EP é que ele pode ser utilizado gratuitamente, basta ser baixado em seu site.

Para proceder com a simulação, é necessário fazer a modelagem computacional da edificação em estudo. Um dos programas mais utilizados para tal fim é o SketchUp, software de modelagem tridimensional que possui uma interface facilmente manuseável que aceita a instalação do Euclid, plug-in que gera um arquivo .idf, formato no qual trabalha o EP. Isso proporciona a

realização de um trabalho em conjunto, que permite a rápida e fácil criação de um modelo virtual da edificação.

3. METODOLOGIA

No presente trabalho, adotou-se uma metodologia baseada no Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), para a análise e classificação parcial do desempenho energético da envoltória de um edifício público federal, localizado na cidade de Vitória - ES. A Figura 6 apresenta um resumo das etapas do trabalho.

Figura 6 - Etapas do trabalho

Fonte: Autores (2020).

I) REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A princípio, procedeu-se com uma revisão bibliográfica, a fim de trazer conceitos relevantes para o contexto no qual o trabalho se insere, bem como apresentar um breve histórico acerca do cenário energético brasileiro e qual a contribuição dos edifícios para o consumo de energia elétrica.

Em seguida, foram detalhados os requisitos de acordo com o RTQ-C e apresentados softwares de simulação, em conformidade com o mesmo regulamento técnico.

II) LEVANTAMENTO DE DADOS SOBRE A EDIFICAÇÃO

Os dados necessários para a elaboração deste estudo foram extraídos dos projetos da edificação e de informações fornecidas pela Prefeitura do Campus Universitário, além de visitas técnicas realizadas ao local para complementar o estudo. A Figura 7 apresenta as principais informações obtidas durante o processo.

Figura 7 - Dados coletados sobre a edificação

Fonte: Autores (2020).

III) SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TERMO ENERGÉTICO DO EDIFÍCIO

a) Cálculo do IC_{env} para a configuração dos Modelos de Referência

A equação de cálculo utilizada varia em função da área da edificação e da zona bioclimática (ZB) em que a edificação está inserida, determinada pela NBR 15220-3 (ABNT, 2003), e a Área de Projeção da Edificação (A_{pe}).

A cidade de Vitória/ES está situada na ZB8, que possui as Equações 2 e 3 para determinação do IC_{env}:

Para Ape ≤ 500 m²:

$$IC_{env} = 454{,}47 * FA - 1641{,}37 * FF + 33{,}47 * PAF_T + 7{,}06 * FS + 0{,}31 * AVS - 0{,}29 * AHS - 1{,}27 * PAF_T * AVS + 0{,}33 * PAF_T * AHS + 718$$

Eq. 2

Fator de forma máximo = 0,48.

Para Ape > 500 m²:

$$IC_{env} = -160{,}36 * FA + 1277{,}29 * FF - 19{,}21 * PAF_T + 2{,}95 * FS + 0{,}36 * AVS - 0{,}16 * AHS + 290{,}25 * PAF_T * FF + 0{,}01 * PAF_T * AHS * AHS - 120{,}58$$

Eq. 3

Fator de forma mínimo = 0,17.

Onde:

Ape: Área de projeção do edifício (m²);

Atot: Área total construída (m²);

Aenv: Área total da envoltória (m²);

Apcob: Área total da projeção da cobertura (m²);

AVS: Ângulo vertical de sombreamento;

AHS: Ângulo horizontal de sombreamento;

FF: Fator de forma (Aenv/Vtot);

FA: Fator de altura (Apcob/Atot);

FS: Fator solar;

Vtot: Volume total da edificação (m³).

PAF_T: Percentual de abertura total da fachada;

A partir da determinação do IC_{env}, deve-se calcular os índices de consumo máximo para o nível D, isto é, o maior consumo para que a edificação ainda seja pelo menos D e o índice de consumo mínimo, alterando os valores de AVS, AHS, FS e PAFT, conforme a Tabela 12 a seguir:

Tabela 12 - Parâmetros para cálculo de ICmin e ICmaxD

	PAF_T	FS	AVS	AHS
IC_{min}	0,6	0,61	0	0
IC_{MaxD}	0,05	0,87	0	0

Fonte: Procel Edifica (2019).

Com a determinação do ICmin e ICMáxD são calculados os intervalos de consumo (i) para cada nível energético pela Equação 4:

$$i = \frac{(IC_{MáxD} - IC_{mín})}{4}$$

Eq. 4

Na Tabela 13 é apresentada a forma de cálculo dos limites de cada nível em função do i:

Tabela 13 - Limites dos intervalos para os níveis de eficiência

Eficiência	A	B	C	D	E
Lim. Mín.	-	$IC_{MáxD}$-3*i+0,01	$IC_{MáxD}$-2*i+0,01	$IC_{MáxD}$-i+0,01	$IC_{MáxD}$+0,01
Lim. Máx.	$IC_{MáxD}$-3*i	$IC_{MáxD}$-2*i	$IC_{MáxD}$-2*i	$IC_{MáxD}$	

Fonte: Procel Edifica (2019).

Enfim definidos os limites de cada nível, deve-se calcular o PAF_T equivalente, que deverão ser alterados nos modelos de referência correspondentes. Seu cálculo é feito substituindo o limite máximo do IC_{env} de cada nível, calculados de acordo com a Tabela 12, na equação correspondente (2 ou 3).

Além disso, a Tabela 14 mostra que parâmetros deverão ser mantidos e quais serão alterados nos modelos de referência e real, além do PAF_T, a fim de gerar os valores base de consumo de energia elétrica na simulação.

Tabela 14 - Características do modelo real e de referência

Características da edificação	Modelo de referência	Modelo real
Geometria – dimensões	Igual ao edifício existente	Igual ao edifício existente
Orientação	Igual ao edifício existente	Igual ao edifício existente
Carga interna (DCI)	Igual ao edifício existente	Igual ao edifício existente
Padrão de uso: Equipamentos e pessoas	Igual ao edifício existente	Igual ao edifício existente
Sistema de Condicionamento de ar	Igual ao edifício existente com COP mín do nível desejado	Igual ao edifício existente
Envoltória		Igual ao edifício existente
PAZ	Se existe no real → PAZ = 2%	
PAF_T	Calcular através do IC_{env}	
AVS e AHS	AVS=AHS=0	
Tipo de vidro	Vidro simples, 3mm	
Fator solar	FS=0,87	
Transmitância térmica	Máx para o nível desejado	
Absortância solar	Máx para o nível desejado	
Sistema de iluminação	DPI máximo para o nível desejado	Igual ao edifício existente

Fonte: Procel Edifica (2019).

Para os sistemas de ar condicionado, para aparelhos split e janela, o valor do COP para cada nível de eficiência é definido pela Tabela 15, definida pelo INMETRO.

Tabela 15 - COP para aparelhos de ar condicionado por nível energético

Classe	COP (W/W)
A	> 3,23
B	> 3,02 e ≤ 3,23
C	> 2,81 e ≤ 3,02
D	> 2,60 e ≤ 2,81

Fonte: INMETRO (2019).

b) Softwares de Modelagem e Simulação termo energética

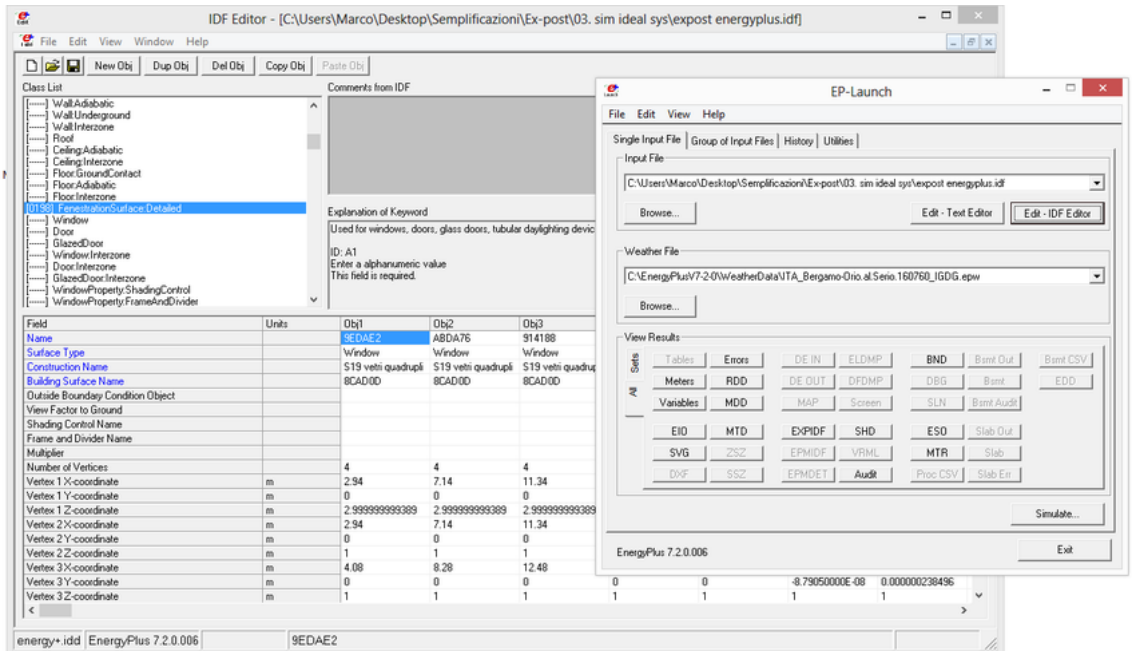
Neste trabalho, foi utilizado o software Energy Plus, versão 8.7.0, para a execução da simulação computacional do desempenho termo energético da edificação de estudo, o CT-I, possibilitando simular a interação entre diferentes sistemas presentes no projeto, como sistema de iluminação, condicionamento, equipamentos, materiais construtivos e interferência dos usuários para a realização da análise através do programa EnergyPlus.

Amplamente utilizado no meio acadêmico, o EP está disponível em inglês, com documentação e tutoriais inclusos, além da existência de trabalhos acadêmicos que o utilizam, dentre eles, alguns inclusive explicam seu funcionamento e a utilização de suas variáveis.

Neste software de simulação, foram inseridos dados de entrada como: propriedades dos materiais construtivos, espessuras dos elementos, orientação geográfica da construção, tipos de vidro, tipo de uso de edificação, o número de pessoas a utilizar, potência dos equipamentos e da iluminação, dados climáticos, entre outros.

Esses dados são lançados no EP por meio de tabelas, conforme Figura 8.

Figura 8 - Interface do Software EnergyPlus



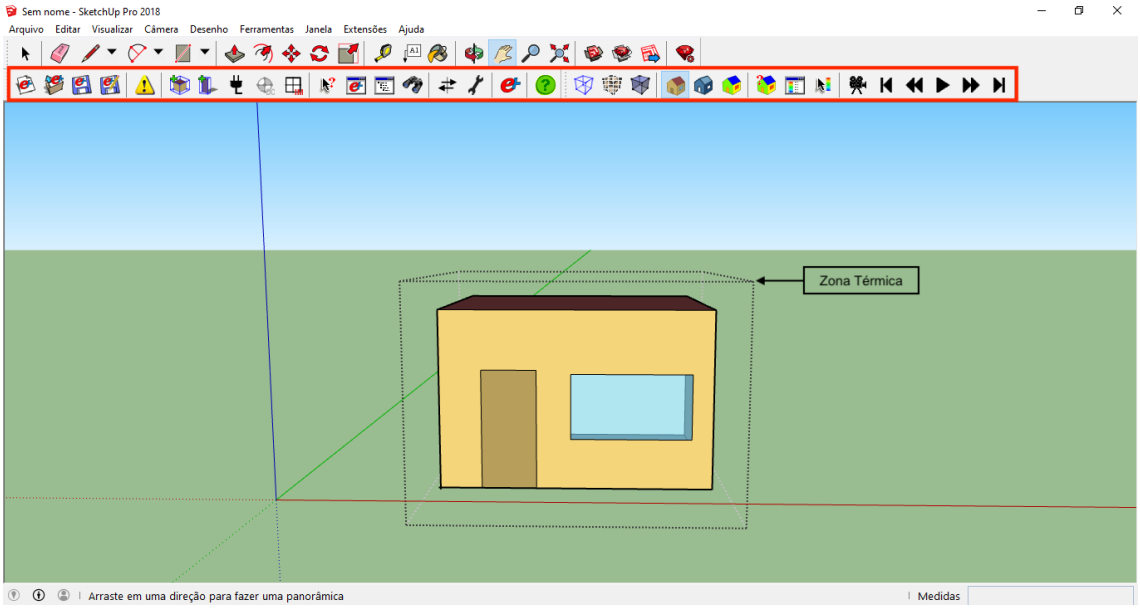
Fonte: EnergyPlus (2020).

Para modelar o edifício a ser simulado, deve-se definir suas zonas térmicas. Segundo o RTQ-C, zona térmica é o “espaço ou grupo de espaços dentro de um edifício condicionado que são suficientemente similares, onde as condições desejadas (temperatura) podem ser controladas usando um único sensor” (BRASIL, 2010).

Logo, dividiu-se as zonas térmicas da edificação em estudo para fazer, assim, sua modelagem. Cada zona tem a sua ocupação, quantidade e tipo de iluminação, equipamentos eletrônicos, etc. Ambientes condicionados adjacentes que apresentaram perfil de uso similar foram agrupados no momento da definição das zonas térmicas.

Para a modelagem, optou-se por utilizar o SketchUp, versão 18.0.16975, juntamente com o Euclid, versão 0.9.3. Assim, primeiro, desenhou-se os edifícios objetos de estudo (real e referência) e, após a finalização dos modelos, realizou-se a importação para o EP através dos arquivos .idf gerados. A figura 9 ilustra a interface do software SketchUp com o Plug-In Euclid.

Figura 9 - Interface do Software SketchUp com o Plug-In Euclid destacado em vermelho



Fonte: SketchUp (2020).

Nota: Adaptado pelos autores.

Por fim, foram inseridos os outros dados necessários à simulação, como perfil de uso, dados climáticos, propriedades dos materiais, DPI e COP do ar condicionado, entre outros, utilizando o IDF Editor, ambiente de trabalho do EnergyPlus.

Ao final da simulação, o programa fornece um relatório de dados detalhado, sendo o principal deles, tratado como foco deste trabalho, o consumo energético anual da edificação, em kWh.

IV) ETIQUETAGEM ENERGÉTICA PARCIAL DA ENVOLTÓRIA DA EDIFICAÇÃO

A classificação energética parcial da edificação (envoltória) foi feita em conformidade com o método de simulação descrito no RTQ-C, com o auxílio do software de simulação EnergyPlus.

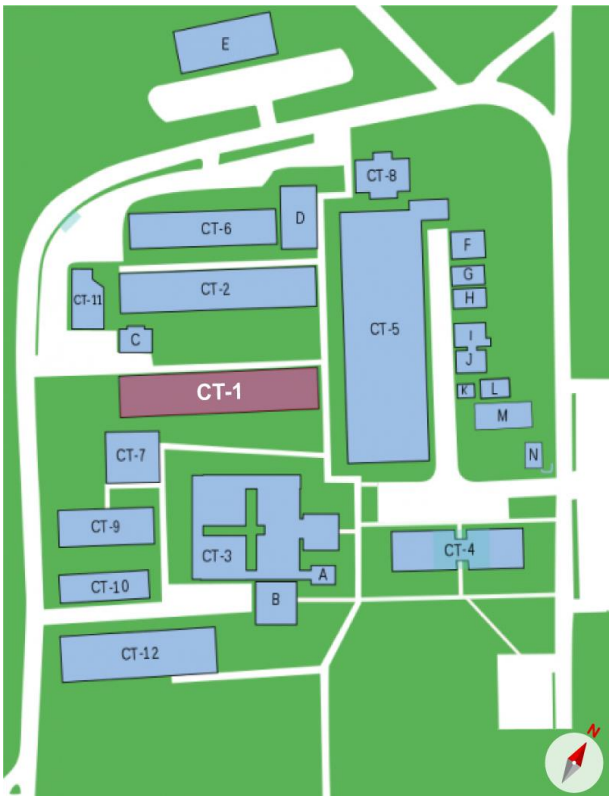
Foi avaliado o modelo real da edificação, de acordo com os dados coletados. A partir disso, definiu-se os modelos de referência e assim, pôde-se obter a

classificação parcial do edifício real através da comparação do consumo de energia elétrica deles. Vale ressaltar que, de acordo com o RTQ-C, os modelos de referência devem ser baseados no modelo real da edificação, de maneira que haja adequação nas características para atender aos níveis A, B, C e D de eficiência energética.

4. ESTUDO DE CASO: CT-I

A edificação escolhida para o estudo de caso foi o CT-I (Ed. Prof. Sebastião Magalhães Carneiro). Trata-se de um edifício público federal, localizado no Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes), situado na cidade de Vitória - ES, no bairro Goiabeiras. Com inauguração datada no ano de 1975, foi uma das primeiras sedes dos cursos de engenharia do CT (Centro Tecnológico), antiga Escola Politécnica do Espírito Santo. Atualmente, o edifício é a sede do curso de Engenharia Civil da Ufes. A Figura 10 mostra o Mapa do Centro Tecnológico e a Figura 11, sua imagem de satélite.

Figura 10 - Mapa do Centro Tecnológico



Fonte: http://www.ct.ufes.br/ct-adm-estrutura-fisica-mapa-geral

Nota: Adaptado pelos autores.

Figura 11 - Imagem aérea do CT-I

Fonte: Google Earth (2020).

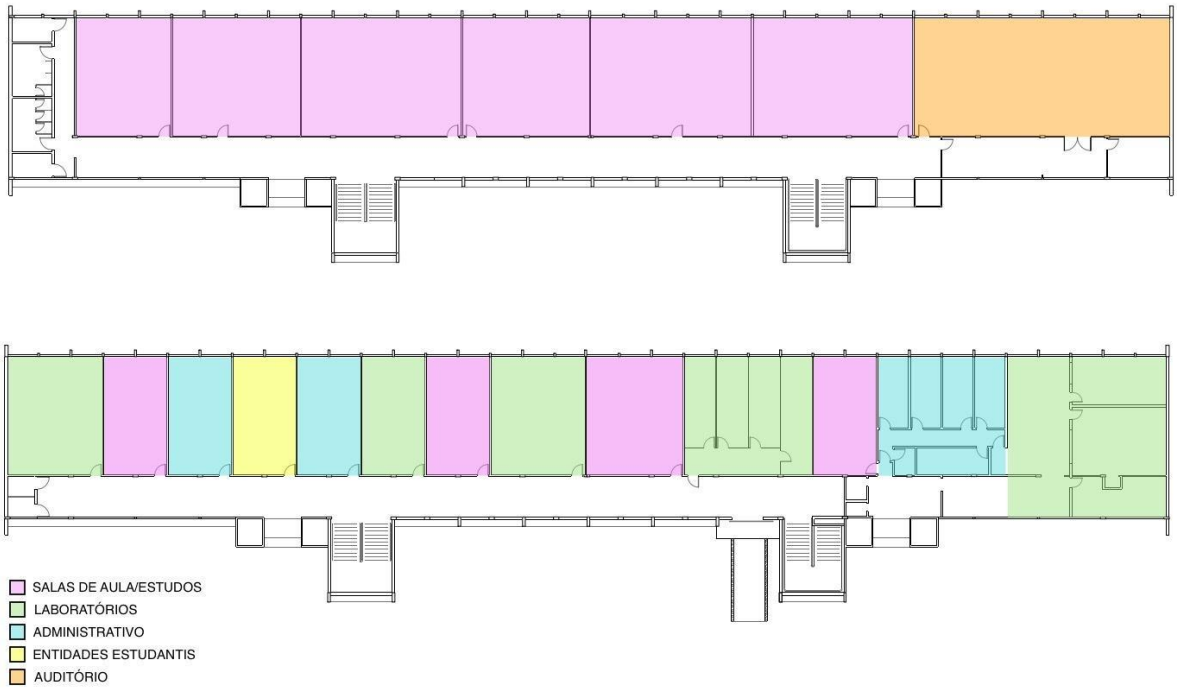
O CT-I passou por recentes intervenções, nas quais foi executada a reforma dos banheiros com acréscimo de área dos mesmos, acabamentos e adequações de espaços de salas da edificação.

O edifício possui dois pavimentos, sendo que no pavimento térreo encontram-se duas salas de aula com capacidade para 25 alunos, dois laboratórios de informática com capacidade para 30 alunos e outro 20, duas salas administrativas (Departamento e Colegiado da Engenharia Civil, uma sala dividida entre o Centro Acadêmico e a ONG Engenheiros sem Fronteiras, sala de estudos com capacidade para 15 alunos, laboratório de estruturas, laboratório de topografia e cartografia, além do setor de serviço constituído por

dois banheiros para portadores de necessidades especiais, uma copa e um banheiro exclusivo para os funcionários da limpeza e manutenção.

O CT-I conta, ainda, com uma área no térreo dedicada ao estudo de mecânica dos solos, que possui acesso separado do restante das instalações citadas anteriormente. Neste espaço encontram-se três salas de professores, uma sala para os técnicos, uma sala de reunião, uma copa, três laboratórios, uma sala para caracterização dos solos e dois banheiros, sendo um deles para portadores de necessidades especiais. A Figura 12 mostra as plantas baixas da edificação.

Figura 12 - Plantas baixas setorizadas pavimento superior e térreo CT-I



Fonte: UFES (2018).

Nota: Adaptado pelos autores.

Já no pavimento superior, a edificação conta com um auditório com capacidade para 100 pessoas, bem como seis salas de aula com capacidade para 40 alunos, sendo uma delas dedicada ao estudo arquitetônico, contendo

pranchetas. Neste pavimento, existem ainda, quatro banheiros, sendo eles, um masculino, um masculino para portadores de necessidades especiais, um feminino e um feminino para portadoras de necessidades especiais.

A edificação possui uma configuração muito favorável para o conforto térmico. Possui grandes e largos corredores com abertura em toda a sua extensão e acesso à todos os ambientes do edifício, ventilação cruzada, posicionamento geográfico com orientação solar privilegiada, à norte, bem como grande sombreamento fornecido pela vegetação ao seu redor, contando com diversos arbustos e grandes árvores. A Figura 13 uma foto original da fachada norte do CT-I.

Figura 13 - Fachada norte do CT-I

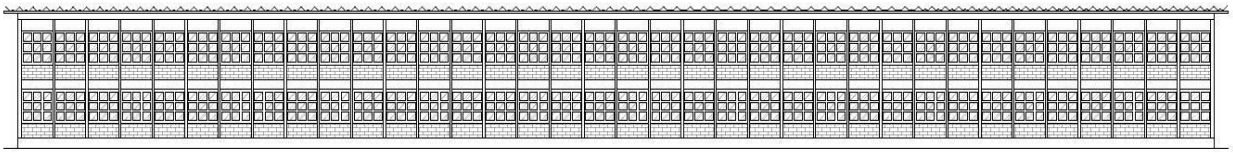
Fonte: Autores (2020).

4.1. CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS

A edificação possui 2 pavimentos compondo uma área total de 2.218,38m², com lajes de 10cm tanto no pavimento térreo quanto no superior.

Os materiais construtivos utilizados nas vedações verticais foram os convencionais, executados em blocos cerâmicos maciços, sendo que nas fachadas e nos corredores, tais blocos são aparentes, e nos interiores das salas, há reboco e argamassa. A cobertura é composta por telhas de fibrocimento sobre a laje de concreto. As janelas são de vidro com esquadrias em madeira e as portas são de madeira. Pintura com tinta látex pva na cor branca nas partes internas e terracota nas fachadas. A Figura 14 mostra a fachada sul da edificação.

Figura 14 - Fachada Sul da Edificação



Fonte: UFES (2018).

O sistema de iluminação da edificação é composto por lâmpadas fluorescentes com acionamento manual. O sistema de ar condicionado é composto por equipamentos split que possuem controle individual de temperatura, os aparelhos possuem potência que variam entre 12.000 a 57.000 BTUS.

4.2. PERFIL DE USO

Por se tratar de uma edificação com uso prioritariamente estudantil, não há um padrão de uso bem definido pelos usuários, sejam estudantes, professores ou servidores. O tempo de permanência de cada um em cada cômodo varia muito, tendo muita rotatividade. Por este motivo, foram feitas algumas assunções para definir uma média de quantidade de pessoas e horários e definir, assim, um perfil de uso, a fim de viabilizar a simulação.

5. SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TERMO ENERGÉTICO DA EDIFICAÇÃO

5.1. LEVANTAMENTO DE DADOS

Como a edificação de estudo situa-se na cidade de Vitória/ES , e a mesma já possui dados climáticos definidos, utilizou-se o arquivo VitoriaTRY1962_05CSV, disponível no banco de dados do LabEEE. Foram consideradas a ocupação e as atividades desenvolvidas nas zonas de permanência prolongada, pois há um ganho expressivo de calor nestas condições. Já as zonas de permanência transitórias não precisam ter o ganho de calor levado em consideração devido a ocupação considerada. A Figura 15 mostra um esquema dos dados do perfil de uso necessários para a realização da simulação.

Figura 15 - Dados necessários do Perfil de uso

Fonte: Autores (2020).

Foi elaborada uma tabela com a média semanal do uso de cada zona e apresentado. Durante a realização da simulação, o programa fornece uma média de calor gerado pelo padrão inserido conforme os dados coletados para a simulação, apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Perfil de uso coletado

DADOS DE OCUPAÇÃO									
	Identificação	Padrão de Uso					Quantidade de pessoas	Atividade	Ganho de calor (W/pessoa)(1)
		Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta			
Pavimento Térreo	LABCIV	07h às 10h	07h às 09h	15h às 17h	07h às 09h	07h às 09h 15h às 17h	30	Digitando	117
	Sala de Estudos	08h às 18h	08h às 18h	08h às 18h	08h às 18h	08h às 18h	3	Lendo, sentado	99
	Departamento Eng. Civil	09h às 17h	09h às 17h	09h às 17h	09h às 17h	09h às 17h	2	Digitando	117
	Centro Acadêmico / Engenheiros Sem Fronteiras	09h às 17h	09h às 17h	09h às 17h	09h às 17h	09h às 17h	3	Digitando	117
	Colegiado	09h às 17h	09h às 17h	09h às 17h	09h às 17h	09h às 17h	2	Digitando	117
	LABESBIM	09h às 17h	09h às 12h	09h às 12h	09h às 17h	09h às 17h	20	Digitando	117
			12h às 17h	12h às 17h			4	Digitando	117
	Sala de Aula - 105		13h às 16h		13h às 16h		20	Lendo, sentado	99
	LabDest		13h às 16h		13h às 16h		20	Lendo, sentado	99
	Sala de Aula - 107	09h às 12h	09h às 12h	09h às 12h	18h às 22h		30	Lendo, sentado	99
	Laboratório de Topografia e Cartografia	09h às 17h	09h às 17h	09h às 17h	09h às 17h	09h às 17h	3	Digitando	117
	Sala de Aula - Laboratório de Solos		15h às 18h	15h às 18h			20	Lendo, sentado	99
	Sala dos Professores - Laboratório de Solos	09h às 11h	13h às 15h	09h às 11h	13h às 15h	09h às 11h	3	Digitando	117
	Laboratório de Solos 1		15h às 18h	15h às 18h			20	Lendo, sentado	99
	Laboratório de Solos 2	08h às 18h	08h às 18h	08h às 18h	08h às 18h	08h às 18h	1	Andando pela sala	180
	Caracterização - Laboratório de Solos	08h às 18h	08h às 18h	08h às 18h	08h às 18h	08h às 18h	1	Andando pela sala	180
Pavimento Superior	Salas de Aula do Pavimento Superior	07 às 16h	07 às 16h	07 às 16h	07 às 16h	07 às 16h	80	Lendo, sentado	99
	Auditório	18h às 21h					30	Sentado, quieto	108

Fonte: Autores (2020); (1) LBNL (2016).

5.1.1. Materiais

A análise dos materiais construtivos foi feita ao definir-se todos os materiais que compõem as superfícies que limitam as zonas térmicas em toda a edificação Especificamente para a envoltória, as propriedades relativas à cor de suas superfícies também foram definidas, visto que suas cores influenciam seu comportamento térmico de forma direta. Os parâmetros dos materiais construtivos são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17- Parâmetros dos materiais construtivos

PARÂMETROS DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS							
Material	**Espessura (cm)**	**Coeficiente de condutividade térmica (W/m.K)**	**Densidade (kg/m³)**	**Calor específico (J/kg.K)**	**Resistência térmica (m².K/W)**	**Emissividade**	**Absortância Solar (1)**
Concreto (Laje)	10	1,75	2300	1000	-	-	-
Argamassa (reboco)	2	1,15	1950	1000	-	0,9	0,158 (branco)
Argamassa (contrapiso)	3	1,15	1950	1000	-	-	-
Tijolo Cerâmico Maciço 11 (Terracota)	11	1,00	1700	920	-	0,9	0,646 (Terracota)
Tijolo Cerâmico Maciço 11 (Branco)	11	1,00	1700	920	-	0,9	0,158 (branco)
Tijolo Cerâmico Maciço 21	21	1,00	1700	920	-	-	-
Tijolo Cerâmico 6 Furos	1,5	0,9	1812	920	-	-	-
Telha de fibrocimento	1	0,65	1800	840	-	0,9	0,715 (concreto)
Azuleijo cerâmico	0,5	0,9	1600	920	-	-	-
Madeira compensada	2	0,15	450	2300	-	-	-
Material	**Espessura (cm)**	**Coeficiente de condutividade térmica (W/m.K)**	**Densidade (kg/m³)**	**Calor específico (J/kg.K)**	**Resistência térmica (m².K/W)**	**Absorção térmica**	**Absorção solar**
Câmara de ar (maior que 5 cm, descendente)	88	-	-	-	0,21	-	-
PARÂMETROS DOS VIDROS (2)							
Material	**Espessura (cm)**	**Transmitância solar em incidência normal**	**Refletância solar em incidência normal**	**Transmitância visível em incidência normal**	**Refletância visível em incidência normal**	**Emissividade hemisférica infravermelha**	**Condutividade (W/m.K)**
Vidro comum 3 mm	0,3	0,626	0,061	0,611	0,061	0,84	0,9

Fonte: ABNT NBR 15220 (2003); (1) Inmetro (2013); (2) LBNL (2016).

Nota: As espessuras foram medidas em planta e visita à edificação. Adaptado pelos autores (2020).

Para definir e compor os elementos construtivos como, paredes, coberturas e pisos, adotou-se a ordem definida pelo EnergyPlus, que estuda cada elemento considerando suas camadas; da camada mais exterior para a mais interior da zona em questão. Tais elementos podem ter uma ou várias camadas.

5.1.2. Iluminação e ar condicionado

Como neste trabalho apenas a envoltória será avaliada, a fim de realizar a simulação computacional, foram adotados valores de condicionamento de ar segundo as orientações do RTQ-C, conforme apresentado anteriormente nas Tabelas 8, 9 e 10, que variam de acordo com o nível de eficiência pretendido. Para o sistema de iluminação, adotou-se os valores de Densidade de Potência de Iluminação (DPIL) da categoria “escola/universidade” da Tabela 7. Os valores adotados estão resumidos na Tabela 18.

Tabela 18 - Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL) para o nível de eficiência pretendido

Função do Edifício	DPIL Nível A (W/m^2)	DPIL Nível B (W/m^2)	DPIL Nível C (W/m^2)	DPIL Nível D (W/m^2)
Escola/Universidade	10,7	12,3	13,9	15,5

Fonte: Brasil (2017).

Já o sistema de condicionamento de ar, que no edifício estudado é do tipo split, para o modelo real deve-se adotar o mesmo COP que os modelos de referência, de acordo com o nível almejado.

A Tabela 15 do capítulo 3 mostra os limites de eficiência definidos pelo INMETRO. Para a simulação, utiliza-se os níveis de eficiência mínimos da tabela.

5.1.3. Equipamentos

O edifício em estudo possui diversos equipamentos de uso e consumo variados. Entre eles, estão: computadores; impressoras; projetores; telefones; frigobar; geladeira; microondas; equipamentos dos laboratórios de ensaios. A Tabela 19 mostra a relação entre os equipamentos existentes em cada zona, quantidade, seus padrões de uso e consumo.

Tabela 19 - Dados de equipamentos internos

Zona térmica	Equipamento	Padrão de uso	Quant.	Potência (W)	Potência total (W)	Potência total da zona (W)
ZTT-01	Computador	7h às 10h / seg; 7h às 9h / ter qui sex; 15h às 17h / qua e sex	20	350	7000	7215
	Projetor	7h às 10h / seg; 7h às 9h / ter qui sex; 15h às 17h / qua e sex	1	215	215	
ZTT-02	Computador	8h às 18h / seg à sex	2	350	700	700
ZTT-03	Computador	9h às 17h / seg à sex	3	350	1050	1240
	Telefone	24 horas	1	10	10	
	Impressora Comum	24 horas	2	90	180	
ZTT-04	Microondas	12h às 13h / seg à sex	1	1500	1500	1850
	Computador	9h às 17h / seg à sex	1	350	350	
ZTT-05	Computador	9h às 17h / seg à sex	2	350	700	790
	Telefone	24 horas	1	10	10	
	Frigobar	24 horas	1	80	80	
ZTT-06	Computador	9h às 17h / seg à sex	14	350	4900	4900
ZTT-09	Computador	9h às 12h / seg ter qua; 18h às 22h / qui	1	350	350	565
	Projetor	9h às 12h / seg ter qua; 18h às 22h / qui	1	215	215	
ZTT-10	Computador	9h às 17h / seg à sex	3	350	1050	1230
	Impressora Comum	24 horas	2	90	180	
ZTT-11	Computador	15h Às 18h / ter e qui	1	350	350	565
	Projetor	15h Às 18h / ter e qui	1	215	215	
ZTT-12	Computador	9h às 11h / seg qua sex; 13h às 15 ter qui	3	350	1050	1320
	Impressora Comum	24 horas	2	90	180	
	Geladeira	24 horas	1	90	90	
ZTT-14	Reômetro AR-2000	09h às 12h / seg à sex	1	1000	1000	4800
	Equipamento digital para Cisalhamento	09h às 12h / seg à sex	1	400	400	
	Prensa Eletrônica para Adensamento	09h às 12h / seg à sex	2	100	200	
	Equipamento digital Triaxial	09h às 12h / seg à sex	1	1000	1000	
	Computador	09h às 12h / seg à sex	2	350	700	
	Motor compressor de ar	09h às 12h / seg à sex	1	1500	1500	
ZTT-15	Estufa de Secagem com Circulação e Renovação de Ar (360 litros)	09h às 12h / seg à sex	1	2500	2500	3600
	Estufa de Secagem com Circulação e Renovação de Ar (27 litros)	09h às 12h / seg à sex	1	1100	1100	
ZTS-02	Computador	7h às 16h / seg à sex	5	350	1750	2825
	Projetor	7h às 16h / seg à sex	5	215	1075	
ZTS-03	Computador	18h às 21h / seg	1	350	350	565
	Projetor	18h às 21h / seg	1	215	215	

Fonte: Autores (2020).

5.2. MODELAGEM

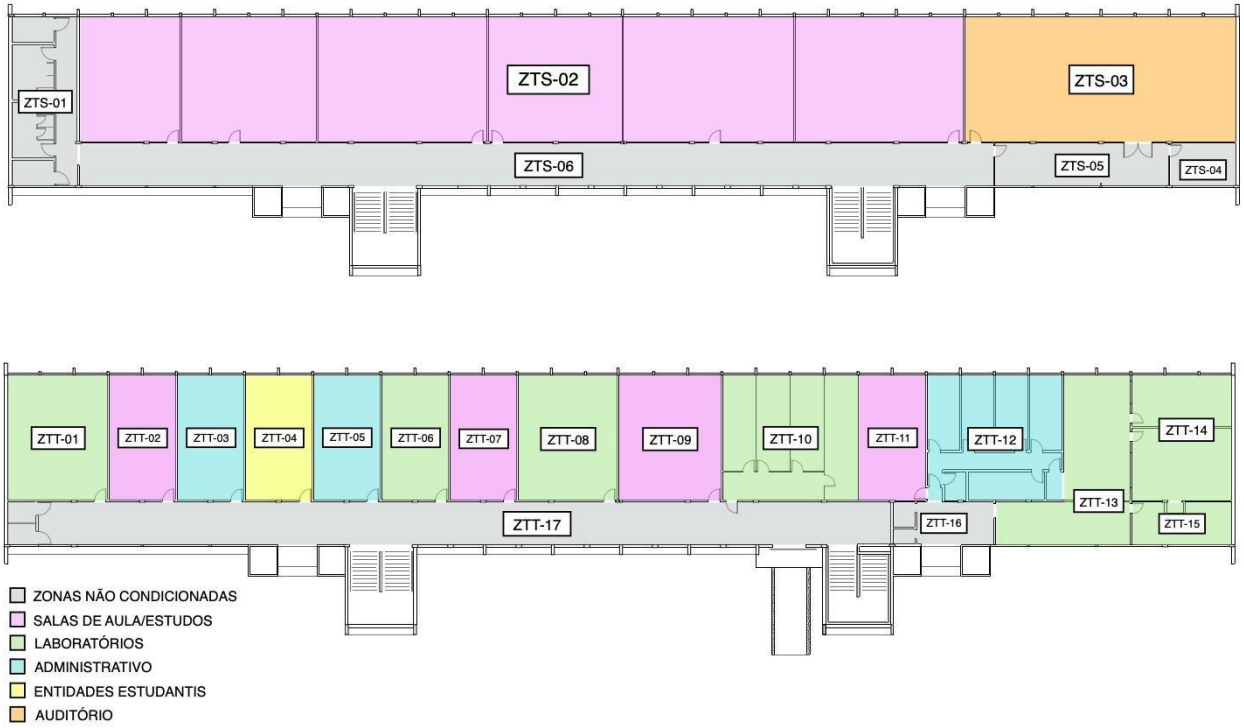
Conforme descrito na metodologia do capítulo 3, a tabela 20 apresenta as zonas térmicas e os ambientes correspondentes a cada uma delas, e na Figura 16 apresenta-se a planta baixa dos pavimentos superior e térreo divididos por zonas térmicas.

Tabela 20 - Identificação das Zonas Térmicas

Zona Térmica	**Identificação**
ZTT-01	LABCIV
ZTT-02	Sala de Estudos
ZTT-03	Departamento Eng. Civil
ZTT-04	Centro Acadêmico / Engenheiros Sem Fronteiras
ZTT-05	Colegiado
ZTT-06	LABESBIM
ZTT-07	Sala de Aula - 105
ZTT-08	LabDest
ZTT-09	Sala de Aula - 107
ZTT-10	Laboratório de Topografia e Cartografia
ZTT-11	Sala de Aula - Laboratório de Solos
ZTT-12	Sala dos Professores - Laboratório de Solos
ZTT-13	Laboratório de Solos 1
ZTT-14	Laboratório de Solos 2
ZTT-15	Caracterização - Laboratório de Solos
ZTT-16	Circulação - Laboratório de Solos
ZTT-17	Corredor Térreo
ZTS-01	Banheiros Pavimento Superior
ZTS-02	Salas de Aula do Pavimento Superior
ZTS-03	Auditório
ZTS-04	Depósito
ZTS-05	Apoio Auditório
ZTS-06	Corredor Pavimento Superior

Fonte: Autores (2020).

Figura 16 - Zonas térmicas pavimento superior e térreo CT-I

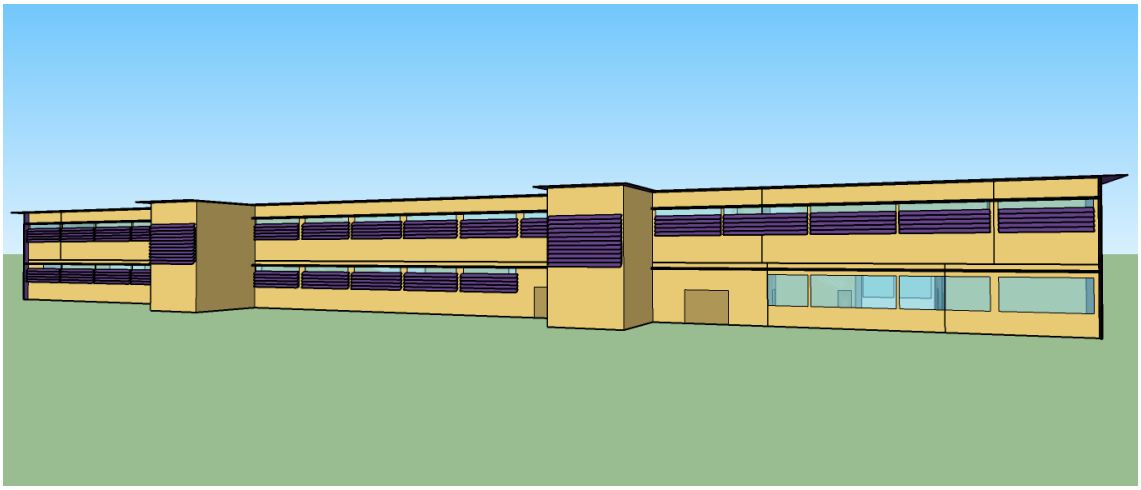


Fonte: UFES (2018).

Nota: Adaptada pelos autores (2020).

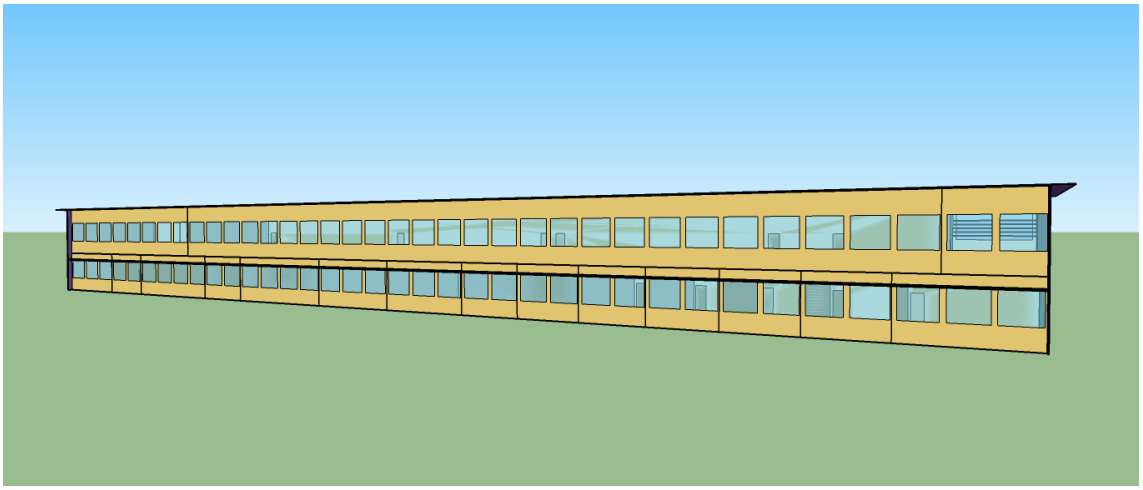
Utilizou-se o plug-in Euclid, do programa SketchUp, para realizar a modelagem. As Figuras 17 e 18 mostram as fachadas Norte e Sul da edificação no SketchUp.

Figura 17 - Fachada norte CT-I



Fonte: Autores (2020).

Figura 18 - Fachada sul CT-I



Fonte: Autores (2020).

Ressalta-se que, durante a modelagem, deparou-se com informações conflitantes no manual do RTQ-C no que tange a consideração de aberturas, por isto, traz-se aqui a definição de abertura, para sustentar a decisão de não consideração dos vãos dos brises da fachada norte no cálculo do PAFt.

O Manual 4 do RTQ-C define abertura como:

> Todas as áreas da envoltória do edifício, com fechamento translúcido ou transparente (que permite a entrada da luz), incluindo janelas, painéis plásticos, clarabóias, portas de vidro (com mais da metade da área de vidro) e paredes de blocos de vidro. Excluem-se vãos sem fechamentos, elementos vazados como cobogós e caixilhos.
>
> Abertura é toda e qualquer parte da fachada cujo material é transparente ou translúcido, permitindo a passagem de luz e/ou radiação solar direta e/ou indireta para o interior da edificação. Suas arestas podem estar em contato com materiais opacos, transparentes ou translúcidos.
>
> As seguintes situações não são consideradas aberturas no RTQ-C:
>
> - Qualquer vão que esteja descoberto e/ou sem nenhum tipo de fechamento (como em pórticos);
>
> - Um vão total ou parcialmente fechado com um material opaco, sem a presença de material transparente ou translúcido;
>
> - Os vãos sem qualquer tipo de fechamento;
>
> - Sacadas ou varandas. (Manual 4 - RTQ-C, 2017, p. 11)

Sendo assim, no presente trabalho, os vãos dos brises da fachada norte não foram considerados no cálculo do PAFt, pois o Manual do RTQ-C não os considera como aberturas. Porém, as aberturas dos brises foram inseridas e consideradas na simulação do modelo real e dos modelos de referência com a intenção de obter resultados mais próximos da edificação real. A diferença é que essas aberturas não foram redimensionadas como as demais áreas de aberturas da fachada.

5.3. CONFIGURAÇÃO DOS MODELOS DE REFERÊNCIA

Segundo o RTQ-C, o modelo real e o de referência devem possuir algumas características em comum, permitindo que os mesmos sejam comparados e possibilitando a avaliação dos sistemas em estudo. Entre estas características, destaca-se: mesmo programa de simulação, arquivo climático e mesma geometria (ou seja, suas dimensões). Bem como o mesmo norte geográfico, padrão de uso e operação dos sistemas e carga interna. Deve-se, também, considerar para ambos, o mesmo número de pessoas realizando as mesmas atividades, padrão de ocupação e também o mesmo sistema de condicionamento de ar (BRASIL, 2017).

Para tanto, faz-se necessário alterar o COP mínimo do sistema de ar condicionado, a DPI máxima do sistema de iluminação e os valores de transmitância e absortância da envoltória de acordo com o nível de eficiência desejada no modelo. Deve-se também adotar na envoltória, Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS) e o Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS) iguais a zero, todos os vidros simples com 3 mm de espessura e fator solar de 0,87 e o Percentual de Área de Abertura na Fachada Total (PAFT) baseado no cálculo do ICenv (BRASIL, 2017).

Calcula-se, então, o ICenv, para que a definição dos modelos de referência seja feita, conforme dados estabelecidos pelo RTQ-C citados no parágrafo anterior, possibilitando o cálculo do PAFt dos modelos de referência, em função dos seus níveis energéticos.

O cálculo do ICenv foi feito a partir da metodologia descrita anteriormente, no capítulo 3, lançando mão da Equação 3, tendo APe > 500m². Os valores encontrados para cada variável da equação foram descritos na Tabela 21.

Tabela 21 - Variáveis para cálculo de ICenv

PARÂMETROS DA EDIFICAÇÃO	**Atot**	m²	2.218,38
	Apcob	m²	1.333,49
	Ape	m²	1.109,19
	Aenv	m²	4.261,46
	Vtot	m³	9.195,19
	PAF_T	%	16,83
	PAF_O	%	0,00
	FS	-	0,72
	AVS	graus	25,98
	AHS	graus	1,44
	FF	-	0,46
	FA	-	0,60

Fonte: Autores (2020).

Onde:

Ape: Área de projeção do edifício (m²);

Atot: Área total construída (m²);

Aenv: Área total da envoltória (m²);

Apcob: Área total da projeção da cobertura (m²);

AVS: Ângulo vertical de sombreamento;

AHS: Ângulo horizontal de sombreamento;

FF: Fator de forma (Aenv/Vtot);

FA: Fator de altura (Apcob/Atot);

FS: Fator solar;

Vtot: Volume total da edificação (m³).

PAF_T: Percentual de abertura total da fachada;

Baseada nos dados apresentados na Tabela 21, e com a metodologia descrita no capítulo 3, apresenta-se os valores de IC, ICmáxD, ICmín e os intervalos de consumo da edificação na Tabela 22.

Tabela 22 - Cálculo do ICenv, ICmín e ICmáxD

ICenv	386,98	
ICmín	383,31	
ICmáxD	445,96	
i	15,66	
Eficiência	Mínimo	Máximo
A	-	398,97
B	398,98	414,64
C	414,65	430,30
D	430,31	445,96
E	445,97	-

Fonte: Autores (2020).

Tendo como referência os limites máximos para cada nível energético, apresentados na Tabela 22, foram calculados os seus PAFT correspondentes, com intuito de calcular e configurar os modelos de referência para a simulação destes casos. O valor percentual do PAFT em função do nível em estudo almejado é apresentado na Tabela 23, seguindo a metodologia apresentada no capítulo 3.

O fator de aumento das aberturas de fachada (F PAFT) foi calculado em função do PAFT de cada nível apresentado na Tabela 23. A partir destes resultados, as áreas de abertura das fachadas foram alteradas em seus respectivos modelos de referência, seja aumentando-as ou diminuindo-as. No caso deste estudo, todas as aberturas foram aumentadas.

Tabela 23 - Valores do PAFT e F PAFT por nível de eficiência

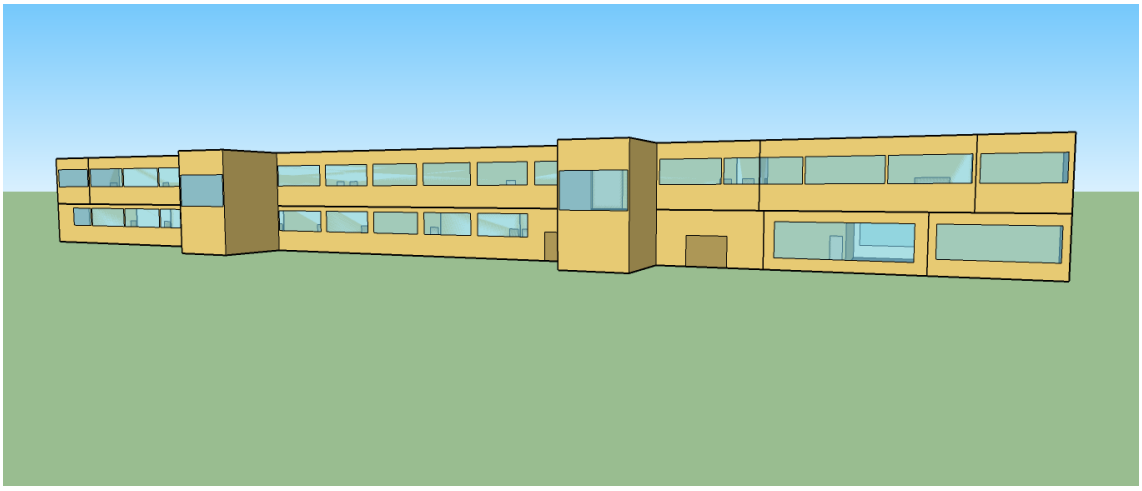
Eficiência	A	B	C	D
PAFt	18,58%	32,17%	45,75%	59,33%
F PAFt	1,10	1,91	2,72	3,53

Fonte: Autores (2020).

Adequando o PAFT para cada modelo de referência, foi adaptada a geometria da edificação, conforme mostram as Figuras 19 a 22.

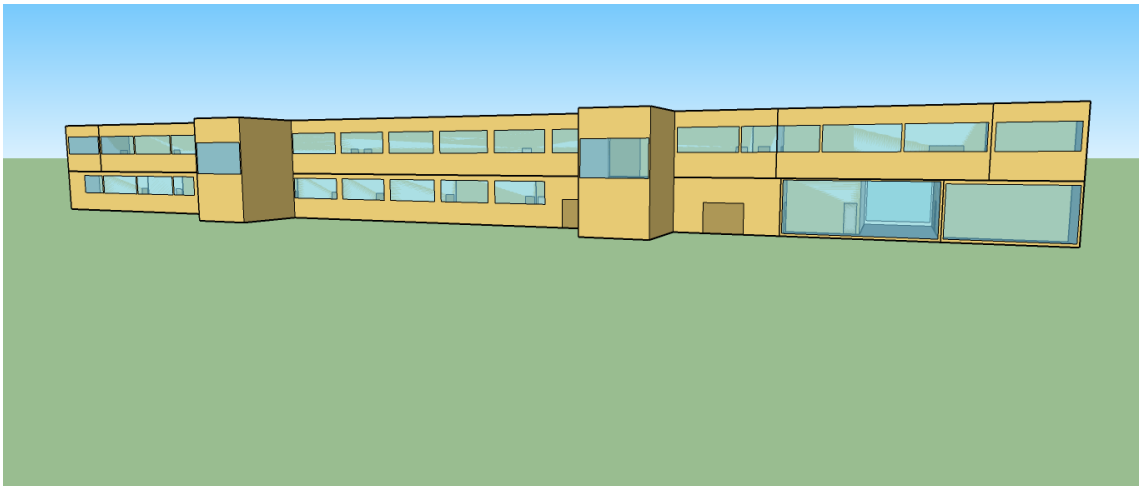
Conforme orientado no RTQ-C, caso seja feita a modelagem de um edifício real proposto, e este já atingir um consumo inferior ao modelo de referência, não se faz necessário realizar todos os próximos modelos de referência. No caso do presente estudo, o modelo real, ao ser simulado, apresentou consumo inferior ao limite máximo do modelo de referência nível A, logo, não haveria necessidade de se fazer a simulação dos modelos B, C e D, mas, a título de experiência e comprovação, foi feita a simulação do modelo de referência B e apresentada neste trabalho (BRASIL, 2017).

Figura 19 - Fachada norte Modelo de Referência A



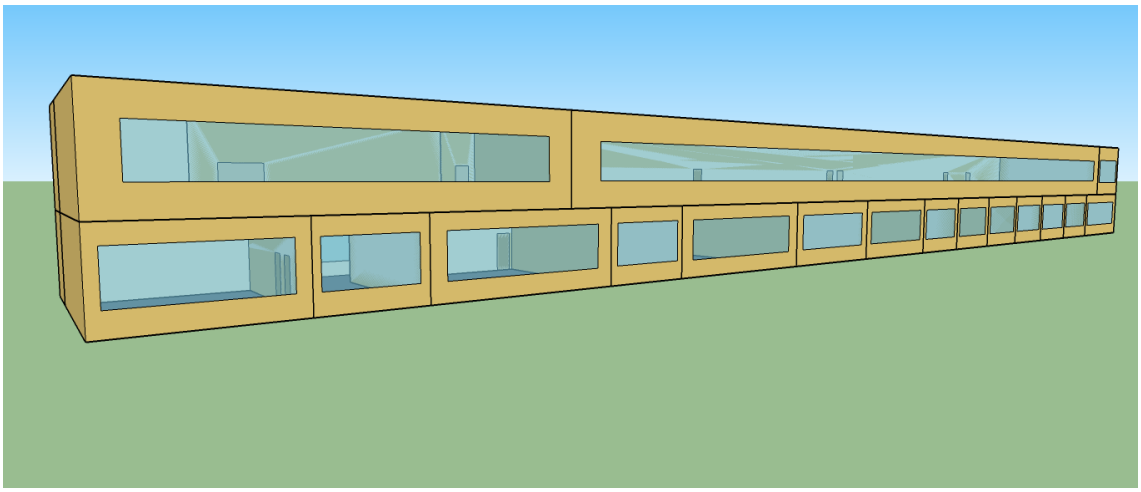
Fonte: Autores (2020).

Figura 20 - Fachada norte Modelo de Referência B



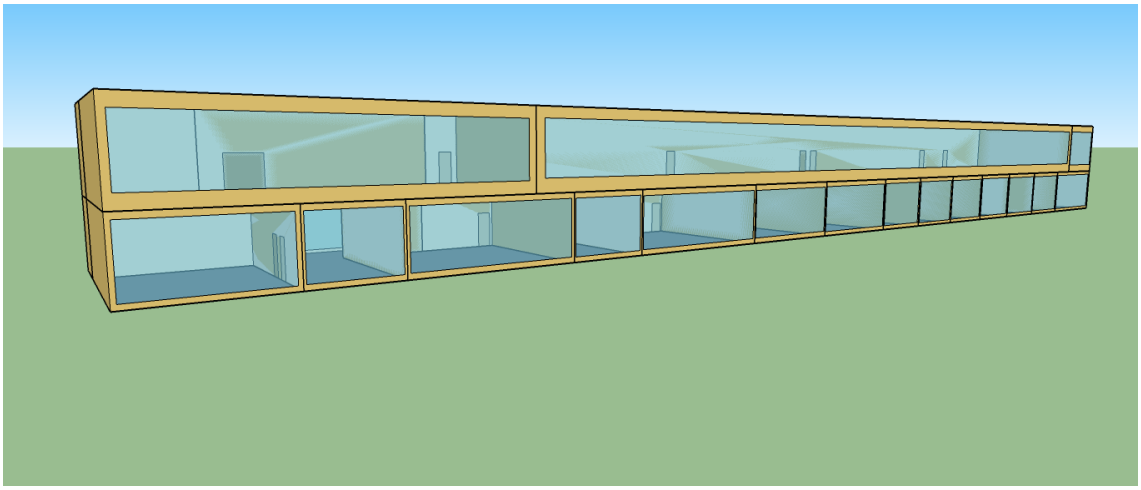
Fonte: Autores (2020).

Figura 21 - Fachada Sul Modelo de referência A



Fonte: Autores (2020).

Figura 22 - Fachada Sul Modelo de Referência B



Fonte: Autores (2020).

As variáveis que foram alteradas dos modelos de referência em função do seu nível, são apresentadas na Tabela 24. Ressalta-se que estas variáveis são exclusivamente válidas para o edifício CT-I, pois foram obtidas através do seu estudo. Já os valores de absortância, transmitância, DPI e COP são definidos pelo INMETRO em função do nível energético e da zona bioclimática em questão (INMETRO, 2013).

Tabela 24 - Resumo das variáveis para os casos de referência, por nível

	Requisitos	A	B	C	D
Envoltória	PAFT (%)	18,58%	32,17%	45,75%	59,33%
	F PAFT	1,10	1,91	2,72	3,53
	Transmitância térmica da cobertura - Ambientes Condicionados (W/m²K)	1,00	1,50	2,00	2,00
	Transmitância térmica da cobertura - Ambientes Não Condicionados (W/m²K)	2,00	2,00	2,00	2,00
	Transmitância térmica das paredes externas - CT > 80 kJ/m²K (W/m²K)	3,70	3,70	3,70	3,70
	Absortância da cobertura	0,50	0,50	0,70	0,70
	Absortância das paredes externas	0,50	0,50	0,70	0,70
Iluminação	DPIL (W/m²)	10,70	12,30	13,90	15,50
Ar Condicionado	COP (W/W)	3,23	3,02	2,81	2,60

Fonte: Brasil (2017).

6. ETIQUETAGEM ENERGÉTICA PARCIAL DA ENVOLTÓRIA

6.1. RESULTADOS GERAIS

A simulação do modelo real apresentou um consumo de energia elétrica total da edificação de 84.332,96 kWh/ano, resultando em um consumo médio de 39,46 kWh/m²*ano.

Na Tabela 25 apresenta-se o consumo de energia elétrica por uso final e sua parcela percentual no consumo total da edificação.

Tabela 25 - Consumo de energia elétrica por uso final em kWh/ano e %

CASO REAL		
Uso	**Consumo kWh/ano**	**%**
Condicionamento de Ar	26.619,35	31,56%
Iluminação Interna	24.550,14	29,11%
Equipamentos Internos	29.538,25	35,03%
Ventilação	3.625,22	4,30%
Total	84.332,96	100,00%

Fonte: Energy Plus (2020).

Nota: Adaptado pelos Autores (2020).

Destaca-se que o uso dos equipamentos elétricos internos é o que mais consome energia na edificação em estudo, devido à grande quantidade de computadores e à elevada potência de alguns equipamentos de laboratórios de ensaio. Contudo, nota-se que o sistema de condicionamento de ar e iluminação interna apresentam consumo similar, não havendo, portanto, uma assimetria em relação aos sistemas presentes no edifício.

6.2. RESULTADOS DA ENVOLTÓRIA

O Energy Plus calculou, com base nos dados inseridos para a envoltória, a transmitância térmica das superfícies externas da edificação, conforme apresenta-se na Tabela 26.

Tabela 26 - Transmitância térmica das superfícies externas

Construção	**U (W/m2*K)**
Cobertura de fibrocimento	1,809
Paredes laterais em tijolos maciços	2,535
Parede dos fundos em tijolos maciços	3,609
Parede da frente em tijolos maciços	3,851

Fonte: Energy Plus (2020).

Nota: Adaptado pelos Autores (2020).

6.3. DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA

A simulação analisou, dentre outros parâmetros, o consumo de energia elétrica anual da edificação no modelo real e nos casos de referência A e B. A Tabela 27 apresenta a comparação entre os consumos dos modelos real e de referência da classificação obtida.

Tabela 27 - Consumos de energia elétrica anuais (kWh/ano) dos modelos real e de referência

	A
Referência [kWh/ano]	88.561,87
Real [kWh/ano]	**84.332,96**

Fonte: Energy Plus (2020).

Nota: Adaptada pelos Autores (2020).

Os consumos dos modelos real e de referência do nível B foram, respectivamente, 90.444,55 kWh/ano e 101.735,98 kWh/ano. Apresentam-se valores diferentes para os modelos reais dos níveis A e B pois adotam-se valores para a iluminação e para o ar condicionado, disponibilizados pelo RTQ-

C, que variam de nível para nível. Estes valores são tabelados para o cálculo da envoltória.

Constata-se na Tabela 27 que o consumo da edificação real apresentou-se inferior ao limite máximo de referência do modelo do nível A, logo, pode-se afirmar que a classificação parcial da envoltória da edificação possui nível A de eficiência pelo comparativo de consumo. Vale ressaltar que os pré requisitos gerais não precisam ser avaliados, pois só se aplicam à ENCE geral e os pré requisitos específicos de iluminação e ar condicionado são fornecidos pelo RTQ-C nos casos de avaliação parcial da envoltória - que é o caso deste estudo - e já haviam sido imputados no energy plus.

O presente trabalho teve como um de seus objetivos específicos, propor alterações e intervenções no edifício, caso o mesmo não atingisse a classificação parcial máxima recomendada (Nível A). Ainda que ao fim do estudo tenha-se obtido classificação nível A, são apresentadas a seguir, propostas de melhorias que elevariam ainda mais a eficiência da envoltória estudada, que é o foco deste projeto.

As propostas sugeridas não são complexas nem mesmo despenderiam muito investimento e têm como foco a diminuição da transmitância térmica dos elementos construtivos. Destaca-se aqui algumas paredes pouco espessas e o baixo desempenho térmico dos materiais utilizados como sendo as principais deficiências a serem melhoradas.

Tendo dito, as estratégias propostas para solucionar estes problemas giram em torno do que segue:

a) Aumento da espessura das paredes;
b) Utilização de materiais isolantes térmicos nas composições;
c) Substituição de alguns materiais por outros de melhor desempenho térmico.

O vidro utilizado atualmente na edificação é o comum de 3mm, com FS = 0,72. Propõe-se substituí-lo por um vidro de alto desempenho, como por exemplo o vidro monolítico de 6mm COOL-LITE ST 108, fabricado pela CEBRACE, que possui FS = 0,16 (Projeteee, 2020).

Em relação às composições construtivas, apresenta-se abaixo as alterações propostas na tabela 28, onde compara-se também seus desempenhos com as atuais composições.

Tabela 28 - Comparativo entre as atuais composições construtivas e as sugeridas

		Material	Espessura (cm)	U (W/m²*K)
COBERTURA	Composição Atual	Telha de fibrocimento	1	1,809
		Câmara de ar (maior que 5 cm, descendente)	88	
		Concreto	10	
				▼
	Composição Sugerida	Telha metálica	0,1	0,552
		Poliuretano	4	
		Telha metálica	0,1	
		Câmara de ar (maior que 5 cm, descendente)	88	
		Concreto	10	
PAREDES LATERAIS	Composição Atual	Argamassa (reboco)	2	2,535
		Tijolo Cerâmico Maciço	21	
		Argamassa (reboco)	2	
				▼
	Composição Sugerida	Placa Cimentícia	1	0,758
		Lã de Rocha	4	
		Argamassa (reboco)	2	
		Tijolo Cerâmico Maciço	21	
		Argamassa (reboco)	2	
PAREDE DOS FUNDOS	Composição Atual	Tijolo Cerâmico Maciço	11	3,609
		Argamassa (reboco)	2	
				▼
	Composição Sugerida	Placa Cimentícia	1	0,840
		Lã de Rocha	4	
		Tijolo Cerâmico Maciço	11	
		Argamassa (reboco)	2	
PAREDE DA FRENTE	Composição Atual	Tijolo Cerâmico Maciço	11	3,851
				▼
	Composição Sugerida	Placa Cimentícia	1	0,826
		Lã de Rocha	4	
		Tijolo Cerâmico Maciço	11	
		Placa de Gesso	1,25	

Fonte: Energy Plus (2020); Projeteee (2020).

Nota: Adaptado pelos Autores (2020).

7. CONCLUSÃO

Buscou-se neste trabalho, avaliar e etiquetar a envoltória da edificação do CT-I, na cidade de Vitória-ES, com base na avaliação de eficiência energética parcial da envoltória segundo o RTQ-C/PBE EDIFICA, utilizando o método de simulação computacional.

Através desse método, analisou-se o comportamento térmico da envoltória e o desempenho energético associado aos equipamentos elétricos e, como foi feita a classificação parcial, estudando apenas a envoltória, os parâmetros de iluminação e ar condicionado utilizados foram extraídos do RTQ-C. Após a simulação, a edificação cumpriu todos os pré-requisitos aplicáveis ao estudo da etiquetagem energética parcial da envoltória exigidas para este método, obtendo classificação energética parcial de Nível A. Sendo assim, não fizeram-se necessárias propostas de melhorias, considerando que o nível máximo já fora atingido.

Como mencionado no estudo de caso, o CT-I possui uma arquitetura favorável ao conforto térmico e habitabilidade para seus usuários, o que traz a reflexão de que já era esperado que a mesma pudesse obter classificação A em sua envoltória, devido as suas configurações arquitetônicas e sua localização.

A oportunidade de trabalhar com o programa EnergyPlus foi enriquecedora e desafiadora. O programa dispõe de recursos para inserção de inúmeros níveis de detalhes sobre os diversos sistemas da edificação, sejam eles envoltória, iluminação, equipamentos elétricos, ar condicionado e perfil de uso da edificação, bem como influências externas como o arquivo climático e elementos de sombreamento externos à edificação, como árvores e edifícios vizinhos, e então promove a interação entre todos estes dados. Com isto, consegue-se atingir um resultado bem próximo à realidade.

Ainda assim, o programa também apresenta limitações, e deparou-se com uma delas, a criação de vãos sem fechamento nas fachadas que permitam a

ventilação natural, pois, toda vez que se faz uma abertura no programa, o mesmo exige a inserção de parâmetros de um material transparente ou translúcido (vidro), ou seja, não é possível representar fielmente cobogós, elementos vazados e vãos em geral, que permitam a circulação natural. No caso da edificação de estudo, a fachada norte da edificação possui diversos vãos que são tapados com brises. A solução encontrada foi deixar as propriedades ópticas do material zeradas, ou seja, sem que pudessem alterar a radiação solar recebida.

Apesar de ter sido possível obter resultados satisfatórios com a aplicação do método de simulação do RTQ-C, o regulamento ainda é carente em demonstrar clareza ao misturar passos utilizados pelo método prescritivo com a simulação, gerando margem para interpretações equivocadas.

Alguns dos problemas com os quais deparou-se, foram:

1. A definição de abertura. Como o RTQ-C define que, resumidamente, uma abertura só é considerada abertura quando se tem um material translúcido ou transparente (vidro), o estudo ficou dificultado quando considerados os vãos tapados com brises, conforme citado anteriormente.

2. A obrigatoriedade da modelagem dos 4 modelos de referência. O RTQ-C cita inúmeras vezes que é necessário fazer os modelos A, B C e D de referência, dúvida que ao fim, foi sanada através do Fórum do PBE Edifica, informando que, se for feita a modelagem da edificação real e sua simulação comprovar que seu consumo energético está abaixo do modelo de referência em estudo, não se faz necessário modelar os outros níveis de referência inferiores. (Fonte: <https://pbeedifica.com.br/forum/viewtopic.php?f=90&t=554>)

Muitas destas dúvidas foram sanadas através do fórum do PBE Edifica, que é um canal oficial de comunicação para esclarecimento de dúvidas, respondidas única e exclusivamente pela administração do PBE Edifica.

Por fim, vale ressaltar que um novo método de classificação já tramita no inmetro, o INI-C, e espera-se que este esclareça os conceitos, requisitos e processos que se apresentaram desconexos no RTQ-C.

7.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar a simulação termo energética seguindo a nova metodologia que atualmente tramita no INMETRO, o INI-C;
- Dar preferência à realização da análise de todos os sistemas da edificação, a fim de obter a ENCE geral e colher resultados mais expressivos e conclusivos;
- Estudar a possibilidade de incluir soluções para aumentar a eficiência da edificação que entrariam como bonificações, trazendo pontos extras à etiquetagem. Exemplos: Inclusão de painéis solares, sistema de reaproveitamento de água de chuva e água cinza, entre outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005.

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

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

BRASIL. Balanço Energético Nacional - Relatório Síntese - ano base 2016. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, RJ. 2017.

BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). Portaria 372, de 17 de Setembro de 2010. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas, Rio de Janeiro, 2010.

BRASIL. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 2, DE 04 DE JUNHO DE 2014. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam retrofit, Brasília, DF, jun 2014. Disponivel em: <https://www.comprasgovernamentais.gov.br/index.php/legislacao/instrucoes-normativas/304-instrucao-normativa-n-2-de-04-de-junho-de-2014>. Acesso em: 05 jun. 2019.

BRASIL. PROCEL EDIFICA. Manual para Aplicação do RTQ-C. Eletrobrás/Procel. Rio de Janeiro, 2017.

BRASIL. PROCEL EDIFICA. Manual para Aplicação do RAC. Eletrobrás/Procel. Rio de Janeiro. 2013.

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.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2017. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, p. 61. 2017.

FERRARI, F; FIORESE, T. Análise De Eficiência Energética Da Envoltória De Edifício Escolar Através Do Método Prescritivo Do RTQ-C. Vitória, 2017.

GOMES, K. S. A. Validação da Modelação de um Edifício de Habitação com o Programa EnergyPlus por Comparação com Medições "In Situ". Porto: FEUP, 2010. 122 p.

INMETRO. Portaria 50/2013. ANEXO GERAL V – CATÁLOGO DE PROPRIEDADES TÉRMICAS DE PAREDES, COBERTURAS E VIDROS.

INMETRO. Tabela de Edifícações Comerciais, de Serviço e Públicas. INMETRO. Rio de Janeiro. 2018.

INMETRO. Tabela INMETRO - Condicionadores de Ar Split Hi-Wall. INMETRO. Rio de Janeiro. 2018.

LABORATÓRIO DE SISTEMAS TÉRMICOS (LST). Manual do Usuário - Domus - Procel Edifica. LST. Curitiba. 2013.

O QUE É A ETIQUETA PBE-EDIFICA? <http://www.pbeedifica.com.br/conhecendo-pbe-edifica>.

LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY. Input Output References: The Encyclopedic References to EnergyPlus Input and Output. [S.l.]: US Department of Energy, 2016. 1528 p.

PBE EDIFICA. Introdução ao Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações. Cartilha PBE Edifica. Eletrobras/ Procel Edifica, Inmetro e CB3E/UFSC. Rio de Janeiro, 2013.

PEDGEN, C. D.; SHANNON, R. E.; SADOWSKI, R. P. Introduction to Simulation Using SIMAN. 1. Ed. New York: McGraw-Hill, 1990. 604 p. ISBN 0070493200.

PIDD, M. Modelagem Empresarial - Ferramentas para Tomada de Decisão. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 1997. 316 p. ISBN 8573073527.

PROJETEEE. Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/componentes-construtivos/>. Acesso em: 19 Dezembro 2020.

RUTSATZ, H; TOMAZELLI, S. Análise De Eficiência Energética De Uma Edificação Pública Segundo O Método Pbe – Edifica, Localizada Na Cidade De Vitória - Es. Vitória, 2018.

ROTH, A. OpenStudio Comes Full Polygon. Department of Energy, 2017. Disponivel em: <https://www.energy.gov/eere/buildings/articles/openstudio-comes-full-polygon>. Acesso em: 16 Junho 2018.

MODELAGEM REAL E MODELAGEM DE REFERÊNCIA. Fórum PBE-Edifica. Disponível em: <https://pbeedifica.com.br/forum/viewtopic.php?f=90&t=53>. Acesso em 16 Outubro 2020.

PAFT MODELOS DE REFERÊNCIA. Fórum PBE-Edifica. Disponível em: <https://pbeedifica.com.br/forum/viewtopic.php?f=90&t=554>. Acesso em 20 Outubro 2020.

APÊNDICES

APÊNDICE A – COMPOSIÇÃO DAS CONSTRUÇÕES

Tabela 29 - Composição dos Materiais Construtivos

COBERTURA DE FIBROCIMENTO						
Material	**Espessura (cm)**	**Coeficiente de condutividade térmica (W/m.K)**	**Densidade (kg/m³)**	**Calor específico (J/kg.K)**	**Resistência térmica (m².K/W)**	**Capacidade térmica (J/m².K)**
Telha de fibrocimento	1	0,650	1800	840	0,015	15120
Câmara de ar (maior que 5 cm, descendente)	88	-	-	-	0,210	-
Concreto	10	1,750	2300	1000	0,057	230000

PAREDES LATERAIS EM TIJOLOS MACIÇOS						
Material	**Espessura (cm)**	**Coeficiente de condutividade térmica (W/m.K)**	**Densidade (kg/m³)**	**Calor específico (J/kg.K)**	**Resistência térmica (m².K/W)**	**Capacidade térmica (J/m².K)**
Argamassa (reboco)	2	1,150	1950	1000	0,017	39000
Tijolo Cerâmico Maciço	21	1,000	1700	920	0,210	328440
Argamassa (reboco)	2	1,150	1950	1000	0,017	39000

PAREDE DOS FUNDOS EM TIJOLOS MACIÇOS						
Material	**Espessura (cm)**	**Coeficiente de condutividade térmica (W/m.K)**	**Densidade (kg/m³)**	**Calor específico (J/kg.K)**	**Resistência térmica (m².K/W)**	**Capacidade térmica (J/m².K)**
Tijolo Cerâmico Maciço	11	1,000	1700	920	0,110	172040
Argamassa (reboco)	2	1,150	1950	1000	0,017	39000

Fonte: ABNT NBR 15220 (2003).